

**Aus der Klinik für Anästhesiologie und operative  
Intensivmedizin**

**des Klinikums Nürnberg**

**Direktor: Prof. Dr. med. D. Heuser**

**Effizienz und Effektivität der sonographisch  
gesteuerten Lokalanästhetika- Applikation bei axillärer  
Plexus brachialis - Blockade**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard-Karls-Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Ioulia Klepcha, geb. Evdokimova**

**Aus**

**Ufa, Russland**

**2011**

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. D. Heuser

2. Berichterstatter: Professor Dr. R. Fretschner

Meiner Familie

# Inhaltverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	7
1.1 Axilläre Plexusanästhesie - geschichtlicher Überblick .....	7
1.2. Anatomie der Axilla und des Plexus brachialis .....	10
1.3 Nervenstimulation und Ultraschall als Methoden zur Nervenlokalisierung .....	14
1.3.1. Nervenstimulation.....	14
1.3.2 Ultraschall .....	16
1.4 Problemstellung und Ziele der Arbeit .....	211
<b>2. Material und Methodik</b> .....	22
2.1. Art der Studie .....	22
2.2. Einschlusskriterien .....	22
2.3. Ausschusskriterien .....	23
2.4. Untersuchungsablauf .....	23
2.4.1. Präoperative Phase .....	23
2.4.2. Gruppeneinteilung .....	23
2.4.3 Punktionstechnik .....	24
2.4.4. Kanülenlokalisierung .....	25
2.4.5. Austestung der Blockadeausbreitung .....	30
2.4.6 Definition der Prozesszeiten.....	32
2.4.6 Operationsphase .....	33
2.4.7 Postoperative Phase .....	33
2.5 Definition der Zielkriterien.....	34
2.5.2 Anschlagszeit.....	34
2.5.3 Zeitbedarf für die Anlage der Blockade.....	34
2.5.4 Komplikationen.....	35
2. 6 Statistische Methoden .....	35
<b>3. Ergebnisse</b> .....	37
3.1 Patientenkollektiv .....	37
3.2 Anlage der Blockade .....	41
3.3 Zeitliche Parameter .....	43
3.3.1 Anlagezeit .....	43
3.3.2 Wartezeit.....	43
3.3.3 Dauer der Eingriffe .....	44
3.3.4 Anschlagszeit.....	44
3.4 Blockadequalität nach 30 Minuten.....	444
3.5 Zeitliche Blockadepression.....	45
3.6 Schmerzintensität und Auftreten von Parästhesien perioperativ .....	52
3.6.1 Schmerzen bei Anlage der Blutsperrre .....	52
3.6.2 Schmerzen beim Hautschnitt.....	53
3.6.3 Schmerzen bei Hautnaht.....	54
3.7 Supplementierung der axillären Plexusanästhesie perioperativ .....	54
3.8 Erfolgsrate der axillären Blockade.....	56
3.9 Postoperative Komplikationen .....	56
3.10 Patientenzufriedenheit .....	57

<b>4. Diskussion</b> .....	59
4.1 Problemstellung und Aktualität des Themas.....	59
4.2 Punktionstechnik.....	60
4.3 Diskussion der Ergebnisse.....	62
4.3.1 Klinische Wirksamkeit der Plexus axillaris Blockade.....	62
4.3.2 Zeitbedarf zur Anlage der Blockade .....	65
4.3.3 Anschlagszeit.....	66
4.3.4 Komplikationen.....	68
4.3.5 Zufriedenheit der Patienten .....	71
4.4 Schlussfolgerung .....	72
<b>5. Zusammenfassung</b> .....	73
<b>6. Abbildungen und Tabellen</b> .....	75
6.1. Abbildungen.....	75
6.2. Tabellen .....	105
<b>7. Literatur</b> .....	113

## Abkürzungen

A.	Arteria	MW	Mittelwert
Aa.	Arteriae	n	Anzahl
Abb.	Abbildung	N.	Nervus
AG	Aktiengesellschaft	Nn.	Nervi
BMI	Body-Maß-Index	NS	Nervenstimulation
bzw.	beziehungsweise	ns	nicht signifikant
ca.	circa	oKG	obere Konfidenzgrenze
cm	Zentimeter	OP	Operation
CTS	Karpaltunnelsyndrom	Q3	oberes Quartil
DS	Druckschmerz	R.	Ramus
EB	Ellenbogen	Rr.	Rami
et al.	und andere	SD	Standartdeviation
evtl.	eventuell	SF	Standardfehler
g	Gramm	sog.	so genannt
H	Hand	Tabl.	Tabelle
HG	Handgelenk	u.a.	unter anderem
h	Stunde	UA	Unterarm
i.v.	intravenös	uKG	untere Konfidenzgrenze
kg	Kilogramm	US	Ultraschall
KG	Körpergewicht	u.v.m.	und viel mehr
LA	Lokalanästhetikum	V.	Vena
M.	Musculus	NRS	numerische Analogskala
mA	Milliampere	vs.	versus
MHz	Megahertz	Vv.	Venae
mg	Milligramm	z.B.	zum Beispiel
mm	Millimeter		
ml	Milliliter		
min	Minute		
Mm	Musculi		
Ms	Millisekunde		

# 1. Einleitung

Die axilläre Plexusanästhesie gilt als ein komplikationsarmes Regionalanästhesieverfahren für operative Eingriffe distal der Oberarmmitte [40,49,84,96]. Die anatomischen Gegebenheiten führen allerdings zu einer erheblichen Versagerquote der axillären Blockade [46,91,104,130]. Auch die Anwendung der elektrischen Nervenstimulation kann bei diesem Verfahren, im Gegensatz zu sonstigen regionalen Blockadeformen, z.B. den tiefen Nervenblockaden, die Erfolgsrate nicht wesentlich erhöhen. Viele Anästhesisten wählen deshalb den zentraler gelegenen infraklavikulären Zugangsweg zum Plexus brachialis oder versuchen, durch eine Modifikation der Technik, z.B. die Multiinjektionstechnik, die Erfolgsrate der Punktion zu erhöhen. Diese Modifikationen sind jedoch mit einer erhöhten Komplikationsrate verbunden [26,40,72]. Zuletzt gibt es sowohl aus der Literatur, als auch aus eigenen Verlaufsbeobachtungen deutliche Hinweise, dass eine sonographisch gesteuerte Lokalanästhetika (LA)-Applikation bei Blockaden des Plexus brachialis zu höheren Erfolgsraten und schnelleren Anschlagszeiten führen kann [1,29,62,63,66,84,96,110,120,121,126,134].

Eine Untersuchung zur Effektivität der axillären Plexusanästhesie als komplikationsarmes Verfahren, erweitert durch die sonographische Kontrolle der LA-Ausbreitung, erscheint deshalb aus klinischen wie auch aus wirtschaftlichen Gründen ausgesprochen sinnvoll.

## 1.1 Axilläre Plexusanästhesie - geschichtlicher Überblick

Die Geschichte der Regionalanästhesie an der oberen Extremität nimmt ihren Anfang im Jahr 1884, als Halsted nach schmerzhafter chirurgischer Freilegung des Plexus axillaris direkt 0,5 ml einer verdünnten Kokainlösung in die einzelnen Faszikel injiziert, was zu einer raschen und vollständigen Blockade der oberen Extremität führt [17,137]. Erst 25 Jahre später, im Jahr 1911, wird die erste perkutane Lokalanästhesie des Plexus brachialis mittels axillärem

Zugang von Hirschel durchgeführt [56]. Ein Jahr später (1912) veröffentlicht Kulenkampff seine Ergebnisse bei supraclaviculärem Zugang zum Plexus brachialis [77]. Über Jahrzehnte bleiben beide Verfahren die wichtigsten Anästhesiemethoden bei Operationen an den oberen Extremitäten.

In der Folgezeit werden technische Variationen des axillären Zugangs von Reging 1921, Labat 1922, Pitkin 1927, Accardo und Adriani 1949, Burnham 1958, Eriksson 1962 und De Jong 1965 beschrieben [4,20,34,35,39,109]. Interessant erscheint die Technik von Pitkin, der mit einer 15-20 cm langen Nadel von der Axilla aus den klavikulären Raum erreicht und dort Lokalanästhetika appliziert [109]. Diese Methode gewinnt wegen der immensen Länge der Nadel und des langen Weges bis zum Erfolgsort wenig Akzeptanz. Allerdings erscheint die Idee, das Lokalanästhetikum proximal an den Plexus brachialis zu applizieren, wo die Nerven des Plexus in enger anatomischer Beziehung zueinander liegen, beachtenswert [73]. Auf diesem Wege werden die Risiken des supraclaviculären Zuganges umgangen. 1958 beschreibt Burnham die anatomische Anordnung der Hauptnerven des Plexus brachialis um die A. axillaris und die Umhüllung dieses „Neurovaskulären Bündels“ mit einer straffen Faszie. Als Orientierungspunkte seiner Methode dient die Pulsation der Arteria axillaris und der typische „Klick“, den die Nadel bei Penetration der Nerv-Gefäß-Scheide verursacht [20]. De Jong (1961) schätzt anhand anatomischer Studien, dass ein Volumen von mindestens 40-50 ml eines Lokalanästhetikums beim Erwachsenen notwendig ist, um alle Hauptnerven des Plexus axillaris durch einer Injektion zu blockieren [34,35]. Diese Erkenntnisse sind für Eriksson (1965) und Winnie (1979) die Basis für die Entwicklung einer Blockadetechnik, bei der sämtliche Nerven durch eine einzige Injektion eines ausreichenden Lokalanästhetika-Volumens in die Gefäß-Nerven-Scheide blockiert werden [39,139,136].

Im Jahr 1977 punktiert Selander die Gefäß-Nerven-Scheide mittels einer Venenverweilkanüle und schafft damit die Voraussetzungen für eine kontinuierliche perineurale Infusion [122]. Hierbei führt er die Blockade jedoch mit einer scharf geschliffenen Kanüle durch. In den folgenden Jahren werden



eine Vielzahl von Kanülen entwickelt, die eine spezielle atraumatische Konfiguration der Kanülenspitze aufweisen und gleichzeitig eine periphere Nervenstimulation ermöglichen [74].

Trotz dieser Fortschritte ist die Versagerquote der axillären Plexusanästhesie hoch. Bei der „perivaskulären axillären Plexusanästhesie“ wird sie mit bis zu 30% beschrieben [22,49,74,90,91]. Thompson und Rorie [130] kommen anhand anatomischer Studien zu dem Ergebnis, dass innerhalb der axillären Gefäß-Nerven-Scheide eine Septierung vorliegen muss, die eine gleichmäßige Ausbreitung des Lokalanästhetikums verhindert. Die „Single Injektion“ Technik sei „unlogisch und wertlos“. Dieser Behauptung widerspricht die Erfolgsquote der „Single Injektion“ - Blockade von 70-80% [46]. Padridge et al. [104] hinterfragen die Ergebnisse von Thompson und Rorie und kommen anhand eigener Untersuchungen zu dem Schluss, dass die Septierung innerhalb der Gefäß-Nerven-Scheide zwar existiert, jedoch funktionell inkomplett ist und damit einer Ausbreitung des Lokalanästhetikums nicht im Wege steht. Eine anatomische Studie von Meier et al. (2003) zeigt, dass bei der perivaskulären Injektion von Methylenblau eine Verteilung des Farbstoffes sowohl innerhalb, als auch außerhalb der Faszienhülle gefunden wird. Diese Erkenntnisse erklären, warum mit den sogenannten axillären perivaskulären Einzelinjektions-Techniken klinische Erfolgsquoten von 70–80% erreicht werden können [93].

Die Einführung des Nervenstimulators erleichtert die anatomische Orientierung und ist deshalb ein großer Fortschritt. Allerdings kann die Anwendung der Nervenstimulation nicht alle Probleme der Regionalanästhesie lösen. Mehrere Untersuchungen zeigen zwar eine Reduktion des Risikos einer Nervenverletzung im Vergleich zu Parästhesie -Techniken, sie können aber keine wesentliche Steigerung der Erfolgsraten feststellen [7,9,25,49,46, 112,119,124]. In den 80 - 90er Jahren werden zahlreiche Techniken und Methoden entwickelt, um die Erfolgsrate und die Anschlagszeit der axillären Plexusblockade zu verbessern. Bei Multiinjektionstechniken werden die Hauptnerven selektiv aufgesucht und blockiert [37,69,70,124]. Dadurch können

höhere Erfolgsquoten und kürzere Anschlagszeiten erzielt werden [16,25,44]. Nachteile dieser Technik sind ein höherer Zeitbedarf für die Durchführung der Blockade und geringere Patientenakzeptanz [40].

Eine alternative Methode, insbesondere bei adipösen Patienten und bei schwierigen anatomischen Verhältnissen, ist die transarterielle Punktionstechnik. Der Vorteil dieser Methode liegt in der sicheren Identifikation des posterioren Kompartiments und der Blockade der radialen Fasern. Die Erfolgsrate wird mit 89 bis 99 % angegeben [31,69,70,129,138]. Erkauft wird dies allerdings durch ein erhöhtes Risiko der Hämatombildung, der Gefahr einer konsekutiven, druckbedingten Plexusschädigung sowie der Entwicklung von Pseudoaneurysmen [11,32,52,55, 103,140].

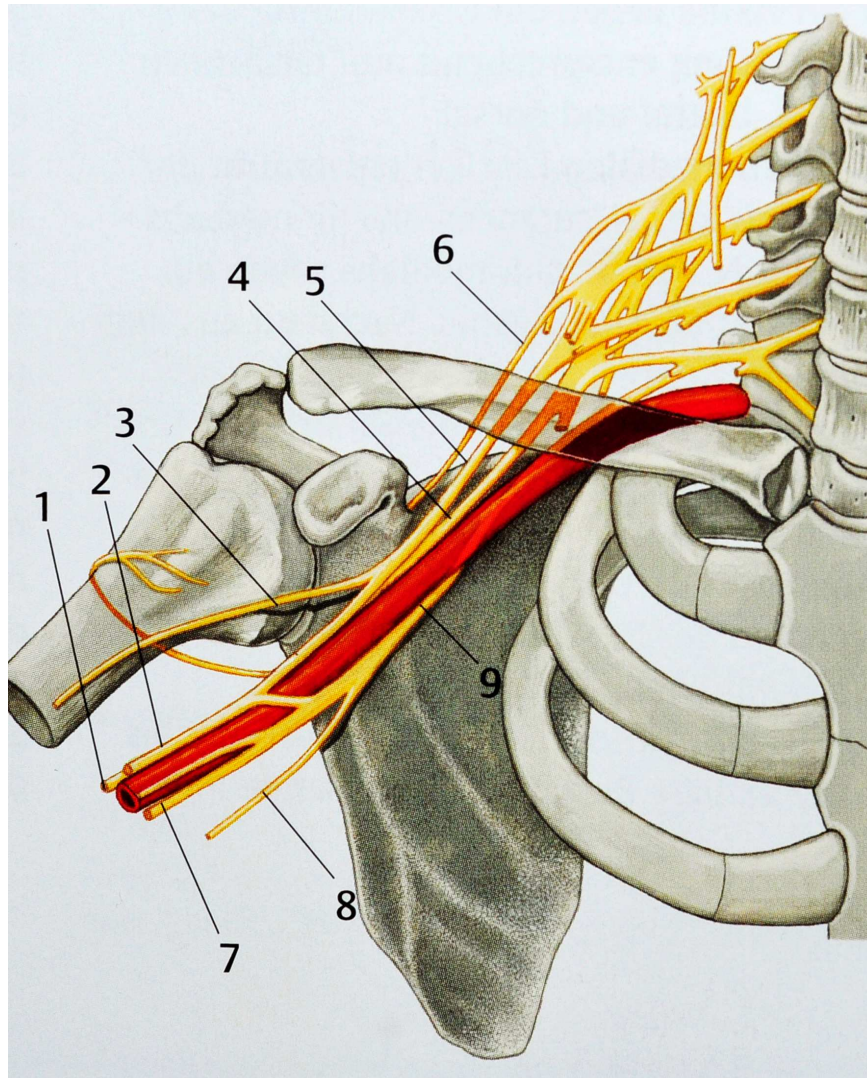
In den letzten Jahren kommen vermehrt bildgebende Verfahren in der Regionalanästhesie zum Einsatz. Insbesondere die Sonographie ermöglicht die bettseitige Visualisierung anatomischer Strukturen in der Axilla. Die Daten aus der Literatur für diese Methode weisen bessere klinische Ergebnisse, geringere Komplikationsraten, verkürzte Anschlagszeiten und einem verminderten Bedarf an Lokalanästhetika [29,66,110,120,121,126] auf. Das Risiko einer akzidentellen Verletzung benachbarter Strukturen ist ebenfalls vermindert [62].

## **1.2. Anatomie der Axilla und des Plexus brachialis**

Der Plexus brachialis wird von den Rami (Rr.) anteriores der Spinalnerven C5–C8 und Th1 gebildet. Bei mehr als 60% der Menschen enthält der Plexus brachialis zusätzlich Anteile von C4 und bei über 30% von Th2 (Abb. 1.1).

In der Axilla liegen die Faszikel ihrer Bezeichnung entsprechend nun tatsächlich medial, lateral und dorsal. Aus dem medialen Faszikel entstammt der N. ulnaris, der N. cutaneus brachii medialis und der N. antebrachii medialis sowie ein Anteil der Medianusgabel. Nachdem aus dem lateralen Faszikel der N. musculocutaneus entsprungen ist, vereint dieser sich mit Teilen des medialen Faszikels zur Medianusgabel, um so den N. medianus zu bilden. Der posteriore

Faszikel bildet, nachdem der N. axillaris abgegangen ist, den N. radialis. (Abb. 1.1)

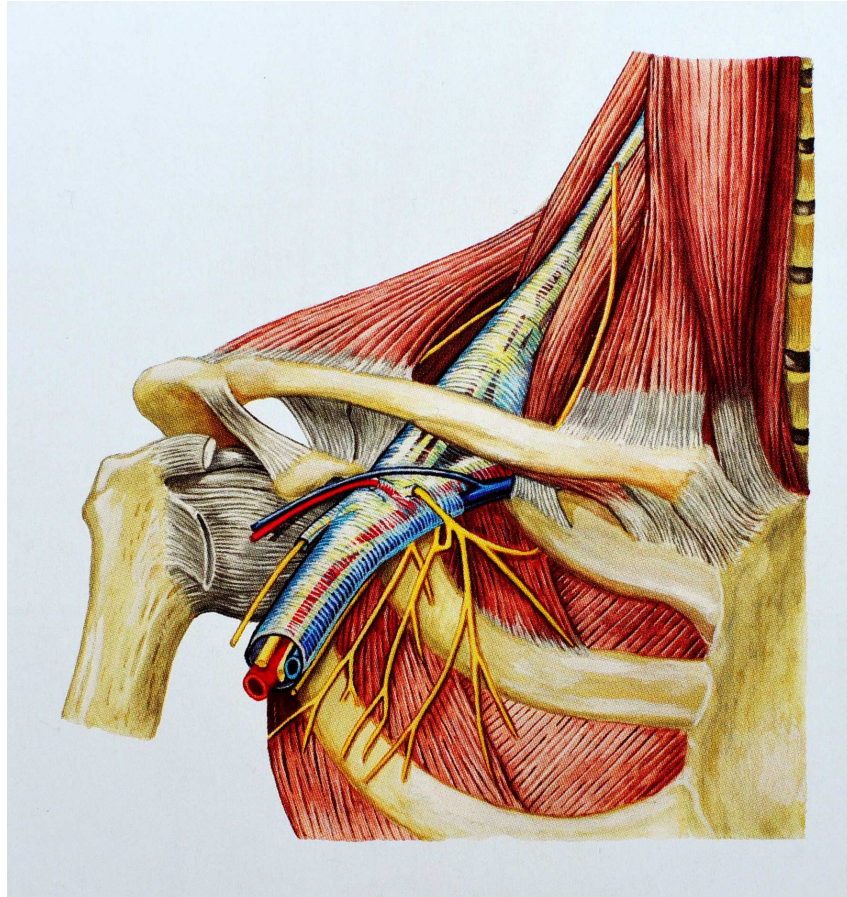


**Abb. 1.1**

Anatomie des Plexus brachialis (aus Meier G., Büttner J., Atlas der peripheren Regionalanästhesie, 2. Auflage, Thieme, 2006 [92])

- 1 *N. radialis*
- 2 *N. medianus*
- 3 *N. musculocutaneus*
- 4 *Fasciculus posterior*
- 5 *Fasciculus lateralis*
- 6 *N. suprascapularis*
- 7 *N. ulnaris*
- 8. *N. cutaneus antebrachii medialis*
- 9 *Fasciculus medialis*

Vom Durchtritt durch die Skalenuslücke bis in die axilläre Region ist der gesamte Plexus brachialis von einer derben bindegewebigen Hülle umgeben (Abb.1.2). Neben den Nerven enthält diese auch die Gefäße (Arterie (A.) und Vena (V.) axillaris).



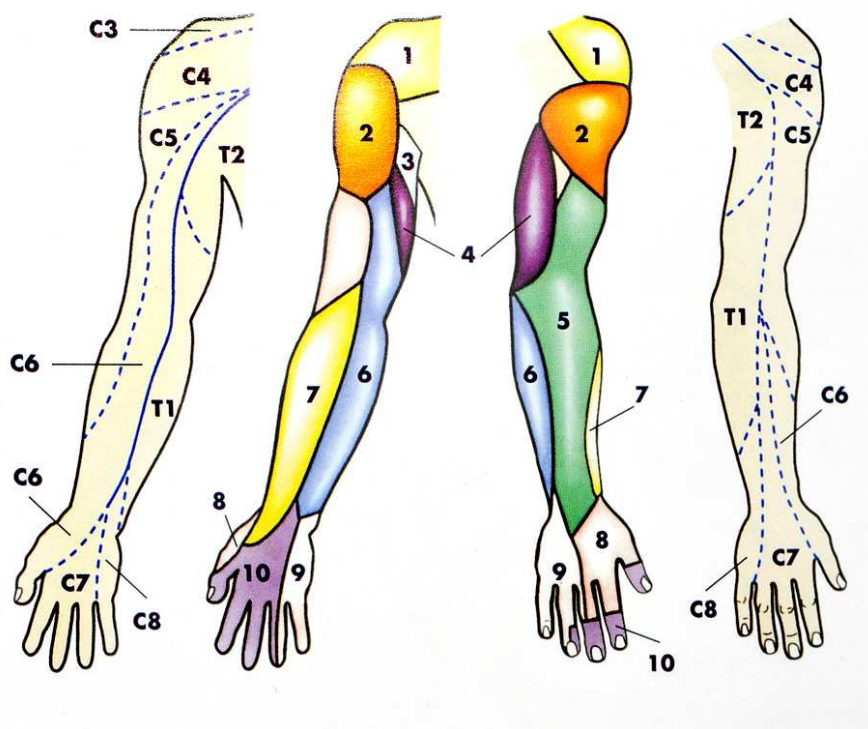
**Abb.1.2**

Bindegewebige Gefäß-Nerven-Scheide des Plexus brachialis. (aus: Meier G., Büttner J., Atlas der peripheren Regionalanästhesie, 2. Auflage, Thieme, 2006 [92])

Innerhalb dieser so genannten Gefäß-Nerven-Scheide gibt es bindegewebige Septierungen. Diese scheinen aber bei der Mehrheit der Menschen eine gleichmäßige Ausbreitung des Lokalanästhetikums nicht zu verhindern, so dass insbesondere in der supraklavikulären, infraklavikulären, aber auch in der axillären Region eine komplette Blockade des Plexus brachialis durch eine einzige Injektion möglich ist .

Der N. musculocutaneus und der N. axillaris verlassen schon weit proximal die Gefäß-Nerven-Scheide. Der N. axillaris wird nur in wenigen Fällen von der axillären Blockade erfasst, der N. musculocutaneus nur, wenn die Punktion weit nach proximal reicht oder ein entsprechendes Volumen des Lokalanästhetikums verwendet wird. Der N. radialis liegt in der axillären Region hinter der A. axillaris und stellt somit, abhängig von der eingesetzten Technik, neben dem N. musculocutaneus den zweiten „Problemernv“ der axillären Blockade dar.

Die sensiblen Hautareale, welche durch die unterschiedlichen Nerven versorgt werden, zeigt Abb. 1.3:



**Abb. 1.3**

Sensible Versorgung der oberen Extremität (aus: Meier G., Büttner J. Kompendium der peripheren Blockaden. München: Arcis; 2008 [91])

- 1 N. suprascapularis
- 2 N. axillaris (N. cutaneus antibrachii lateralis)
- 3 N. intercostobrachialis
- 4 N. N. cutaneus brachii medialis
- 5 N. cutaneus antebrachii dorsalis (N. radialis)

- 6 N. cutaneus antebrachii medialis
- 7 N. cutaneus antebrachii lateralis (N. musculocutaneus)
- 8. N. radialis
- 9 N. ulnaris
- 10 N. medianus

## 1.3 Nervenstimulation und Ultraschall als Methoden zur Nervenlokalisation

### 1.3.1. Nervenstimulation

Die Technik der Nervenblockade unter Zuhilfenahme eines Nervenstimulators basiert auf der Auslösung einer motorischen Antwort eines Muskels nach Reizung des Nervs mit elektrischem Strom.

Die einzelnen Nervenfasertypen unterscheiden sich in ihrer Stimulationsfähigkeit. Bei der Wahl einer kurzen Impulsbreite ( $< 0,1$  ms) ist es möglich, die motorischen Efferenzen zur Muskulatur zu stimulieren, ohne die Schmerzfasern zu beeinträchtigen.

**Tab. 1.1:** Kennzeit (Chronaxie) der verschiedenen Nervenfasertypen [60].

Nervenfaser	Physiologische Bedeutung	Chronaxie
A $\alpha$	motorische Efferenzen	50-100 $\mu$ s
A $\delta$	Schmerzleitung	150 $\mu$ s
C	Schmerzleitung	400 $\mu$ s

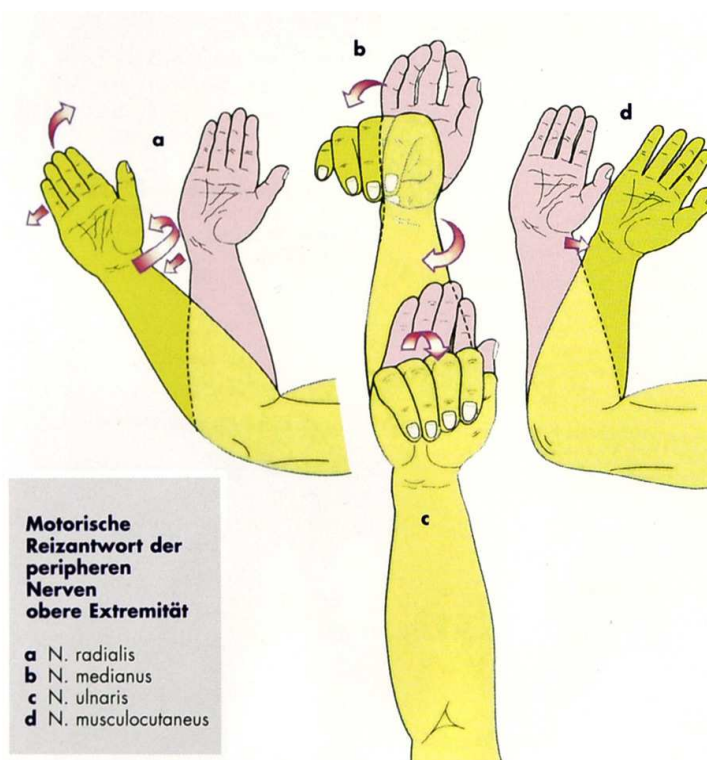
*Als Kennzeit (Chronaxie,  $t_C$ ) wird die minimale Impulsdauer bezeichnet, die bei einem Reizstrom doppelter Rheobasestärke gerade eine Depolarisation hervorruft [85].*

Quantitative Untersuchungen über die Annäherung der Stimulationskanüle an den (gesunden) Nerven unter klinischen Bedingungen zeigen für die Impulsbreite 0,1 ms, dass die Nadelspitze bei 0,3 mA etwa 5 mm näher am Nerv ist als bei vergleichbaren Muskelkontraktionen bei 1,0 mA. Ebenfalls ca. 5 mm beträgt der Distanzunterschied der Nadelspitze zum Nerven, wenn gleiche

Muskelkontraktionen ausgelöst werden, zum einen mit 0,3 mA/0,1 ms und zum anderen mit 0,3 mA/1,0 ms. Die Werte 0,3 mA/1,0 ms und 1,0 mA/ 0,1 ms bedeuten einen etwa identischen Nadel-Nerv-Abstand [101].

Über die benötigte Stromstärke und Impulsdauer, die zur Auslösung einer Muskelkontraktion nötig ist, kann folglich auf die Entfernung der Nadelspitze vom zu blockierenden Nerv zurück geschlossen werden. Mit der Annäherung sinkt die für eine Depolarisation notwendige Stromstärke. Gleitet die Spitze am Nerven vorbei, steigt sie genauso rasch wieder an [43].

Entscheidend für den erfolgreichen Einsatz eines Nervenstimulators ist allerdings die Charakterisierung eines Kennmuskels für jeden zu blockierenden Nerven. Die motorischen Reizantworten der einzelnen Nerven ist in Abb. 1.4 dargestellt:



**Abb 1.4**

Motorische Reizantwort der einzelnen Nerven der oberen Extremität (aus Meier G., Büttner J. Kompendium der peripheren Blockaden. München: Arcis; 2008 [91])

#### **Kommentar zur Abb. 1.4:**

<i>N. musculocutaneus:</i>	<i>Beugung im Ellenbogenbereich (M. biceps brachii).</i>
<i>N. medianus:</i>	<i>Palmarflexion im Handgelenk, Pronation des Vorderarmes, Beugung in den Mittelphalangen der Finger, Beugung in den Endgliedern D II und D III, Beugung des Daumens.</i>
<i>N. ulnaris:</i>	<i>Ulnarflexion des Handgelenks, Flexion der Grundglieder III-V, Adduktion des Daumens.</i>
<i>N. radialis:</i>	<i>Strecken im Ellenbogengelenk (M. triceps), Strecken (und Radialabduktion) im Handgelenk, Supination des Vorderarmes und der Hand, Extension der Finger.</i>

Obwohl die Weiterentwicklung der Nervenstimulationsgeräte mit der Möglichkeit zur exakten Einstellung von Impulsdauer, Frequenz und Stromstärke die Sicherheit dieser Methode erhöht, ermöglicht dieses Verfahren dennoch nur eine indirekte Lokalisation des Plexus brachialis. Eine direkte Darstellung des Zielpunktes und der umgebenden anatomischen Strukturen ist nicht möglich. Die Erfolgsraten der nervenstimulierten axillären Blockadetechniken schwanken je nach Autor erheblich und liegen zwischen 63% und 100% [16,38,46,49,79,92,97,109].

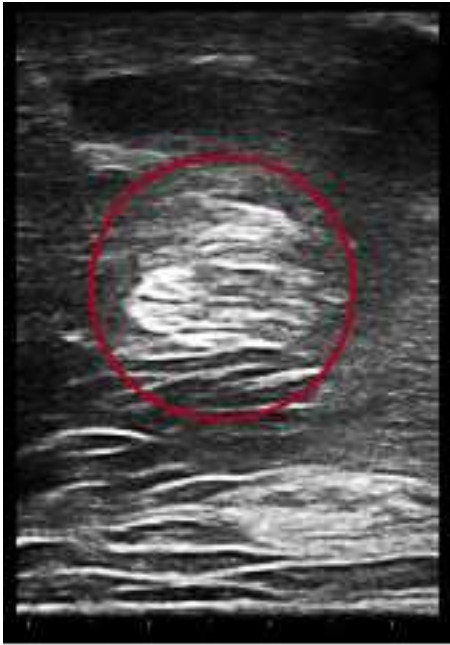
#### **1.3.2 Ultraschall**

In den letzten Jahren gewinnt die Sonographie in der Regionalanästhesie zunehmend an Bedeutung. 1978 erscheinen die ersten Berichte über die Anwendung des Ultraschalls für anästhesiologische Zwecke. La Grange et al. berichten in ihrer Publikation zu der supraklavikulären Blockade des Plexus brachialis mittels Doppler-Sonographie über die noch „indirekte“ Anwendung des Ultraschalls in der Regionalanästhesie [78]. Sample et al. identifizieren im gleichen Jahr erstmalig den N. laryngeus mit Hilfe der Sonographie [115]. Solbiati et al stellen 1985 den Ultraschall als wertvolle Ergänzung in der Diagnostik von Stimmbandlähmungen dar, der die Darstellung pathologischer Veränderungen im Verlauf des N. laryngeus ermöglicht [128]. Dabei erscheint der Nerv als hypoechogene Struktur mit einem Durchmesser von 1-2 mm. Fornage verwendet 1988 erstmalig einen Linearscanner mit 7,5 MHz zur Darstellung peripherer Nerven der oberen und unteren Extremität [41,42]. Auch



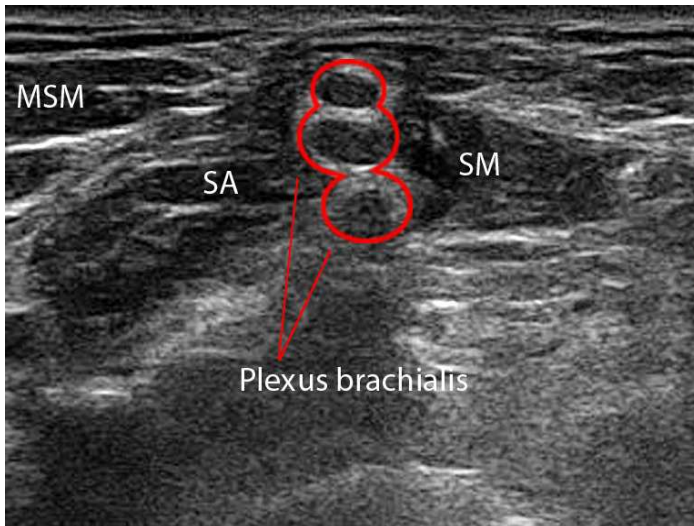
hier werden die Nerven als hypoechogene Strukturen beschrieben, die fibrilläre Unterbrechungen, ähnlich der sonographischen Struktur von Sehnen, aufweisen. Silvestri zeigt 1995 in einer sono-anatomischen Untersuchung, dass Nerven und Sehnen anhand ihrer typischen Struktur im Ultraschallbild voneinander unterschieden werden können [125]. Er findet für beide Strukturen eine eindeutige Korrelation der histologischen und sonographischen Darstellung. Shepard et al. können bei Freiwilligen sowohl supra- als auch infraklavikulär die jeweiligen Trunci, Faszikel und Nerven des Plexus brachialis darstellen und ziehen die Möglichkeit zur Anwendung der Sonographie für anästhesiologische Zwecke in Betracht [123]. Perlas et al. können mit 15 MHz-Frequenz - Abbildungen oberflächennahe Nerven darstellen [106]. Weitere sonographische Untersuchungen zur Anatomie des Plexus brachialis von Kapral, Marhofer, Chan, Sandhu, Kefalianakis u.v.m. beschäftigen sich mit der Darstellung sowie der Lagevariabilität einzelner Faszikel und Nerven [27,47,51,64].

Periphere Nerven können im Ultraschallbild in der Regel mit linearen Schallköpfen von 7-13 MHz abgebildet werden, vor allem gilt dies für oberflächlich (< 5cm) gelegene Nerven. Nervenstrukturen werden nicht einheitlich echogen abgebildet, sie erscheinen sowohl hypo- als auch hyperechogen. Reines Nervengewebe wird sonographisch hypoechogen (schwarz), Bindegewebe hyperechogen (weiß) dargestellt. Durch die verschiedenen Strukturen wie Epi- und Perineurium, welche hyperechogen (weiß) sind, entsteht eine Mischung beider Bildqualitäten [48].



**Abb. 1.5** Sonographische Darstellung des distalen N. ischiadikus, weiblicher Patient, 51 Jahre. Schallrichtung von unten. Polyfaszikuläre Struktur des Nervs.

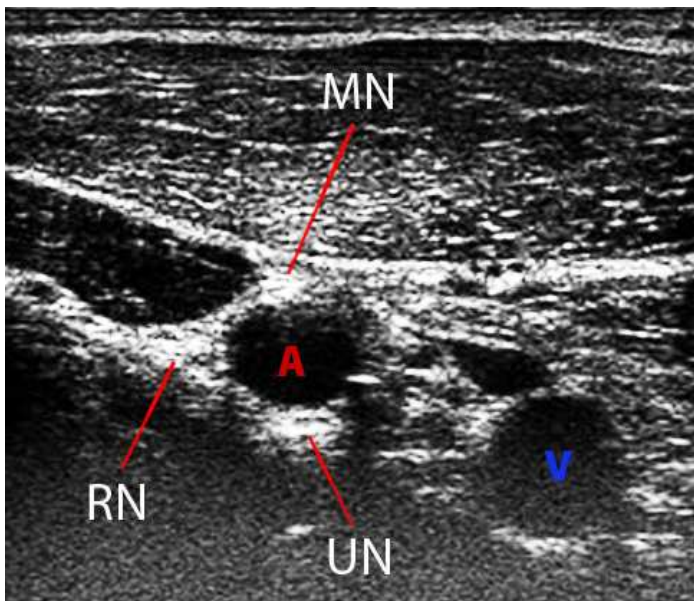
Rückenmarksnahe Nerven erscheinen wegen ihres hohen Anteil an Nerven- und geringen Anteils an Bindegewebe häufig hypoechogen. Mit zunehmender Entfernung vom Rückenmark und steigendem an Bindegewebanteil stellen sich Nerven sonographisch echoreicher dar. Durch die Schallbrechung am Perineurium und den umliegenden Strukturen ergibt sich das für Nerven typische faszikuläre (Bienenwaben-ähnliche) Muster. Die Unterscheidung von Nerven und Sehnen kann schwierig sein. Nerven zeigen im Gegensatz zu Sehnen keine Übergänge zu Muskeln und sind häufig anhand ihres typischen Verlaufs zu erkennen. Sehnen sind oft stärker echogen als Nerven und zeigen ein fibrilläres Muster [125]. Die aktive oder passive Bewegung der Extremität kann bei laufender Untersuchung die Differenzierung erleichtern [42].



**Abb. 1.6**

Darstellung des Plexus brachialis in der Scalenuslücke, weiblicher Patient, 52 Jahre. Die neuralen Strukturen imponieren echoarm.

**Legende:** MSM - *M.sternocleidomastoideus*, SA - *M.scalenus anterior*, SM - *M. scalenus medius*.



**Abb. 1.7** Darstellung des Plexus brachialis in der axillären Region, männlicher Patient, 31 Jahre, transpectorale Schnittführung. Die Nerven sind als echoreiche Strukturen zu erkennen.

**Legende:** MN – *N. medianus*, UN- *N. ulnaris*, RN-*N. radialis*.

Der Punktionserfolg ist maßgeblich von der Identifizierung des Punktionsweges und der Punktionsnadel abhängig. Hierfür wird die Langachsen-Technik oder die Kurzachsen-Technik [47,88] herangezogen. Bei der Langachsen-Technik wird die Kanüle in der Schallebene vorgeschoben. Bei korrekter Technikanwendung ist der Verlauf und die Stichrichtung der Nadel vollständig im Ultraschallbild zu sehen. Der Vorteil dieser Technik liegt in der ständigen Kontrolle über die Punktionsnadel und damit der verminderten Verletzungsgefahr von Nerven oder benachbarter Strukturen. Der Nachteil ist jedoch, dass die Sichtbarkeit der Strukturen, die in Ultraschallbild im Nadelschatten liegt, beeinträchtigt wird. Die Anwendung dieser Technik bedarf einiger Übung. Die Nadel muss exakt in der Schallebene vorgeschoben werden [50,65]. Bei der Nadelführung in der Kurzachsen-Technik zeigt sich das Problem, dass die Kanüle im Ultraschallbild nur als kleiner Punkt mit distalem Schallschatten erscheint [50]. Ein weiteres Problem der Kurzachsentechnik ist die Unterscheidung von Nadelschaft und -spitze.

Kleine pendelnde Bewegungen der Nadel können bei beiden Techniken die Identifikation der Nadelspitze erleichtern.

Die Anwendung des Ultraschalls in der Regionalanästhesie ermöglicht nicht nur die Darstellung von Nerven und benachbarten Strukturen, sondern auch die Ausbreitung des eingebrachten Lokalanästhetikums. Dies ist ein großer Vorteil gegenüber der Nervenstimulationstechnik. Im Gegensatz zu der Röntgenuntersuchung mit Kontrastmittel oder der Kernspintomographie können sowohl die Injektion als auch die Beurteilung der Ausbreitung des LA bettseitig und ohne zusätzliche Strahlenbelastung erfolgen. Die injizierte LA- Flüssigkeit ist annähernd echofrei und stellt sich im Ultraschall als schwarze Fläche dar. Die Umspülung der Nerven mit hypoechogenem LA führt zu einer "Demarkierung" der Nerven im Ultraschallbild [48,64,131].

Die Sonografie ermöglicht eine Visualisierung der Punktion, Injektion sowie die Beurteilung des Verteilungsverhaltens des Lokalanästhetikas. Die Blockade peripherer Nerven unter Ultraschallkontrolle ist somit ein innovatives Verfahren, das sich in der Punktionstechnik gegenüber traditionellen Techniken der Regionalanästhesie mit oder ohne Nervenstimulator unterscheidet [50,57].

## **1.4 Problemstellung und Ziele der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit soll die Frage beantworten, inwiefern die sonographische Kontrolle der Ausbreitung des Lokalanästhetikums Vorteile hinsichtlich ihrer Effizienz im Vergleich zur ausschließlichen Nervenlokalisierung mittels Elektrostimulation bei axillärer Blockade des Plexus brachialis zeigt. Darüber hinaus soll geprüft werden, ob der Zeitbedarf für die Anlage der Blockade, die Anschlagszeit, sowie das Auftreten von Nebenwirkungen und Komplikationen beeinflusst werden können. Weiterhin soll untersucht werden, ob das Verfahren Auswirkungen auf die Zufriedenheit der behandelten Patienten hat.

## **2. Material und Methodik**

### **2.1. Art der Studie**

Die vorliegende Untersuchung wurde als prospektive, randomisierte Gruppenvergleichsstudie angelegt und von der Ethikkommission der Bayerischen Landesärztekammer genehmigt. Es wurden 98 operative Patienten der Klinik für Plastische und wiederherstellende Chirurgie sowie der Klinik für Unfall- und Orthopädische Chirurgie des Klinikum Nürnberg in die Studie aufgenommen, die sich einem Eingriff an der oberen Extremität distal der Oberarmmitte in peripherer Anästhesie des Plexus brachialis unterzogen. Die Patienten wurden in zwei gleichgroße Untersuchungsgruppen randomisiert: In der Vergleichsgruppe wurde bei 49 Patienten der Plexus brachialis mittels Nervenstimulation aufgesucht (NS-Gruppe), in der Untersuchungsgruppe (n=49) erfolgte die Identifikation der Nerven und der Ausbreitung des Lokalanästhetikums mittels Ultraschall (US-Gruppe).

Der Hauptparameter bei der Studie war die Erfolgsrate. Zusätzlich wurden auch der Zeitbedarf für die Anlage der Blockade, die zeitliche Progression der Blockade, die Anschlagzeit, die Komplikationsrate und die Zufriedenheit der Patienten untersucht und verglichen.

### **2.2. Einschlusskriterien**

- Alter 18-80 Jahre
- operativer Eingriff an der oberen Extremität distal der Oberarmmitte
- ASA-Klasse I-III (Graduierung der der American Society of Anaesthesiologists)
- Schriftliche Einverständnis des Patienten zur Teilnahme an der Studie

## **2.3. Ausschlusskriterien**

- ASA-Klasse IV-V
- Infektion im Bereich der geplanten Einstichstelle
- Bekannte allergische Reaktionen auf Lokalanästhetika oder entsprechende Hinweise
- fehlende Einverständnis des Patienten, an der Studie teilzunehmen
- Präoperativ bestehende neuromuskuläre Defizite
- Vigilanzstörungen
- Klinisch relevante Gerinnungsstörungen
- Massive Weichteilverletzungen der Hand oder des Unterarmes des Patienten
- Schwangerschaft

## **2.4. Untersuchungsablauf**

### ***2.4.1. Präoperative Phase***

Die präoperative Vorbereitung umfasste eine anästhesiologische Risikoevaluation, das Prämedikationsgespräch inklusive der Aufklärung für das geplante Narkoseverfahren. Zusätzlich wurden die Patienten über die geplante Studie, deren Ablauf und die postoperative Evaluation aufgeklärt.

Die Patienten willigten schriftlich in die Teilnahme an der Untersuchung ein. Sie wurden darüber informiert, dass sie jederzeit von der Untersuchung zurücktreten können.

Die medikamentöse Prämedikation erfolgte in der Regel mit 3,75-7,5 mg Midazolam per os, Opioide wurden nicht zur Prämedikation verwendet.

### ***2.4.2. Gruppeneinteilung***

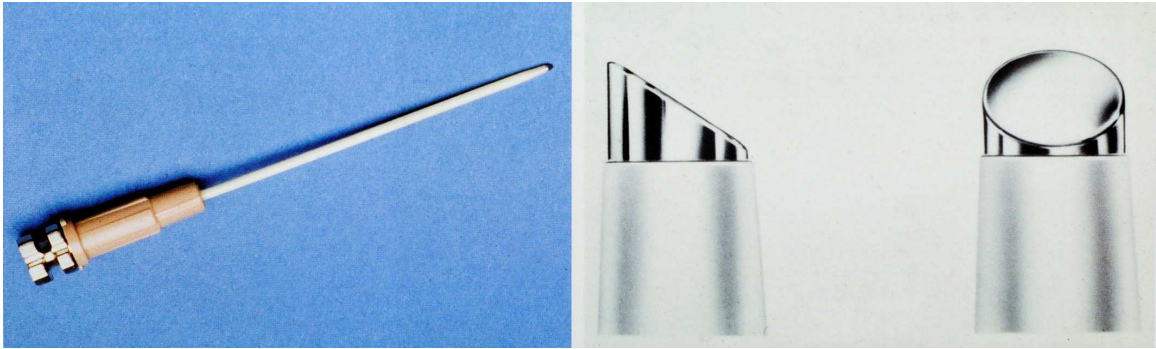
Die Patienten (n=98) wurden unmittelbar vor Beginn der Blockadeanlage randomisiert einer der beiden Studiengruppen zugeordnet. Da an der Studie 3

Studienärzte unterschiedlicher beruflicher Erfahrung beteiligt waren, wurde der die Narkose durchführende Arzt ebenfalls randomisiert. Die Studienärzte untergliederten sich in 1 Oberarzt (sehr erfahren), 1 Facharzt (durchschnittlich erfahren) und 1 Assistenzärztin (in der Weiterbildung im Fachgebiet der Anästhesiologie) mit guten Kenntnissen der Regionalanästhesie. Die primäre Punktionstechnik war in beiden Gruppen identisch. Die Kontrolle der Kanülenlage erfolgte in der NS-Gruppe mittels Nervenstimulation. In der US-Gruppe wurde die Kanülenlage und die Ausbreitung des Lokalanästhetikums sonographisch kontrolliert.

### **2.4.3 Punktionstechnik**

Nach Identifizierung der Patienten und Anbringen des Monitorings (EKG, Sauerstoffsättigung, Blutdruck (Intervall 3-5 Min)), wurde ein venöser Zugang gelegt. Der Patient wurde in Rückenlage gelagert. Die Punktion erfolgte nach der von Meier und Büttner [92] beschriebenen perivaskulären axillären Plexusanästhesietechnik. Der zu operierende Arm wurde ca. 90° abduziert, im Ellenbogen 90° gebeugt und außenrotiert gelagert. Als Leitstrukturen diente die A. axillaris und der davon kranial verlaufende M. coracobrachialis. Nach Hautdesinfektion der gesamten Axilla und sterilem Abdecken wurde die A. axillaris im Bereich der Achselhautfalte palpiert und digital fixiert. Unmittelbar ventral der fixierten Arterie und ca. einen Querfinger distal der axillären Hautfalte wurde eine Hautquaddel mit Mepivacain 1% (ca. 1-2 ml) gesetzt. Nach Dilatieren des Einstichkanals mit einer scharfen 16G Injektions-Kanüle folgte das Einführen der 18 G Plexus-Kombinationskanüle® (Pajunk GmbH, Geisingen). Diese Punktionskanüle nach Krebs und Hempel [74] bzw. Büttner verfügt über einen massiven Stahlmandrin, der einen stumpfen 45° Schliff an der Spitze aufweist. Außerdem verfügt die Kanüle über einen Minibuchsenanschluss zum Anschluss eines Nervenstimulators. Der stumpfe Schliff dient der Identifikation der Gefäß-Nerven-Scheide.





**Abb. 2.1**

Kanüle mit dem 45° Schliff [92]

Die Kanüle wurde in einem Winkel von ca. 30-45° parallel zur Arterie eingeführt. Das Eindringen der Kanüle in die Gefäß-Nerven-Scheide wurde durch den so genannten „fascial click“ bestätigt. Unmittelbar nach Überwinden des Widerstandes wurde die Kanüle abgesenkt und in der Gefäß-Nerven-Scheide parallel zur A. axillaris nach proximal ca. 5 cm vorgeschoben.

#### **2.4.4. Kanülenlokalisation**

##### **2.4.4.1. Nervenstimulationsgruppe**

Die Lagekontrolle der Kanüle erfolgte mittels Nervenstimulator (Nervenstimulator Stimuplex HNS-11, Hersteller: B. Braun Melsungen AG). Das Ziel war, eine Muskelkontraktion im Bereich des das Operationsgebiet versorgenden Nervens (Zielnerv) mit einer Impulsstärke von 0,3- 0,6 mA und einer Impulsbreite von 0,1 ms auszulösen.



**Abb. 2.2**

Nervenstimulator Stimuplex HNS-11, Hersteller: B. Braun Melsungen AG

Konnte auch durch Wackelbewegungen und Verschieben der Kanüle keine Reizantwort ausgelöst werden, wurde die Nadel um ca. 2 cm zurückgezogen und erneut in die Nerven-Gefäß-Scheide vorgeschoben. Gelang es nach zweifacher Lagekorrektur der Kanüle nicht, den Zielnerven zu stimulieren, wurde die Kanülenlage nach erfolgreicher Stimulation eines beliebigen Nerven (N. ulnaris, N. medianus, N. radialis) mit obiger Schwellenstromstärke akzeptiert. Nach negativem Aspirationsversuch wurde 6,5 mg/ kg KG Mepivacain 1% (Scandicain®, AstraZeneca GmbH, Wedel, Deutschland) appliziert. Der Zeitpunkt des Endes der LA- Applikation wurde dokumentiert, die Plastikkanüle fixiert und bis zum Operationsende belassen.

**2.4.4.2 Ultraschallgruppe**

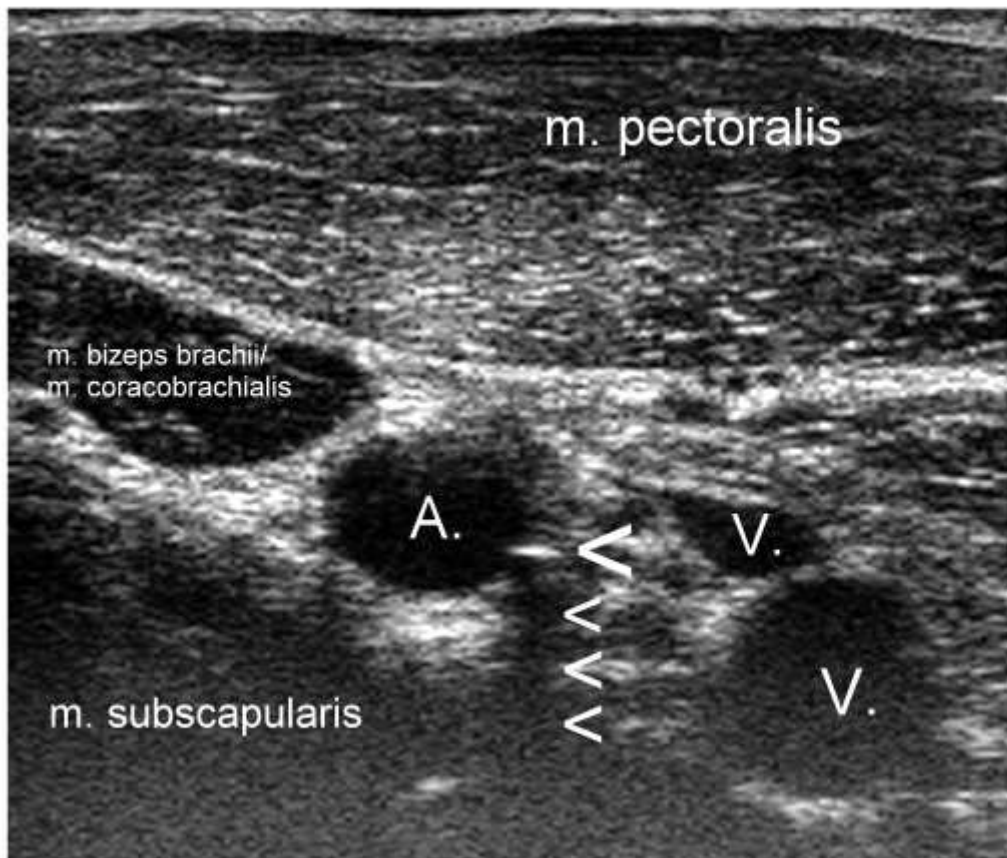
Die Kanülenlage wurde sonographisch (Anlotung von ventral, sagittal durch den M. pectoralis) kontrolliert. Hierbei wurde das Ultraschallgerät von Esaote MyLab 25 mit einem Schallkopf LA 523 (7,5-12 MHz) verwendet.



**Abb. 2.3**

Rechte Axilla. Schallkopfhaltung bei liegender Plexusnadel, männlicher Patient, 31 Jahre.

In dieser Position ist der M. pectoralis major als parallel zur Schallkopfunterkante verlaufende Struktur zu erkennen, darunter pulsiert die A. axillaris. Diese wird kranial vom Ansatz des M. coracobrachialis bzw. des M. biceps brachii, Caput breve begleitet. Dorsal der A. axillaris verläuft der Rand des M. subscapularis von ventrokranial nach dorsokranial. Kaudal der A. axillaris befinden sich eine oder mehrere Venen sowie umgebendes Fettgewebe [110].



**Abb. 2.4**

Sonographisches Schnittbild transpektoral mit Punktionsnadel, männlicher Patient, 31 Jahre.

**Legende:**

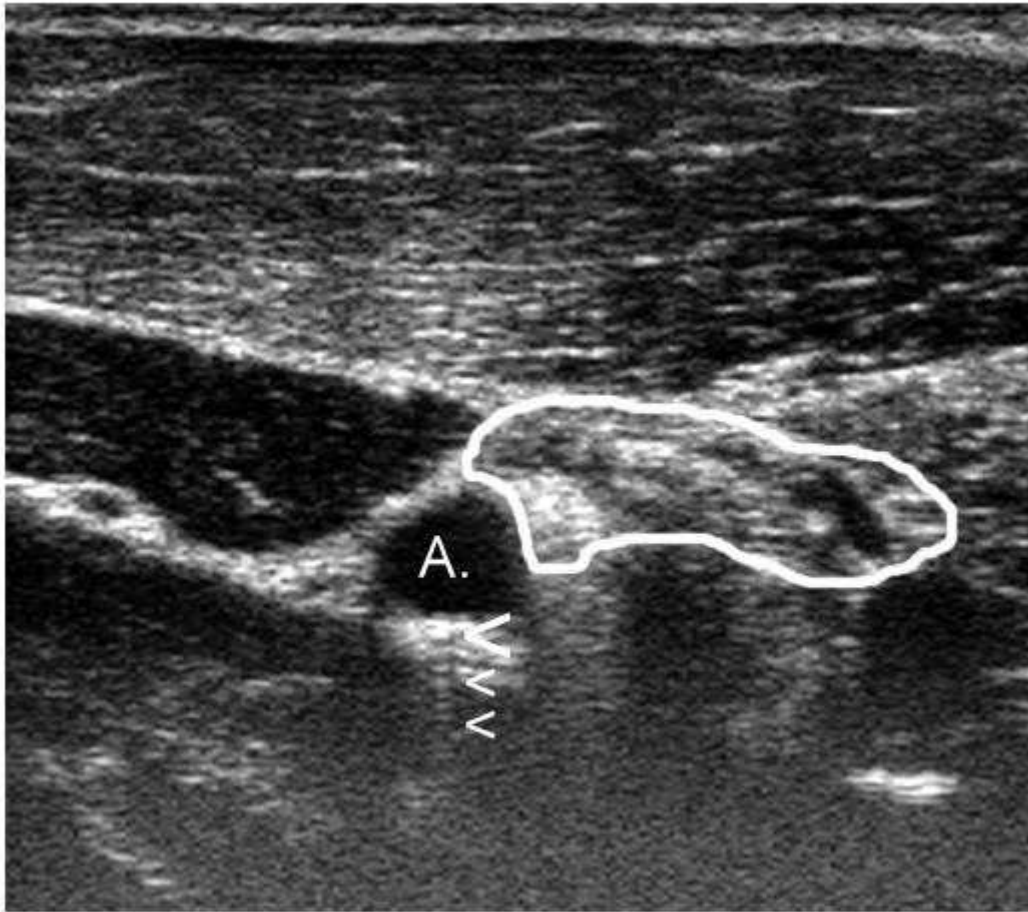
*A-A.axillaris,*

*V-V.axillaris,*

*großer Pfeil – Schallreflex der Plexusnadelschaftes,*

*kleine Pfeile - Schallschatten.*

Bei einer paravasalen Kanülenlage erfolgte die fraktionierte Applikation der errechneten Dosis des LA (6,5 mg/ kg KG). Ziel war eine zirkuläre bzw. C - förmige Ausbreitung des Lokalanästhetikums um die A. axillaris.



**Abb. 2.5**

Sonographisches Schnittbild transpektoral nach der ersten LA-Applikation und einer Nadellagekorrektur, männlicher Patient, 31 Jahre.

**Legende:** Umrandet regionales LA-Depot, A.- A. axillaris, Pfeil- korrigierte Nadel mit Schallschatten.

Falls keine primäre paravasale Kanülenlage bzw. keine zirkuläre Ausbreitung um die A. axillaris zu beobachten war, wurde die Kanülenposition unter sonographischer Kontrolle korrigiert. Zum Ausschluss einer intraneuralen Kanülenposition wurde jede Änderung der Kanülenposition unter Elektrostimulation mit einer Impulsstärke 2,0 mA und Impulsbreite 0,3 ms durchgeführt. Ziel dabei war, keine Muskelkontraktion auszulösen [99]. Die Anzahl der Nadelkorrekturen wurde auf zwei begrenzt.



**Abb. 2.6**

Sonographisches Schnittbild transpektoral nach vollständiger LA-Applikation, männlicher Patient, 31 Jahre.

*Ledende: Umrandet zirkuläres LA-Depot, A.- A. axillaris.*

Der Zeitpunkt des Endes der LA- Applikation wurde dokumentiert. Die Plastikkanüle wurde fixiert und bis zum Operationsende belassen.

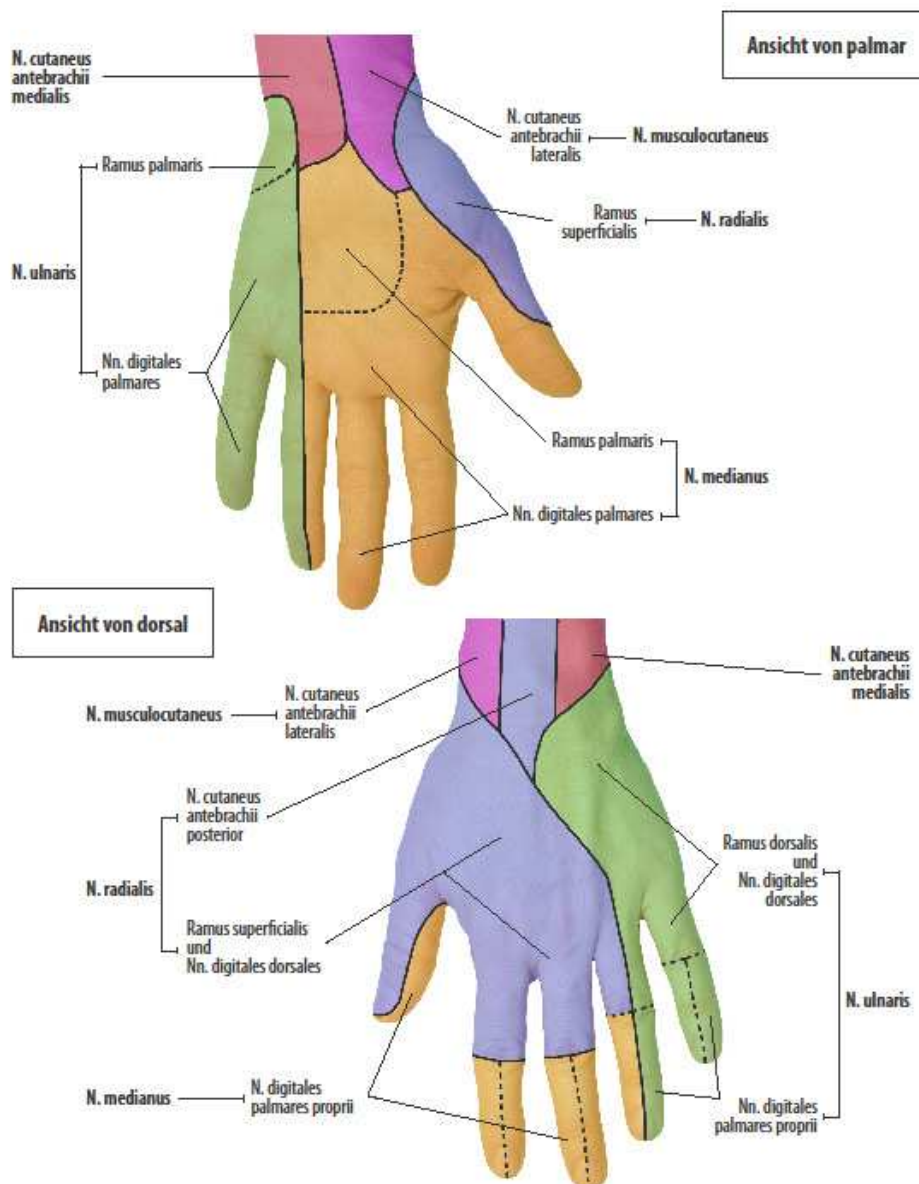
#### **2.4.5. Austestung der Blockadeausbreitung.**

Die Beurteilung der Blockadeausbreitung erfolgte 5, 10, 15, 20 und 25 min nach Ende der LA-Applikation. Dabei wurde die Ausprägung der sensiblen und motorischen Blockaden geprüft und dokumentiert.

Zur Überprüfung der sensiblen Blockade wurde jeweils ein Hautareal aus dem Bereich der Area propria der vier Hauptnerven des Armes untersucht:

- *N. medianus* die Palmarseite des Zeigefingers;
- *N. ulnaris* die Palmarseite des Kleinfingers;
- *N. musculocutaneus* die radiale Unterarmseite;
- *N. radialis* das Daumengrundglied.

Die Prüfung der Sensibilität fand mittels der “pin-prick” Methode statt [23].



**Abb.2.7**

Sensible Innervation der Hand (modifiziert nach Netter FH [98]).

Folgendes Bewertungsschema wurde bei der Überprüfung der Sensibilität verwendet:

0 = spitz- stumpf - Diskriminierung intakt;

1 = keine Diskriminierung von spitz und stumpf (Analgesie);

2 = vollständiger Sensibilitätsverlust (Anästhesie).

Die Austestung der motorischen Blockade erfolgte für jeden Hauptnerven gesondert unter Berücksichtigung der jeweiligen Kennmuskeln:

N. medianus                      Beugung der Finger und des Handgelenks;

N. ulnaris                         Abspreizen der Finger;

N. radialis                        Streckung im Handgelenk, Extension der Finger;

N. musculocutaneus          Beugung im Ellenbogengelenk.

Folgendes Bewertungsschema wurde bei der Überprüfung der Motorik verwendet:

0 = Volle Bewegung der Handmuskulatur;

1 = Einschränkung der Handmotorik (Parese);

2 = keine Bewegung der Handmuskulatur (Paralyse).

#### **2.4.6 Definition der Prozesszeiten**

Bezüglich der Prozesszeiten wurden die folgenden Zeitintervalle ermittelt:

- **Anlagezeit** (Zeitbedarf zur Anlage der Blockade): vom „Fascial click“ bis zum Ende der LA-Applikation in Minuten;
- **Anschlagszeit**: vom Ende der LA-Applikation bis zur kompletten sensiblen Blockade im Bereich des Operationsgebiets in Minuten ;
- **Wartezeit**: vom Ende der LA-Applikation bis zum Hautschnitt in Minuten;
- **Dauer** der Operation in Minuten;
- **Blockadedauer** in Minuten.

Die Freigabe zur Operation erfolgte unabhängig von der Blockadeausbreitung 30 Minuten nach Ende der LA-Applikation.



## **2.4.6 Operationsphase**

Bei den operativen Eingriffen handelte es sich um:

- osteosynthetische Eingriffe an den Fingern, der Mittelhand und den Handwurzelknochen;
- Karpaltunnelspaltung;
- palmare Fasziektomien bei Morbus Dupuytren;
- Handgelenks-Arthroskopien;
- Eingriffe am distalen Oberarm und im Ellenbogenbereich.

Die operativen Eingriffe erfolgten bei Patienten der Klinik für Plastische-, Wiederherstellende- und Handchirurgie (Leitender Arzt: PD. Dr.B.Reichert) und der Klinik für Unfall- und Orthopädische Chirurgie (Leitender Arzt: PD. Dr. Stedtfeld) des Klinikums Nürnberg.

Patienten beider Gruppen wurden mit EKG, Sauerstoffsättigung, Blutdruckmessung überwacht.

Intraoperativ wurde die Schmerzintensivität bei Anlage der Blutsperre, dem Hautschnitt und der Hautnaht mittels Numerischer Ratingskala (NRS – 11 stufige Skala, „0“ bedeutet „kein Schmerz“ und „10“ bedeutet „maximal vorstellbarer Schmerz“) erhoben und dokumentiert. Auch die Notwendigkeit der Supplementierung (Analgesiedierung, zusätzliche periphere Blockade) und auftretende Nebenwirkungen wurden protokolliert.

## **2.4.7 Postoperative Phase**

Mit Beendigung der Operation wurde die axilläre Kanüle entfernt und der neurologische Status protokolliert. Patienten, bei denen postoperativ eine Überwachung am Monitor indiziert war (intraoperative Sedativa- und/oder Opiat-Gabe, aufgetretene Komplikationen, schwerwiegende Vorerkrankungen), wurden in den Aufwachraum verlegt. Klinisch nicht auffällige Patienten beider Gruppen wurden direkt auf die Allgemeinstation verlegt. Der Zeitpunkt des Abklingens der Blockade wurde durch das Aufwachraumpersonal, bzw. durch den Patienten selbst registriert. Die Patienten wurde postoperativ am

Operationstag oder am ersten postoperativen Tag visitiert und zu ihrer Befindlichkeit befragt, besondere Reaktionen und Komplikationen wurden dokumentiert. Die Patienten haben ihre Zufriedenheit mit Hilfe der Schulnotenskala (1=sehr gut, 2 =gut, 3 =befriedigend, 4= ausreichend, 5 =mangelhaft, 6 =ungenügend) bewertet.

## **2.5 Definition der Zielkriterien**

### **2.5.1 Erfolgsrate**

Analog der Publikation von Büttner et al. [22] wurde der Blockadeerfolg in drei Kategorien eingeteilt:

**Kategorie A:** vollständige Blockade, Operationsbeginn (Hautschnitt) ohne zusätzliche Maßnahmen möglich;

**Kategorie B:** nichtvollständige Blockade, Operation nur mithilfe zusätzlicher Maßnahmen wie z. B. Analgosedierung oder zusätzlicher peripherer Nervenblockaden möglich;

**Kategorie C:** Versager, Operation nur in Allgemeinanästhesie möglich.

Eine pharmakologische Sedierung, die auf Wunsch des Patienten und ohne medizinische Notwendigkeit erfolgte, blieb bei der Einteilung in diese 3 Kategorien unberücksichtigt.

### **2.5.2 Anschlagszeit**

Hierunter versteht man die Zeit vom Ende der LA-Applikation bis zur kompletten sensiblen Blockade im Bereich des Operationsgebiets in Minuten.

### **2.5.3 Zeitbedarf für die Anlage der Blockade**

Für den Zeitbedarf für die Anlage der Plexus axillaris – Blockade wird die Zeit vom „Fascial click“ bis zum Ende der LA-Applikation (Anlagezeit) in Minuten gemessen.

### **2.5.4 Komplikationen**

Sämtliche Komplikationen, wie das Auftreten von Parästhesien und Schmerzen, Gefäßpunktionen, systemische Reaktionen auf das Lokalanästhetikum während der Anlage der Blockade, intraoperative Vorkommnisse, Auftreten von Nervenläsionen postoperativ, sowie lokale Reaktionen (Hämatom, Entzündung) an der Einstichstelle wurden postoperativ dokumentiert.

## **2. 6 Statistische Methoden**

Die statistische Auswertung wurde in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Klaus Dietz, Institut für Medizinische Biometrie, Westbahnhofstraße 55, 72070 Tübingen durchgeführt.

Alle Messergebnisse wurden mittels des Statistikprogramms JMP 7.0.2 ausgewertet.

Zum Vergleich von Stichproben wurde für nominale Merkmale mit mehr als zwei Ausprägungen der Chi- Quadrat- Test nach Pearson und für dichotome Merkmale Fishers exakter Test und bei normalverteilten Variablen die einfache Varianzanalyse und der t- Test für unverbundene Stichproben verwendet. Für ordinale Zielvariablen und mehreren Einflussvariablen wurde eine multivariable ordinale logistische Regression eingesetzt.

Zur Analyse von aufgetretenen Komplikationen wurde ebenso der Chi- Quadrat- Test und Fishers exakt Test und zusätzlich die einfache Varianzanalyse bzw. der t- Test durchgeführt. Die Notwendigkeit der Supplementierung der Blockade und die Erfolgsrate wurden mit dem Chi- Quadrat- Test und Fishers exakter Test analysiert.

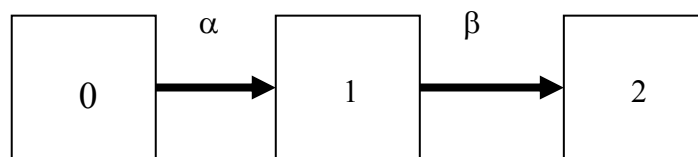
Zur Auswertung von zeitlichen Parametern und der postoperativen Zufriedenheit der Patienten wurde die einfache Varianzanalyse und der t- Test für unverbundene Stichproben verwendet. Die Schmerzintensivität wurde mittels des Oneway ANOVA und t- Tests und zusätzlich mit Wilcoxon-Mann-Whitney-Test und Kruskal-Wallis-Test analysiert.

Zur Analyse der zeitlichen Blockade Progression nach einzelnen Nerven wurde von Prof. Dietz ein mathematisches Modell ausgearbeitet:

Für jeden Patienten gab es für jede der 8 Kombinationen aus Zielvariable (sensible oder motorische Blockade) und jeden der vier Nerven alle 5 Minuten eine Beobachtung über den Zustand mit den Ausprägungen 0, 1 oder 2.

Insgesamt lagen 3920 Beobachtungen vor, da es insgesamt 98 Patienten in zwei Gruppen zu je 49 gab. (3920 = 98 Patienten x 5 Zeitpunkte x 2 Variablen x 4 Nerven)

Die Übergänge vom Zustand 0 in den Zustand 1 und den Zustand 2 wurden durch folgendes einfaches Kompartimentmodell beschrieben:



Die Wahrscheinlichkeit im Zustand 0 zur Zeit  $t$  zu sein ist:

$$p(0) = e^{-\alpha t}.$$

Die Wahrscheinlichkeit im Zustand 1 zur Zeit  $t$  zu sein ist:

$$p(1) = \frac{\alpha}{\alpha - \beta} (e^{-\beta t} - e^{-\alpha t}).$$

Die Wahrscheinlichkeit im Zustand 2 zur Zeit  $t$  zu sein ist:

$$p(2) = \frac{\alpha\beta}{\alpha - \beta} \left( \frac{1 - e^{-\beta t}}{\beta} - \frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha} \right).$$

Die Summe der drei Wahrscheinlichkeiten ist zu jedem Zeitpunkt gleich 1.

Die beiden Parameter und deren 95% Konfidenzintervalle wurden mit Hilfe der Maximum-likelihood-Methode geschätzt. Dies galt auch für abgeleitete

Parameter wie die Dauer bis zum Zustand 2:  $\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta}$ . Der Vergleich der Dauern

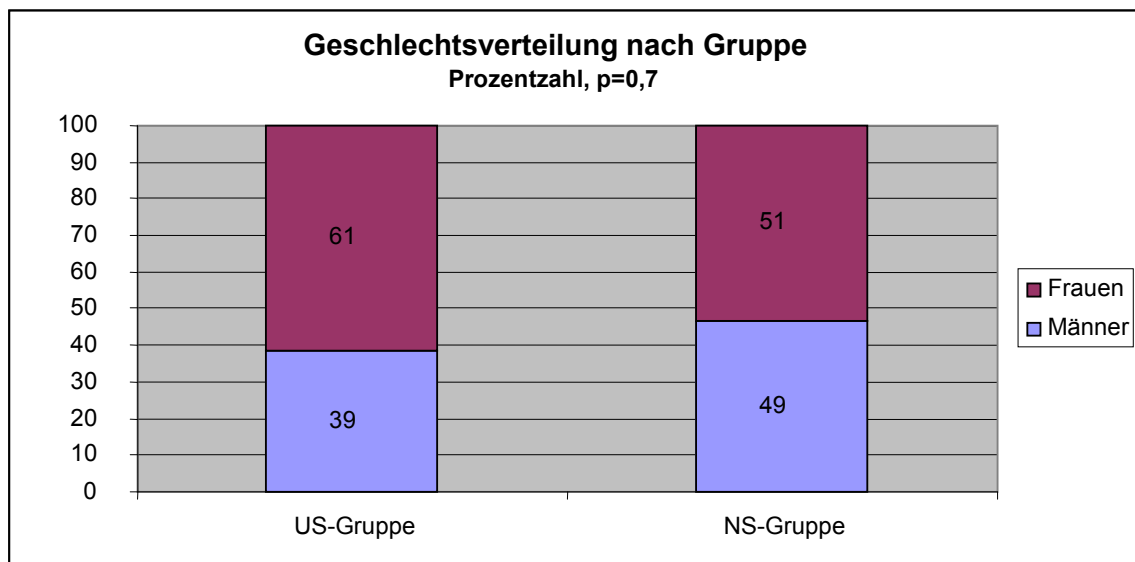
bis zum Zustand 2 zwischen den beiden Gruppen erfolgte durch den Likelihood-Quotienten-Test.

Die Signifikanzschranke wurde mit  $p < 0,05$  für „signifikant“ festgelegt.

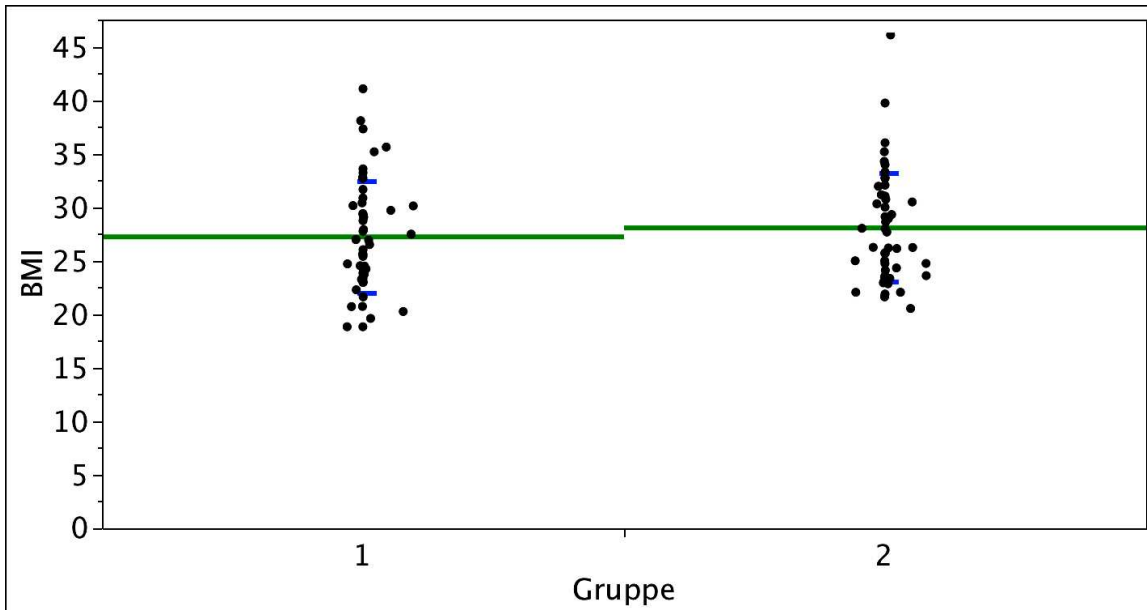
### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Patientenkollektiv

Insgesamt werden 98 Patienten in die Studie eingeschlossen und in zwei Gruppen (Ultraschall- und Nervenstimulationsgruppe) zu je 49 Patienten sowie auf drei Untersucher mit unterschiedlicher Erfahrung in der Regionalanästhesie (sehr erfahren, durchschnittlich erfahren, wenig erfahren) randomisiert aufgeteilt. Alle Studienprotokolle werden vollständig ausgefüllt und liegen zur Auswertung vor. Die beiden Untersuchungsgruppen unterscheiden sich nicht hinsichtlich Geschlechtsverteilung, Body-Mass-Index (BMI) und zu operierender Seite (siehe Abb. 3.1- 3.3). Auch der Ort des operativen Eingriffes unterscheidet sich nicht in beiden Gruppen (siehe Abb 3.5). Die Verteilung der Untersucher auf die Patienten und Zuordnung zu den Untersuchungsgruppen ist in Abbildung 3.4 dargestellt. Diese Verteilung zeigt ebenfalls keine signifikanten Unterschiede und vor allem keinen Einfluss auf die Ergebnisse.

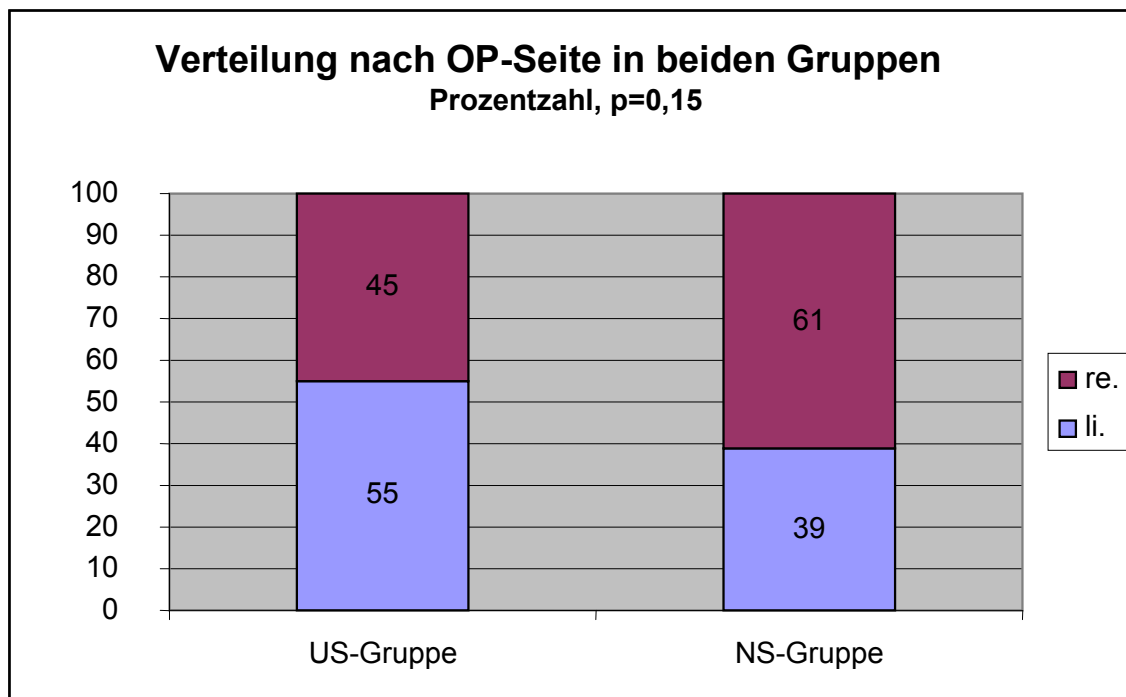


**Abb. 3.1.** Geschlechtsverteilung in beiden Untersuchungsgruppen.

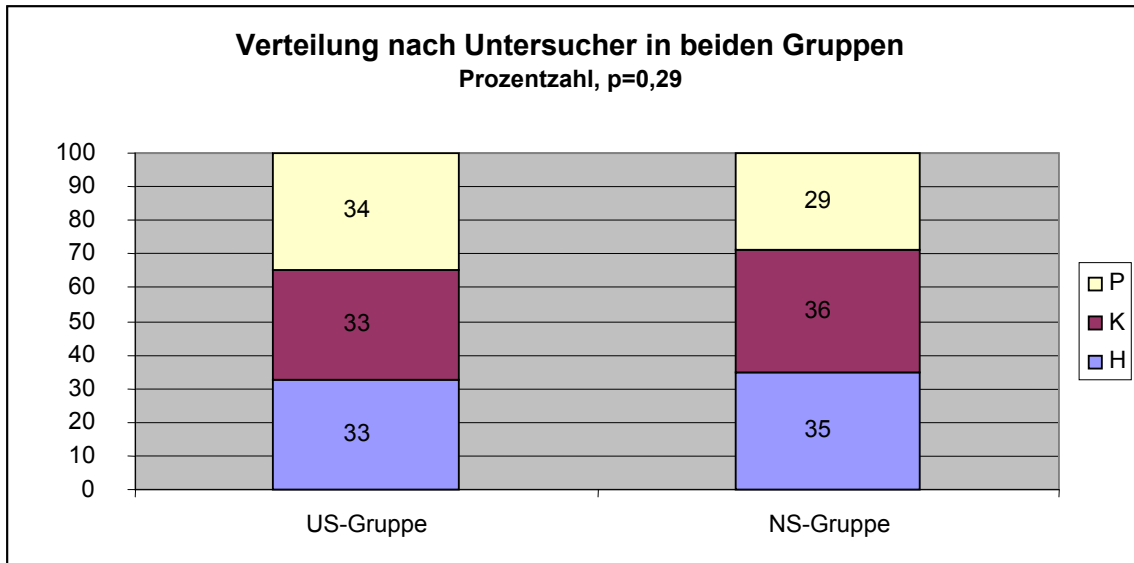


**Abb. 3.2:** Body-Mass-Index (BMI (kg/m<sup>2</sup>) in beiden Untersuchungsgruppen.

**Legende:** 1 = US-Gruppe, 2= NS-Gruppe), deren Mittelwerte (27,2 kg/m<sup>2</sup> in der US-Gruppe und 28,04 kg/m<sup>2</sup> in der NS-Gruppe, grüne Linie) und Standardabweichungen (± 5,21 kg/m<sup>2</sup> in US-Gruppe und ± 5,09 kg/m<sup>2</sup> in der NS-Gruppe, blaue Linien), p= 0,42.

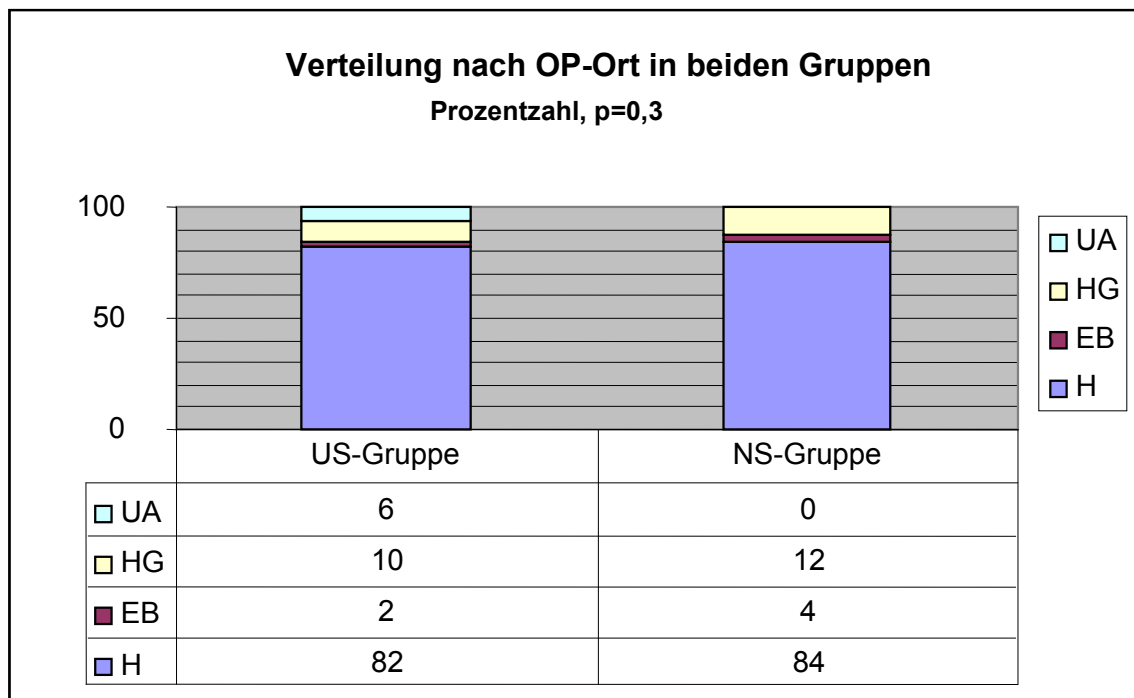


**Abb. 3.3** Verteilung nach OP-Seite in beiden Untersuchungsgruppen.



**Abb. 3.4:** Verteilung nach Untersucher in beiden Untersuchungsgruppen.

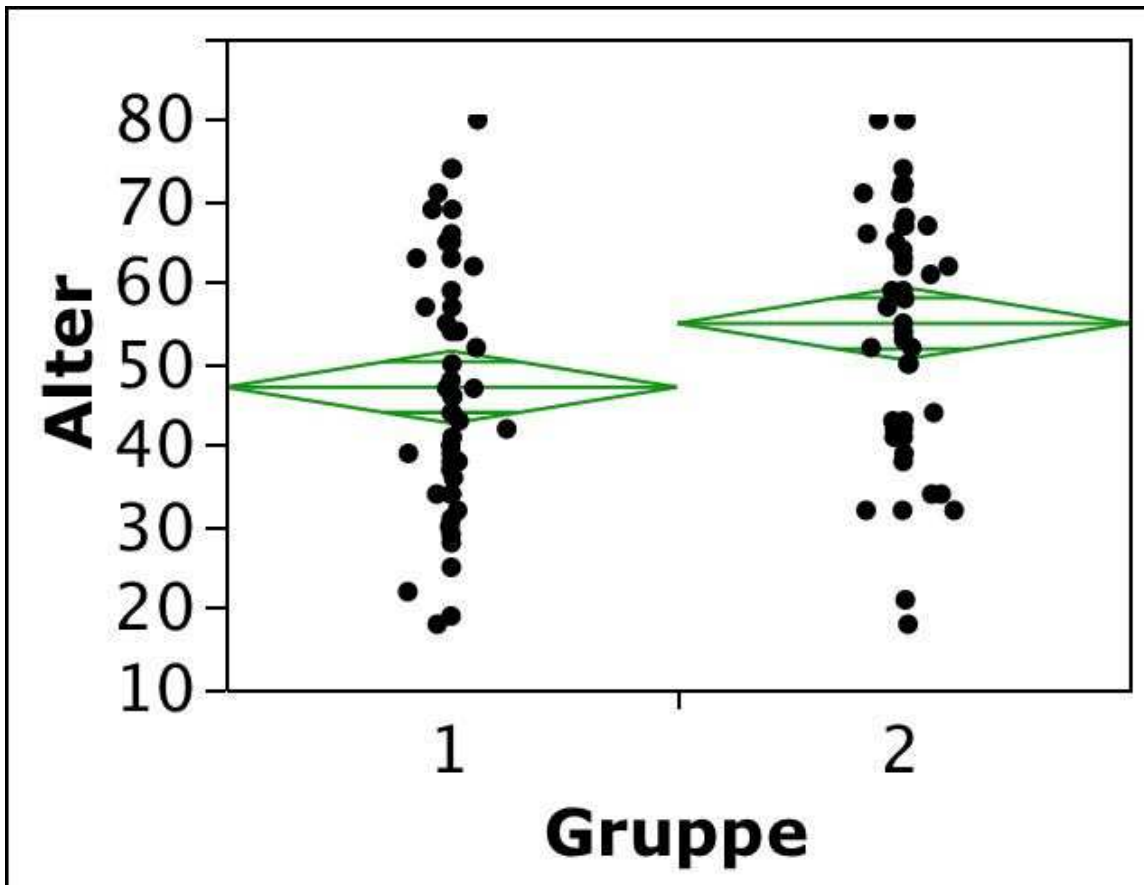
**Legende:** P= Untersucher mit viel Erfahrung, H= Untersucher mit durchschnittlicher Erfahrung, K= Untersucher mit wenig Erfahrung.



**Abb. 3.5** Verteilung nach OP-Art in beiden Untersuchungsgruppen.

**Legende:** H=Operation an der Hand (Finger und Handwurzel), HG= Operation am Handgelenk, EB= Operation im Bereich des Ellenbogens, UA= Operation am Unterarm.

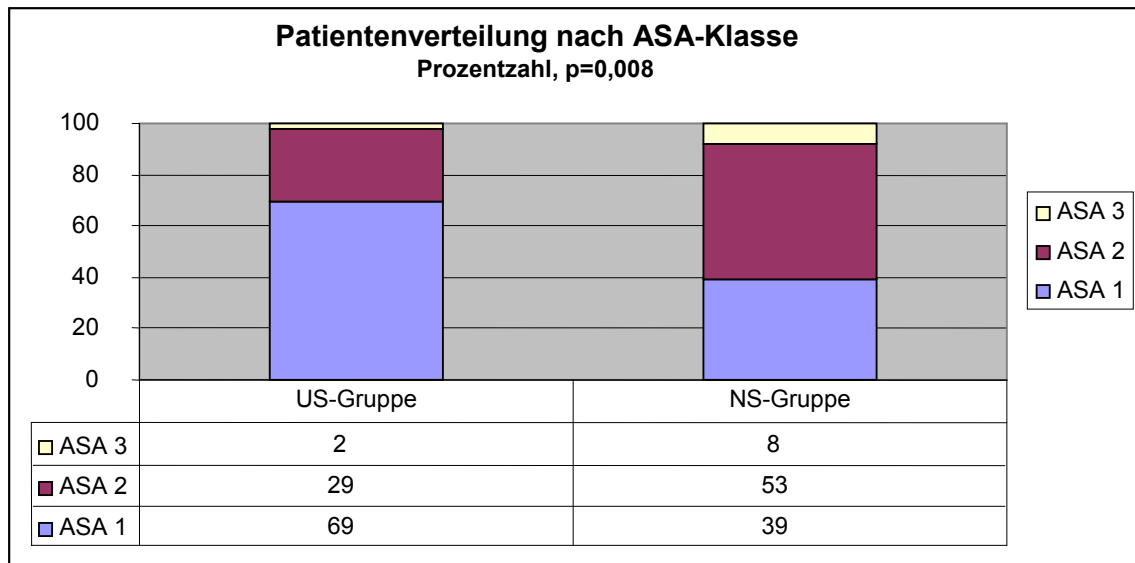
Hinsichtlich Patientenalter und Verteilung nach ASA-Klassifikation ergeben sich zwischen beiden Gruppen signifikante Unterschiede. Die Patienten in der NS-Gruppe sind durchschnittlich älter als die Patienten in der US-Gruppe (siehe Abb. 3.6). Auch der Anteil der Patienten mit höheren ASA-Klassen ist in der NS-Gruppe größer als in der US-Gruppe (siehe Abb. 3.7).



**Abb 3.6** Patientenalter in beiden Untersuchungsgruppen.

**Legende:** Gruppe 1 = US-Gruppe:  $47,1 \pm 15,6$  Jahre, Gruppe 2= NS-Gruppe:  $55,0 \pm 15,7$ . Die waagerechten Mittellinien der Rauten sind die Mittelwerte. Die oberen und unteren Ecken der Rauten markieren die 95% Vertrauensintervalle für die Mittelwerte. Der Unterschied war signifikant,  $p=0.015$ .





**Abb 3.7** Patientenverteilung nach ASA-Klassifikation.

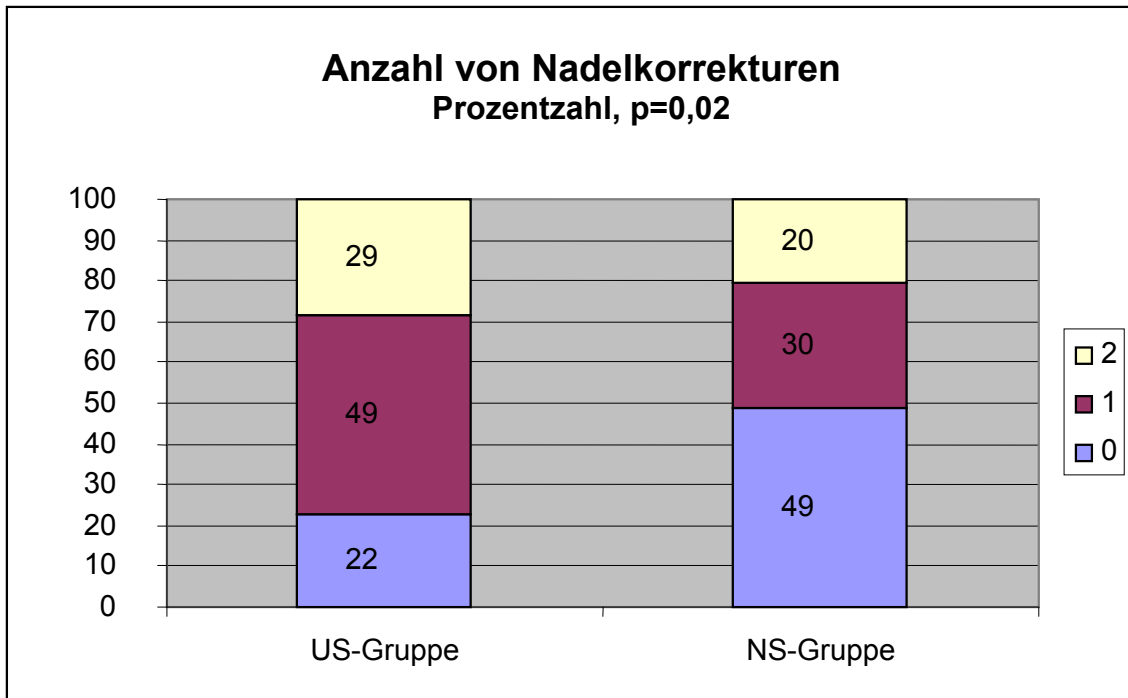
Die Unterschiede bezüglich der ASA-Klassifikation sind signifikant zuungunsten der NS-Gruppe ( $p=0.008$ ).

Allerdings zeigt die statistische Analyse mittels multivariabler ordinaler logistischer Regression, dass diese Unterschiede keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben.

### 3.2 Anlage der Blockade

Schwierigkeiten bei der Palpation der A. axillaris sind in der US-Gruppe bei 4 Patienten (8%) und in der NS-Gruppe bei 5 Patienten (10%) zu beobachten. Der Unterschied ist statistisch nicht signifikant ( $p=1,0$ ).

Die Anzahl der erforderlichen Kanülenkorrekturen von 2 im oberen Quartil ist in der US-Gruppe signifikant höher als in der NS-Gruppe mit 1 im oberen Quartil,  $p=0,02$  (Wilcoxon-Test). (Abb 3.8)



**Abb. 3.8** Anzahl der Nadelkorrekturen.

**Legende:** 0= keine Korrektur, 1 = 1 Korrektur, 2= 2 Korrekturen, der Unterschied war signifikant,  $p=0.02$ .

Die durch beide Verfahren ausgelösten Parästhesien unterscheiden sich nicht signifikant:

- ausgelöst durch die Platzierung der Kanüle (12% in der US-Gruppe vs. 6% in der NS-Gruppe),  $p= 0.5$ ;
- ausgelöst durch die Injektion von (2% in der US-Gruppe vs. 4% in der NS-Gruppe),  $p= 1,0$ ;
- ausgelöst durch die Nervenstimulation (2% in der US-Gruppe vs. 2% in der NS-Gruppe),  $p=1,0$ .

Gefäßpunktionen werden in der US-Gruppe nicht signifikant häufiger beobachtet als in der NS-Gruppe (6% vs. 2%),  $p= 0,6$ .

Die Menge injizierter Lokalanästhetika unterscheidet sich in beiden Gruppen nicht signifikant (US-Gruppe  $46,1 \pm 5,7$  ml vs. NS-Gruppe  $47,4 \pm 3,99$  ml,  $p=0,2$ ).

**Tab. 3.1:** Tabellarische Übersicht der Ereignisse während der Anlage der Blockade in beiden Untersuchungsgruppen.

Parameter	US-Gruppe (n= 49)	NS-Gruppe (n= 49)	p-Wert
Schwierigkeiten bei Palpation der A. axillaris (Anzahl/%)	4 (8%)	5(10%)	1,0
Nadelkorrekturen (Q3)	2	1	0,0215
Parästhesien bei Platzierung der Kanüle (Anzahl/%)	6 (12%)	3 (6%)	0,5
Parästhesien bei Injektion (Anzahl/%)	1 (2%)	2(4%)	1,0
Parästhesien bei Nervenstimulation (Anzahl/%)	1 (2%)	2 (4%)	1,0
Gefäßpunktionen (Anzahl/%)	3 (6%)	1 (2%)	0,6
LA-Menge (MW±SD, ml)	46,1±5,7	47,4±3,99	0,2

### 3.3 Zeitliche Parameter

#### 3.3.1 Anlagezeit

Die Anlagezeit der Blockade (Zeitintervall zwischen „fascial click“ und Ende der LA-Applikation) ist in der US-Gruppe mit 6 Minuten im Median (2-15 Minuten) nicht signifikant länger als in der NS-Gruppe mit 4 Minuten im Median (2-28 min),  $p=0.13$ .

#### 3.3.2 Wartezeit

Die Wartezeit (Ende der LA-Applikation bis Hautschnitt) weist keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen auf (US-Gruppe  $53,8\pm 16,1$  min vs. NS-Gruppe  $51,6\pm 17$  min,  $p=0.5$ ). Die Wartezeiten sind aus organisatorischen Gründen im OP-Betrieb entstanden und nicht durch die Blockaden begründet.

### 3.3.3 Dauer der Eingriffe

Die durchschnittliche Dauer der operativen Eingriffe unterscheidet sich in beiden Untersuchungsgruppen ebenfalls nicht signifikant: US-Gruppe: 27 min im Median (Spannweite 8-85 min) vs. NS-Gruppe 21 min im Median (Spannweite 2-101 min,  $p=0.6$ ).

### 3.3.4 Anschlagszeit

Die Anschlagszeit ist in der US-Gruppe signifikant kürzer als in der NS-Gruppe (US-Gruppe  $13.1 \pm 6.0$  min vs. NS-Gruppe  $16.0 \pm 7.6$  min,  $p=0.036$ ).

**Tab. 3.2:** Tabellarische Übersicht der zeitlichen Parameter in beiden Untersuchungsgruppen.

Parameter	US-Gruppe (n= 49)	NS-Gruppe (n= 49)	p-Wert
Blockadeanlage-Zeit (Median), min	6 (Spannweite 2-15)	4 (Spannweite 2-28)	0,13
Wartezeit (MW $\pm$ SD), min	53,8 $\pm$ 16,1	51,6 $\pm$ 15	0,49
OP-Dauer (Median), min	27 (Spannweite 8-85)	21 (Spannweite 2-101)	0,62
Anschlagszeit (MW $\pm$ SD), min	13.1 $\pm$ 6.0	16.0 $\pm$ 7.6	0.036

## 3.4 Blockadequalität nach 30 Minuten

Bei Austestung der Blockade nach 30 Minuten tritt eine komplette sensorische Blockade im Operationsgebiet in der US-Gruppe bei 45 Patienten (92%) und in der NS-Gruppe bei 34 Patienten (70%) auf. Der Unterschied ist hochsignifikant,  $p=0.005$ . Bei 4 Patienten (8%) in der US-Gruppe und bei 12 Patienten (24%) in der NS-Gruppe ist nach 30 Minuten eine Teilblockade nachzuweisen (Rest-Berührungsempfinden ohne Schmerzempfinden und ohne „Spitz-Stumpf“-

Diskriminierungsfähigkeit). Der Unterschied ist signifikant,  $p = 0.03$ . Eine ausbleibende Anästhesie im Op-Gebiet wird in der US-Gruppe bei keinem und in der NS-Gruppe bei 3 Patienten (6%) beobachtet.

**Tab. 3.3:** Qualität der sensiblen Blockade nach 30 Min

Qualität der Blockade	US-Gruppe (n= 49)	NS-Gruppe (n= 49)	p-Wert
Komplette Blockade	45 (92%)	34 (70%)	0.005
Teilblockade	4 (8%)	12 (24%)	0.03
Keine Blockade	0	3 (6%)	0.03

### 3.5 Zeitliche Blockadepression

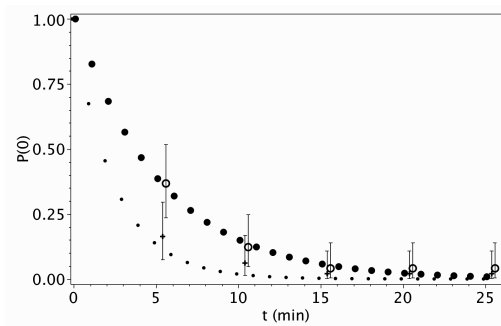
Um die zeitliche Progression der sensiblen und motorischen Blockade in beiden Gruppen vergleichen zu können, wurde ein mathematisches Modell erstellt. Es werden jeweils drei Zustände für die sensible und die motorische Blockadentiefe festgelegt:

- Zustand „0“ = keine Blockade;
- Zustand „1“ = inkomplette Blockade sensibel (Analgesie: Diskriminierung von spitz und stumpf nicht möglich), bzw. motorisch (Parese: Einschränkung der Handmotorik);
- Zustand „2“ = vollständige Blockade sensibel (Anästhesie: vollständiger Sensibilitätsverlust), bzw. motorisch (Paralyse: Bewegung der Handmuskulatur nicht möglich).

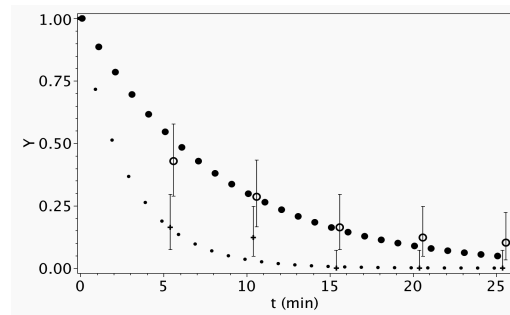
Danach wird für jeden Nerven die Verweildauer in den einzelnen Zuständen und der Zeitpunkt des Auftretens der kompletten Blockade bestimmt und die Ergebnisse beider Untersuchungsgruppen verglichen.

Die Verweildauer ist in beiden nicht komplett blockierten Zuständen (Zustand 0 und 1) in der US Gruppe kürzer als in der NS Gruppe. Das gilt sowohl für die sensible als auch für die motorische Blockade aller vier peripheren Nerven. Die komplette Blockade, sowohl sensibel als auch motorisch, tritt an allen vier Nerven in der US-Gruppe signifikant schneller als in der NS-Gruppe auf.

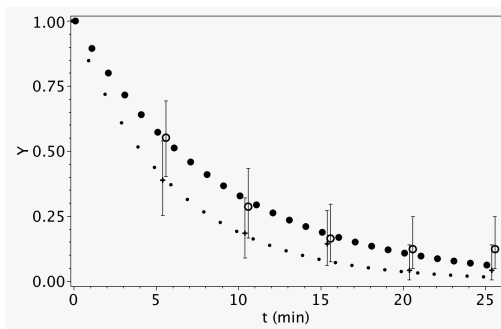
N. medianus mot.



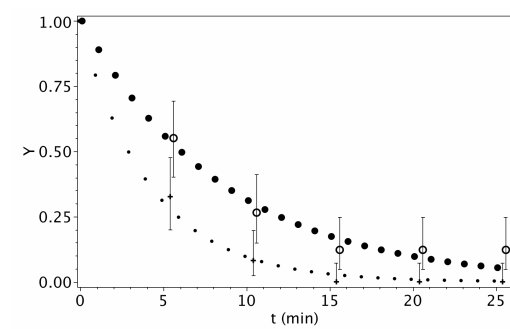
N. musculocutaneus



N. radialis

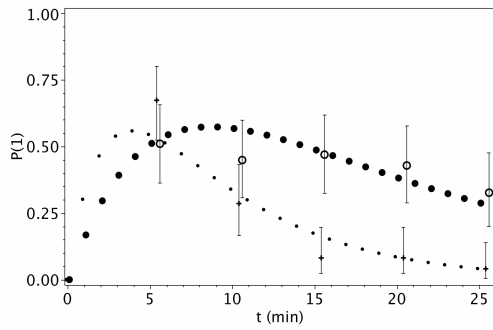


N. ulnaris

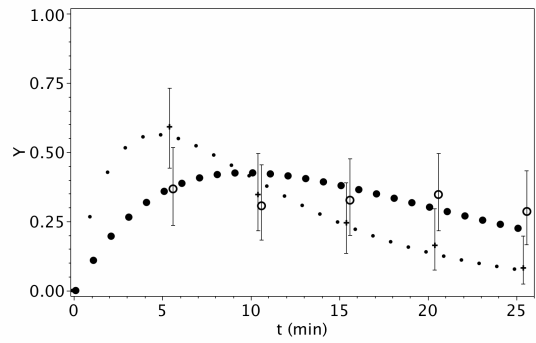


**Abb. 3.9 a:** Progression der motorischen Blockade. Zustand 0.

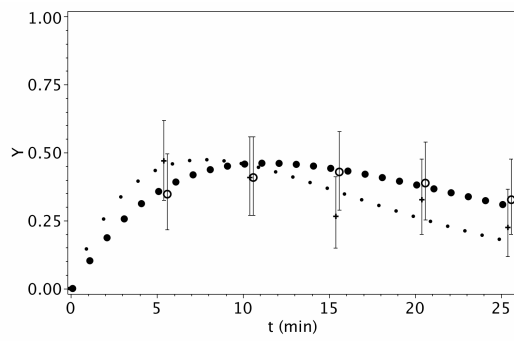
N. medianus .



N. musculocutaneus



N. radialis



N. ulnaris

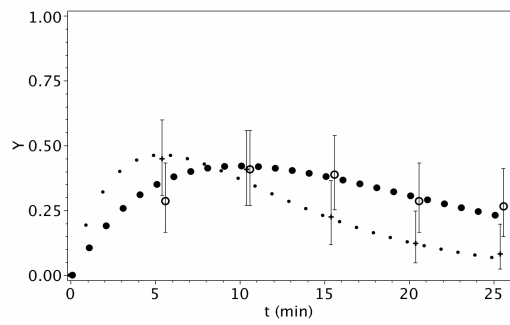
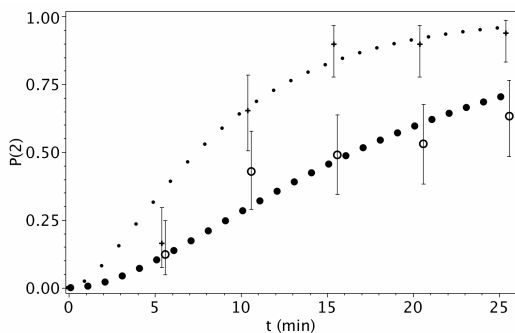
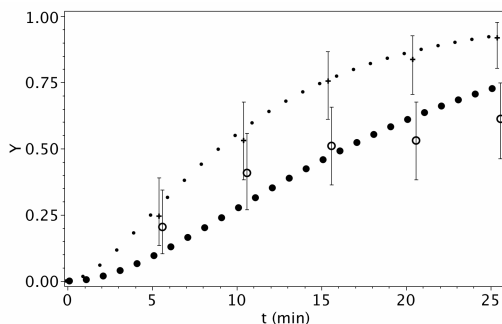


Abb. 3.9 b: Progression der motorischen Blockade. Zustand 1.

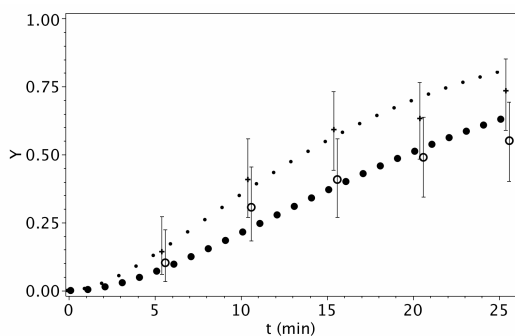
N. medianus mot.



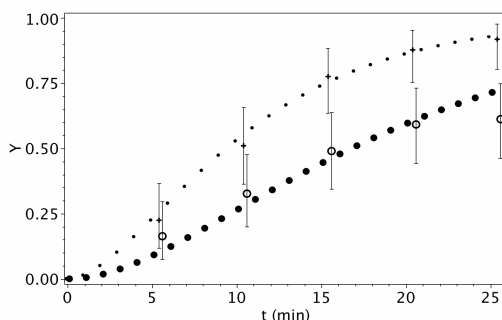
N. musculocutaneus



N. radialis



N. ulnaris



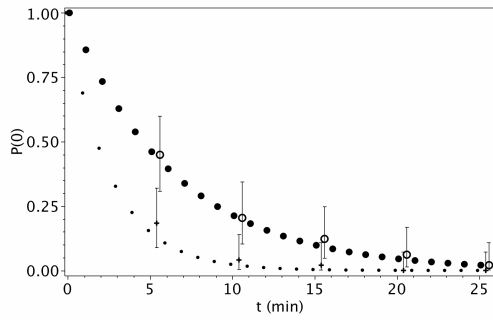
**Abb. 3.9 c:** Progression der motorischen Blockade. Zustand 2.

**Abb 3.9, a, b und c.** Progression der motorischen Blockade. Graphische Darstellung des Anteil der Patienten, die sich zu einem bestimmtem Untersuchungszeitpunkt in einem „Zustand“ befanden.

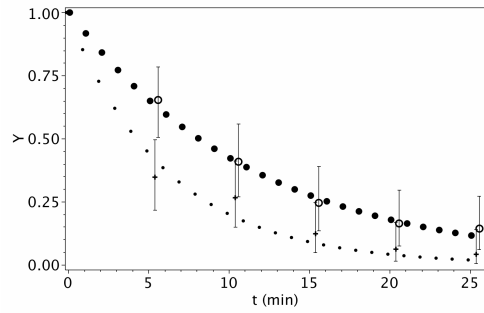
**Legende:** US-Gruppe....., NS-Gruppe ●●●●, Y-Achse: Patientenanteil, X-Achse: Zeit in Minuten, Vertikale Striche zeigen die 95%- Konfidenzintervalle.



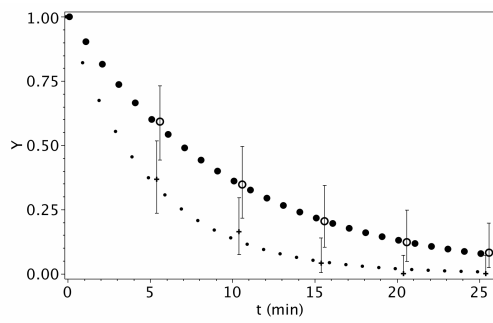
N. medianus mot.



N. musculocutaneus



N. radialis



N. ulnaris

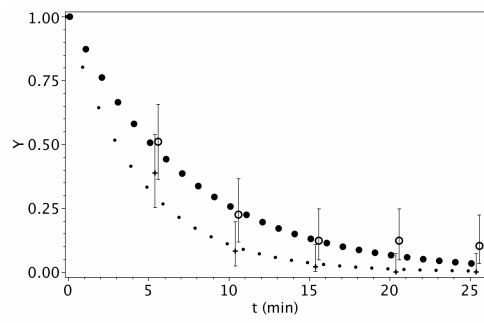
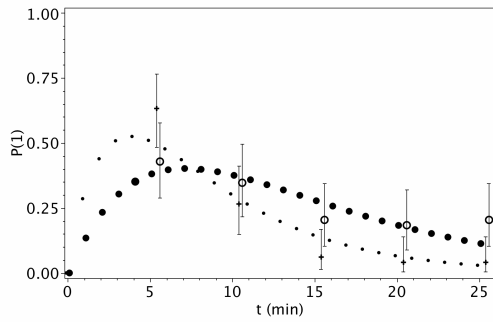
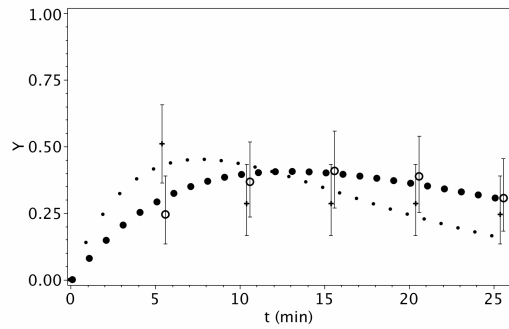


Abb. 3.10 a: Progression der sensiblen Blockade. Zustand 0.

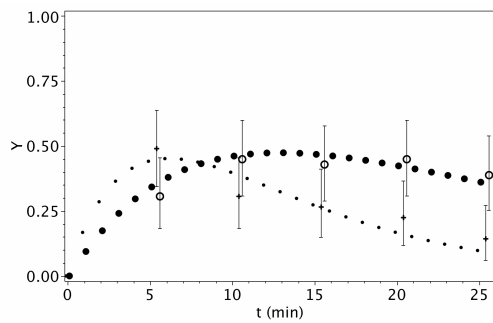
N. medianus mot.



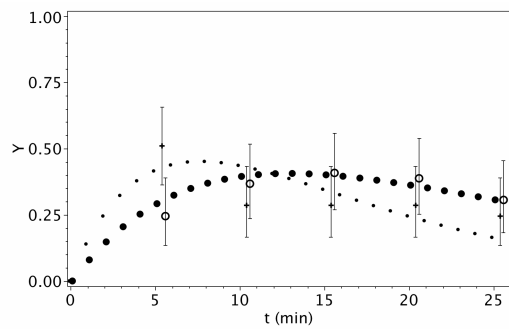
N. musculocutaneus



N. radialis

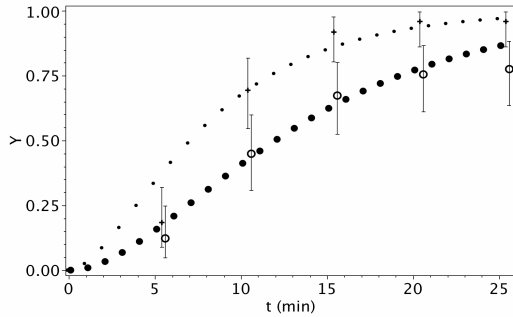


N. ulnaris

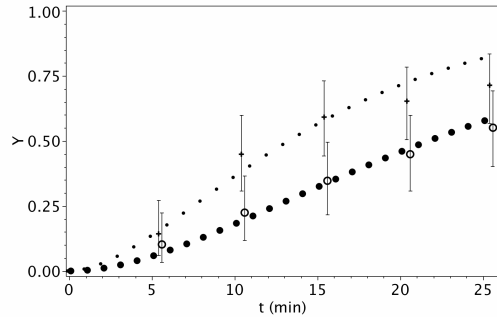


**Abb. 3.10 a:** Progression der sensiblen Blockade. Zustand 1.

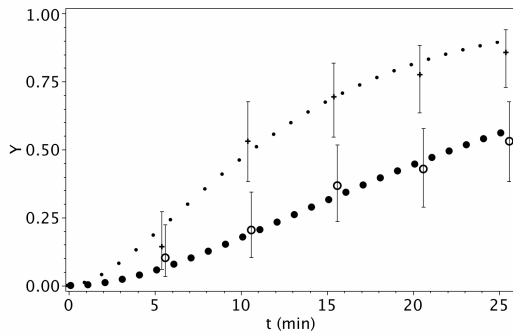
N. medianus sens.



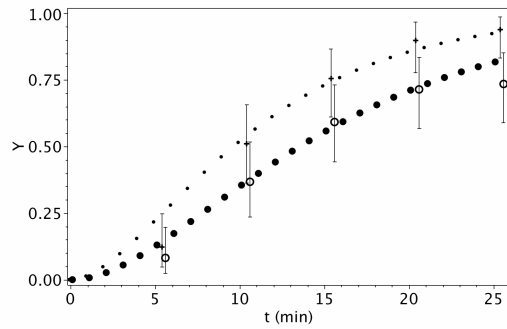
N. musculocutaneus



N. radialis



N. ulnaris

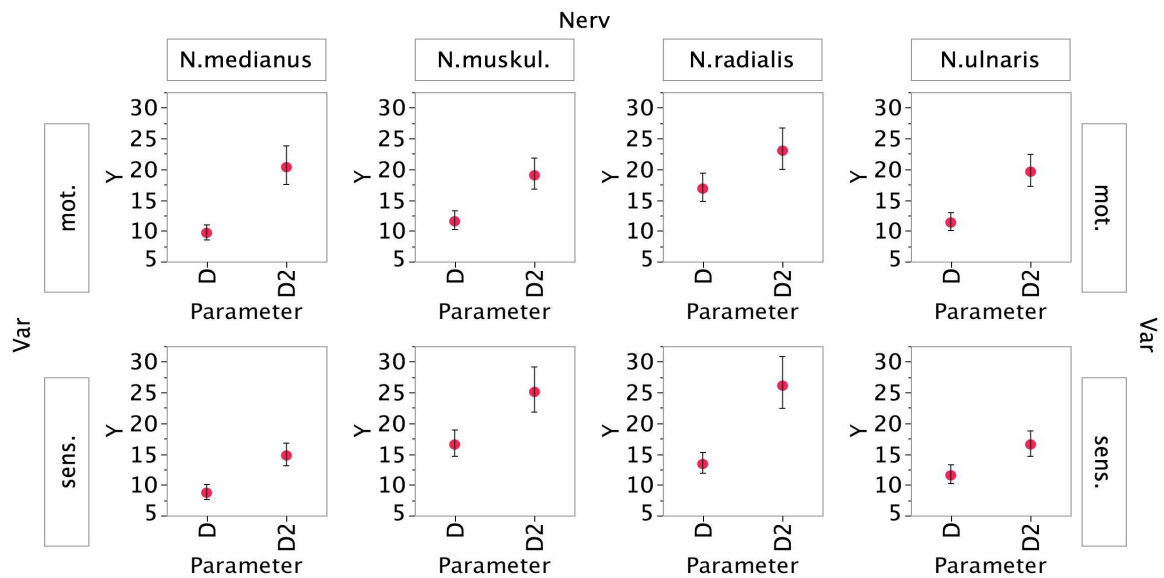


**Abb. 3.10 a:** Progression der sensiblen Blockade. Zustand 2.

**Abb. 3.10 a, b und c:** Progression der sensiblen Blockade.

Graphische Darstellung des Anteil der Patienten, die sich zu einem bestimmtem Untersuchungszeitpunkt in einem „Zustand“ befinden.

**Legende:** US-Gruppe  $\cdots$ , NS-Gruppe  $\bullet\bullet\bullet$ , Y-Achse: Patientenanteil, X-Achse: Zeit in Minuten, Vertikale Striche zeigen die 95%- Konfidenzintervalle.



**Abb 3.11:** Graphische Darstellung der errechneten Eintritt-Zeitpunkte der kompletten sensiblen und motorischen Blockade aller vier Hauptnerven.

**Legende:** D = US-Gruppe, D2 = NS-Gruppe, Y-Achse = Zeit in Minuten.

**Tabelle 3.4:** Eintrittszeiten der kompletten motorischen Blockade an den Hauptnerven, errechnet nach dem mathematischen Modell

Blockadeart	Nerv	Gruppe	EZ (min)	uKG (min)	oKG (min)	p-Wert
motorisch	N. medianus	US	9.67	8.50	11.03	<.0001
		NS	20.33	17.60	23.81	
motorisch	N. muscul.	US	11.55	10.14	13.24	<.0001
		NS	19.02	16.77	21.74	
motorisch	N. radialis	US	16.85	14.84	19.31	0.0017
		NS	23.01	20.04	26.76	
motorisch	N. ulnaris	US	11.35	9.99	12.97	<.0001
		NS	19.60	17.24	22.45	
sensibel	N. medianus	US	8.71	7.62	9.98	<.0001
		NS	14.76	13.06	16.77	
sensibel	N. muscul.	US	16.54	14.60	18.89	<.0001
		NS	25.09	21.83	29.16	
sensibel	N. radialis	US	13.38	11.80	15.27	<.0001
		NS	26.10	22.49	30.78	
sensibel	N. ulnaris	US	11.54	10.16	13.18	0.0001
		NS	16.55	14.63	18.82	

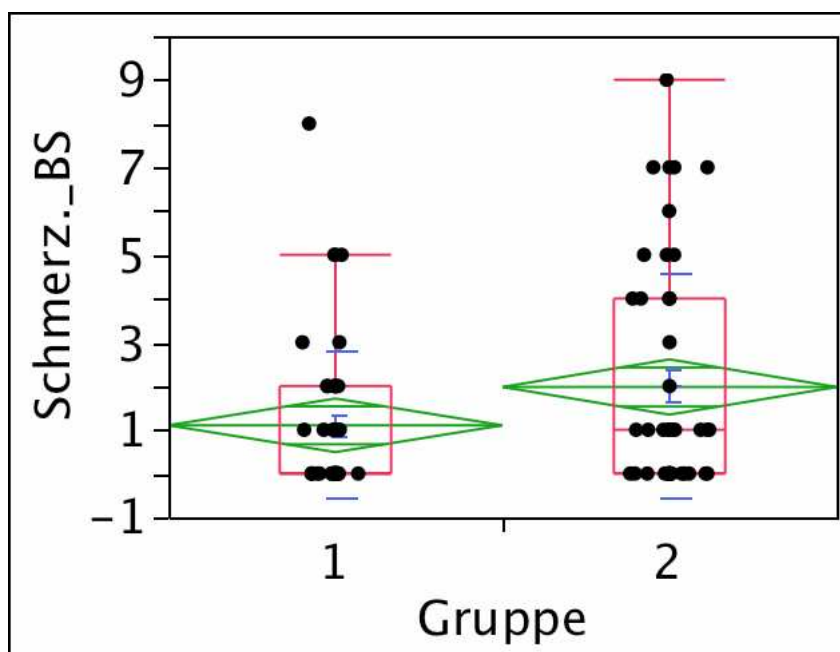
**Tab. 3.4. Legende:** EZ= Eintritt-Zeitpunkte der kompletten sensiblen und motorischen Blockade aller vier Hauptnerven, oKG = obere 95% Konfidenzgrenze, uKG = untere 95% Konfidenzgrenze.

### 3.6 Schmerzintensität und Auftreten von Parästhesien perioperativ

#### 3.6.1 Schmerzen bei Anlage der Blutsperrre

Zur Operation werden bei 48 Patienten in jeder Untersuchungsgruppe eine Blutsperrre angelegt. Über Schmerzen aufgrund der Blutsperrre klagen in der US-Gruppe 24 (49%) und in der NS-Gruppe 27 ( 59%) Patienten. Bei 3 Patienten in der NS-Gruppe kann keine Abfrage durchgeführt werden, da sie sich bereits zum Operationsbeginn wegen einer ausbleibender sensibler Blockade im Operationsgebiet in Allgemeinanästhesie befinden.

Die Schmerzintensität bei Anlage der Blutsperrre ist in der NS-Gruppe mit einem NRS-Wert von 1 im Median (Spannweite 0-9) nicht signifikant höher als in der US-Gruppe mit einem NRS-Wert von 0 im Median (Spannweite 0-8),  $p=0.06$ .



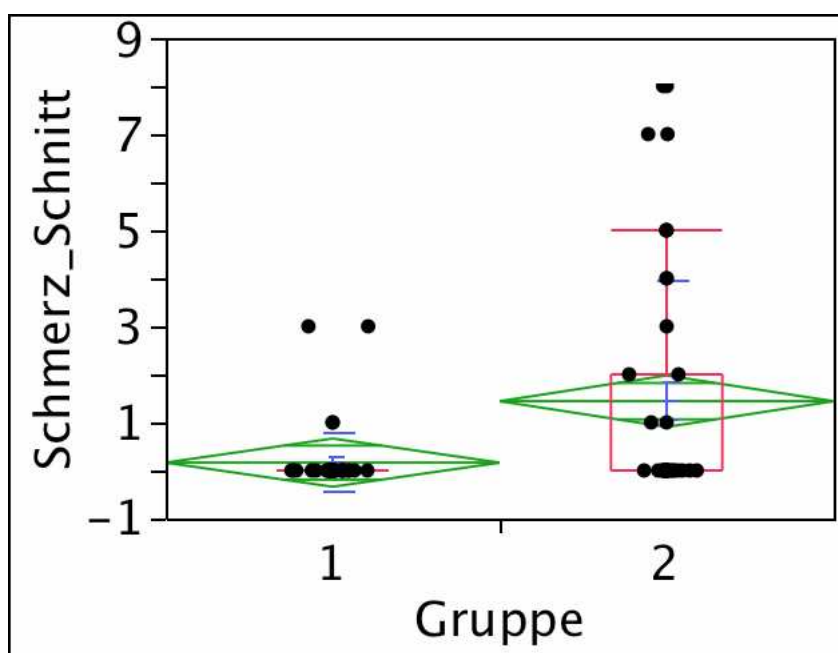
**Abb. 3.12** Schmerzintensität bei Blutsperrreanlage.

**Legende:** 1 = US-Gruppe, 2= NS-Gruppe. Die waagerechten Mittellinien der Rauten sind die Mittelwerte. Die oberen und unteren Ecken der Rauten markieren die 95% Vertrauensintervalle für die Mittelwerte.

### 3.6.2 Schmerzen beim Hautschnitt

Schmerzen beim Hautschnitt beklagen in der US-Gruppe 4 (2%) Patienten und der NS-Gruppe 14 (7%) Patienten. Bei 6 (3%) Patienten in NS-Gruppe können keine Abfrage durchgeführt werden, da sie sich bereits zum Operationsbeginn wegen der ausbleibenden sensiblen Blockade im Operationsgebiet und den anhaltenden starken Schmerzen nach Anlage der Blutsperre in Allgemeinanästhesie befinden.

Die Schmerzintensivität bei Hautschnitt ist in der US-Gruppe mit einem NRS-Wert von 0 im oberen Quartil (Spannweite 0-3) signifikant geringer als in der NS-Gruppe, NRS-Wert von 2 im oberen Quartil (Spannweite 0-8),  $p=0.002$ .



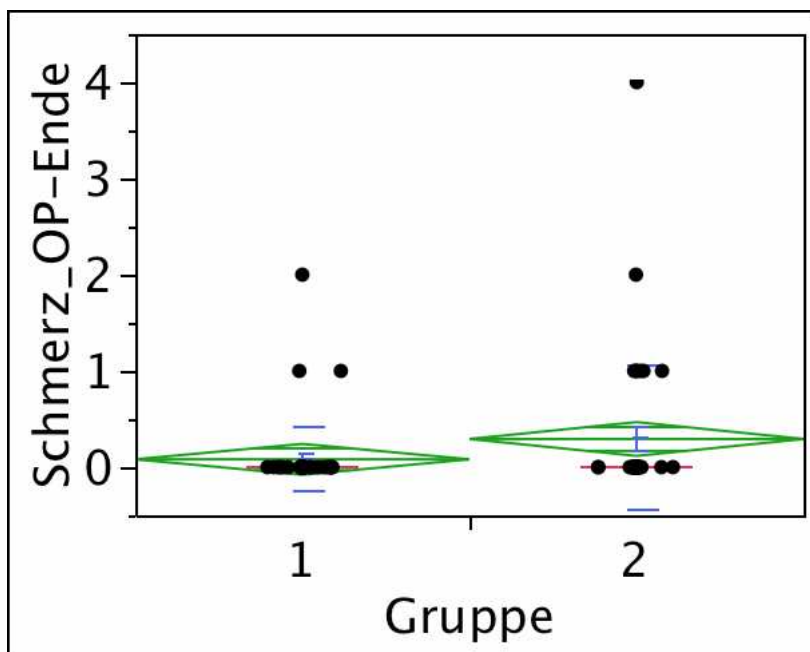
**Abb. 3.13** Schmerzintensität bei Hautschnitt.

**Legende:** 1 = US-Gruppe, 2= NS-Gruppe Die waagerechten Mittellinien der Rauten sind die Mittelwerte. Die oberen und unteren Ecken der Rauten markieren die 95% Vertrauensintervalle für die Mittelwerte.

### 3.6.3 Schmerzen bei Hautnaht

Schmerzen bei der Hautnaht beklagen in der US-Gruppe 3 (1,5 %) Patienten und der NS-Gruppe 8 (4 %) Patienten. Bei 8 (4%) Patienten in NS-Gruppe kann keine Abfrage durchgeführt werden, da sie sich bei der Hautnaht in Allgemeinanästhesie befinden.

Die Schmerzintensivität bei Hautnaht ist in der US-Gruppe mit einem NRS-Wert von 0 im 90% Quantil nicht signifikant geringer als in der NS-Gruppe, NRS-Wert von 1 im 90% Quantil,  $p=0,06$



**Abb. 3.14** Schmerzintensität bei Hautschnitt.

**Legende:** 1 = US-Gruppe, 2= NS-Gruppe. Die waagerechten Mittellinien der Rauten sind die Mittelwerte. Die oberen und unteren Ecken der Rauten markieren die 95% Vertrauensintervalle für die Mittelwerte.

### 3.7 Supplementierung der axillären Plexusanästhesie perioperativ

Die Patienten werden zur Anlage der Blockade und intraoperativ nicht sediert. Allen Patienten wird eine Sedierung mit Midazolam nach dem Hautschnitt

angeboten. In der US-Gruppe nehmen 11 (22%) und in der NS-Gruppe 3 (6%) Patienten dieses Angebot wahr.

Die Analgosedation als Supplementierung der nicht vollständigen Blockade wird in der US-Gruppe bei 2 (4%) Patienten und in der NS-Gruppe bei 13 (27%) Patienten notwendig, der Unterschied ist hoch signifikant ( $p = 0.002$ ).

Zum Zeitpunkt des Hautschnitts ist eine zusätzliche periphere Nerven-Blockade (subkutaner Oberarm-Wall) in der US-Gruppe bei 1 (2%) und in der NS-Gruppe bei 4 (8%) der Patienten notwendig, der Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant ( $p=0.17$ ).

Analgetika bei einer nicht suffizienten Blockade kommen in der US-Gruppe bei 2 (4%) und in der NS-Gruppe bei 14 (29%) Patienten zum Einsatz, der Unterschied ist in diesem Fall hoch signifikant,  $p=0.001$ .

Bei nicht ausreichender Anästhesie des Plexus brachialis kann eine Repetitionsdosis des Lokalanästhetikums durch die liegende Verweilkanüle am Plexus brachialis gegeben werden. Dies ist in der US-Gruppe bei keinem und in der NS-Gruppe bei 1(2%) Patienten indiziert, der Unterschied ist mit  $p=0.3$  nicht signifikant.

Eine Allgemeinanästhesie bei unzureichendem Blockadeerfolg der Plexus brachialis -Anästhesie wird in der US-Gruppe bei keinem Patienten und in der NS-Gruppe bei 10 (20%) Patienten notwendig, im Vergleich zeigt sich eine hohe Signifikanz ( $p=0.0008$ ).

**Tab. 3.5:** perioperative Supplementierung

Art der Supplementierung	US-Gruppe (n= 49)	NS-Gruppe (n= 49)	p-Wert
Sedativa auf Patientenwunsch (n/%)	11(22%)	3 (6%)	0.02
Sedativa bei insuffizienter Blockade (n/%)	2 (4%)	13 (27%)	0.002
Analgetika bei insuffizienter Blockade (n/%)	2 (4%)	14 (29%)	0.001
Zusätzliche periphere Blockade (n/%)	1 (2%)	4 (8%)	0,17
Repetition von LA (n/%)	0	1 (2%)	0,3
Allgemeinanästhesie bei insuffizienter Blockade (n/%)	0	10 (20%)	0.0008

### 3.8 Erfolgsrate der axillären Blockade

Die Erfolgsrate entspricht der klinischen Blockadequalität bei Hautschnitt. Die exakte Definition hierfür findet sich im Kapitel „Material und Methodik“.

Nach den geschilderten Kategorien ergibt sich folgende Verteilung:

Kategorie A:

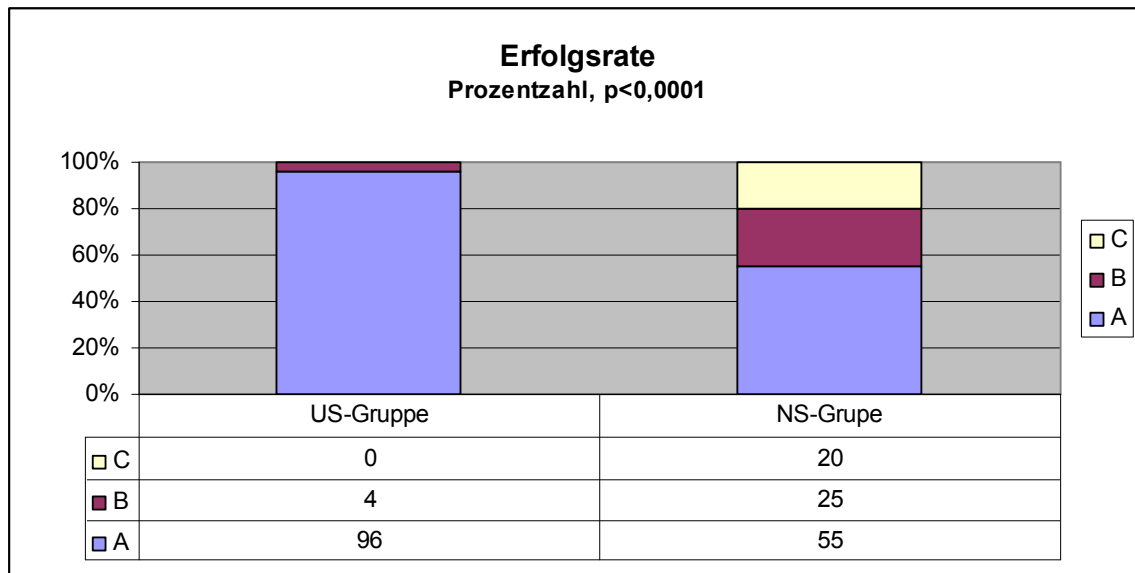
US-Gruppe 47(96%) Patienten vs. NS-Gruppe 27(55%) Patienten,  $p < 0,0001$ ;

Kategorie B:

US-Gruppe 2 (4%) Patienten vs. NS-Gruppe 12 (25%) Patienten,  $p < 0,0001$ ;

Kategorie C:

US-Gruppe kein Patient vs. 10 (20%) in der NS-Gruppe,  $p < 0,0001$ .



**Abb. 3.15** Klinische Erfolgsrate der Blockade.

**Legende:** A= Hautschnitt ist ohne Adjuvantien (Sedativa, Analgetika, Zusatzblockade) möglich;

B= Hautschnitt ist nur mit Adjuvantien möglich;

C= Hautschnitt ist nur in Allgemeinanästhesie möglich.

### 3.9 Postoperative Komplikationen

Am ersten postoperativen Tag klagen 15 (30%) Patienten in der US-Gruppe und 11 (22%) Patienten in der NS-Gruppe über einen leichten Druckschmerz an



der Einstichstelle Der Unterschied zwischen beide Untersuchungsgruppen ist nicht signifikant,  $p=0,08$ .

Eine lokale Reaktion an der Einstichstelle (Hämatom oder Rötung) wird in der US-Gruppe bei 2 (4%) Patienten und in der NS-Gruppe bei 6 (12%) Patienten beobachtet. Dieser Unterschied ist ebenfalls nicht signifikant,  $p=0,14$ .

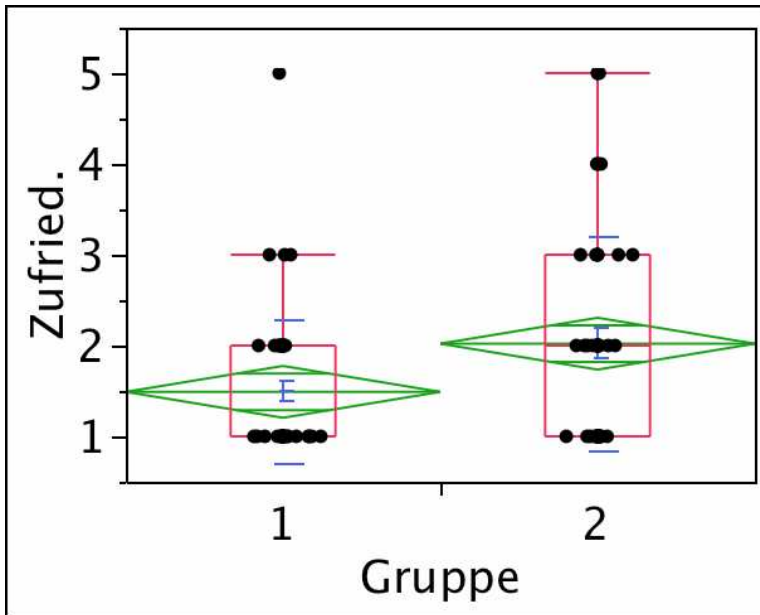
Nervenkomplikationen wie Paresen oder bleibenden Parästhesien, die auf die Plexusanästhesie zurückzuführen sind, werden bei keinem Patienten der beiden Gruppen beobachtet.

Tab. 3.6 Postoperative Komplikationen beider Untersuchungsgruppen.

Komplikationen postoperativ	US-Gruppe (n= 49)	NS-Gruppe (n= 49)	p-Wert
Druckschmerz über der Einstichstelle (n/%)	15 (30%)	11(22%)	0.08
Lokale Reaktion (n/%)	2 (4%)	6 (12%)	0.14
Nervenkomplikation (n/%)	0	0	

### 3.10 Patientenzufriedenheit

Die Zufriedenheit der Patienten mit dem jeweiligen Verfahren ist in der US-Gruppe mit 2 (Numerische Schulnotenskala von 1 bis 6) in der 90% Quantil signifikant höher als in der NS-Gruppe mit 4 in der 90% Quantil,  $p= 0,04$ .



**Abb. 3.16** Zufriedenheit der Patienten.

**Legende:** 1= US-Gruppe, 2= NS-Gruppe. Die waagerechten Mittellinien der Rauten sind die Mittelwerte. Die oberen und unteren Ecken der Rauten markieren die 95% Vertrauensintervalle für die Mittelwerte.

## 4. Diskussion

### 4.1 Problemstellung und Aktualität des Themas

Die axilläre Blockade des Plexus brachialis hat eine lange geschichtliche Entwicklung. Nachdem Hirschel bereits vor nahezu 100 Jahren als erster die transkutane axilläre Technik der Plexus-brachialis-Blockade in der Münchener Medizinischen Zeitschrift beschrieben hatte [56], sind verschiedene andere Techniken wie die perivaskuläre [46,137,136], die transarterielle [31,129,138] und die Multiinjektions-Technik [37,69,70,72] entwickelt worden. Der Grund für die Suche nach Verbesserungen der axillären Punktionstechniken ist in der relativ niedrigen Erfolgsrate und verzögerten Anschlagszeiten dieser Techniken zu sehen [22,49,93]. Dafür zeigt dieses Vorgehen deutlich geringere Komplikationsraten im Vergleich zu anderen Zugangswegen zum Plexus brachialis [49,40,84,96].

Der Erfolg einer Blockade basiert auf der exakten Identifikation der zu anästhesierenden Nerven und deren vollständigen Umspülung mit einer ausreichenden Menge an Lokalanästhetikum (LA) [96,97].

Historisch gesehen erfolgt die Lokalisation der Nerven durch das Auslösen von Parästhesien [2,34,94], später entwickelt Burnham die Widerstandsverlustmethode [20,21]. Meier und Büttner modifizieren diese Technik [22,92,93,102]. Die elektrische Nervenstimulation, die bereits 1912 von Perthes entdeckt wurde [108], erleichtert die anatomische Orientierung und etabliert sich in den letzten Jahrzehnten als Standardmethode zur Lokalisation der Nerven des Plexus brachialis [7,9,25,46,49, 119,112,124]. Trotz dieser Entwicklungen finden sich in der Literatur erheblich unterschiedliche Ergebnisse hinsichtlich des Erfolges der axillären Blockade. [68,96,97].

Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass eine Visualisierung der Punktion des Plexus brachialis durch den Einsatz der Sonographie zu höheren Erfolgsraten [5,14,27,29,36,61,62,66,86,89,110,118,120,121,126,127,135] führt. Allerdings liegen die zentralen Zugänge zum Plexus brachialis (klavikulär, interscalenär)

im Mittelpunkt des Interesses der meisten Autoren, und nur eine begrenzte Anzahl der klinischen Studien befasst sich mit der Anwendung des Ultraschalls bei axillären Blockaden [18,27,29,83,95,110,121,126,127].

Angeregt durch diese Literaturberichte und die eigenen sehr positiven Erfahrungen im Einsatz des Ultraschalls bei der Regionalanästhesie, erscheint uns eine vergleichende Untersuchung zwischen der Standardmethode der axillären Plexusblockade (Identifikation der Zielnerven mittels Neurostimulation) und der ultraschallgestützten Technik durchaus sinnvoll.

## 4.2 Punktionstechnik

Die meisten Autoren, die die Effekte der Sonographie bei axillärer Blockade des Plexus brachialis untersucht haben (siehe Tabelle 4.1.) benutzen eine Multiinjektionstechnik, d.h. eine gezielte Injektion an die einzelnen Nerven des Plexus brachialis. Dies gilt sowohl für die ultraschallgestützten, als auch für die nervenstimulierten Blockaden [18,27,29,83,95,127]. Nur in einer Studie wird auf die separate sonographische Darstellung der einzelnen Nerven verzichtet [126].

**Tabl. 4.1:** Übersicht der Vergleichsstudien, die den Einsatz der Sonographie bei der axillären Plexusanästhesie untersucht haben.

Autor	Jahr	Studie	Zugang	Technik	Studiendesign	n
Soeding et al. [127]*	2005	RCT	IS	SI	Landmarks, SI	40
			AX	SI		
Lui et al. [83]	2005	RCT	AX	US-DI	PNS, DI	90
				US-SI		
Sites et al. [126]	2006	RCT	AX	PV	TA	56
Schwemmer et al. [121]	2006	Retr.	AX	MI	PNS	130
Chan et al. [29]	2007	RCT	AX	US+PNS,MI	PNS,MI	188
				US, MI		
Casati et al. [27]	2007	RCT	AX	MI	PNS, MI	60
Pfeiffer et al. [110]	2008	Retr.	AX	PV	PNS, PV	86
Brüggemann et al. [18]	2009	RCT	AX	DI	PNS, DI	40
Morros C et al. [95]	2009	RCT	AX	US+PNS, MI	PNS, MI	129

**Tabelle 4.1.**

**Legende:** RCT: Randomized-Controlled Trial, Retr.: retrospective Untersuchung, AX: axillärer Zugang, IS: interscalenärer Zugang, US: Ultraschall, PNS: periphere Nervenstimulation, TA: transarterielle Punktion, SI: Single-Injektion-Technik, DI: Double-Injektion-Technik, MI: Multiinjektions-Technik, PV: perivaskuläre Technik.

In der vorliegenden Untersuchung erfolgt die Punktion des Plexus brachialis mittels einer speziellen Technik der ultraschallunterstützten axillären Plexusblockade [110]: diese Blockadetechnik stellt eine Weiterentwicklung der perivaskulären Technik von Meier und Büttner [92] durch die Anwendung der Sonographie dar. Der Einsatz des Ultraschalls beschränkt sich im Wesentlichen auf die Darstellung der A. axillaris als Leitstruktur und auf die Erkennung des Ausbreitungsmusters des applizierten Lokalanästhetikums. Diese Technik ist nicht darauf angewiesen, die Nervenstrukturen im Einzelnen zu visualisieren. Die Annahme, dass die zirkuläre Ausbreitung des Lokalanästhetikums um die A. axillaris ein sicherer Hinweis auf eine komplette sensible Blockade im unteren Drittel des Oberarmes, des Unterarmes und der Hand ist, basiert auf Daten mehrerer anatomischer [34,93] und sonoanatomischer Untersuchungen der axillären Region [49,62,88,106,111,113,120]. So zeigen die Arbeiten von Perlas [106], Retzl [111], Kapral und Marhöfer [62,88], Grau [49] und Schwemmer [120] eine problemlose sonographische Identifikation der A. axillaris und V. axillaris an der Kreuzungsstelle des M. pectoralis major mit dem M. biceps brachii. Es besteht bei der transpektoralen Schallführung eine enge perivaskuläre Anordnung der Hauptnerven um die A. axillaris innerhalb der Nerven-Gefäß-Scheide mit minimaler individueller Variabilität, damit gleichzeitig auch eine anatomische Nähe des „Problemnerven“ N. musculocutaneus zur Nerven-Gefäß-Scheide [111].

Der wesentliche Vorteil der in der Untersuchung angewendeten ultraschallunterstützten Technik nach Pfeiffer [110] ist das schnelle und sichere Erlernen der Technik, da der Anästhesist sich mehr auf die Ausbreitung des Lokalanästhetikums konzentriert und nicht auf die Darstellung der einzelnen Nerven angewiesen ist. Ferner besteht keine Abhängigkeit von hochauflösenden und damit kostspieligen Sonographiegeräten mit hohen Schallfrequenzen. Die Darstellung der A. axillaris ist in der Regel auch mit

älteren Geräten und niedrigen Schallfrequenzen problemlos möglich. Ein wichtiger allgemeiner Vorteil der ultraschallgestützten Technik gegenüber der Nervenstimulations-Technik ist die Möglichkeit, die Regionalanästhesie in Situationen anzuwenden, in denen die Muskelantwort auf die Nervenstimulation entweder sehr schmerzhaft oder unmöglich sein könnte. Patienten mit ausgedehnten Verletzungen des Unterarmes, ausgeprägter Polyneuropathie, fortgeschrittener muskulären Hypotrophie, Kontrakturen sowie kognitiven Defiziten können ohne Einsatz eines Nervenstimulators mit einer sicheren Blockade des Plexus axillaris versorgt werden [6,87].

Ein weiterer Vorteil der von uns angewendeten perivaskulären Technik ergibt sich aus der verwendeten Punktionskanüle. Diese setzt sich aus einem Metallmandrin und einer Kunststoffhülle zusammen. Der stumpfe Schliff des Metallmandrins führt zu einem deutlichen Widerstandsverlust beim Durchdringen der Gefäß-Nerven-Scheide und stellt damit ein zusätzliches taktiles Hilfsmittel bei der Positionierung der Injektionsnadel dar. Diese Punktionskanüle zeichnet sich dadurch aus, dass man sie sowohl für die Technik der Neurostimulation als auch für die der sonographisch geführten Punktion verwenden kann. Durch die liegende Hülle kann darüber hinaus bei Bedarf ein Lokalanästhetikum nachinjiziert und somit die Plexusanästhesie verlängert werden. Eine potentielle Verletzung der Arteria oder Vena axillaris ist ein Nachteil der von uns angewendeten Technik, da die primäre Punktion ohne sonographische Kontrolle erfolgt. Somit kann eine Gefäßpunktion nicht sicher ausgeschlossen werden [22].

## **4.3 Diskussion der Ergebnisse**

### ***4.3.1 Klinische Wirksamkeit der Plexus axillaris Blockade***

Mit der von Pfeiffer et al. [110] publizierten sonographisch kontrollierten Technik kann in der vorliegenden Arbeit bei 96% (n=47) der Patienten eine komplette primäre Blockade (Kategorie A) erzielt werden, wohingegen die Vergleichsgruppe der Patienten, bei denen der Plexus brachialis mittels eines Nervenstimulators aufgesucht wird, nur in 55 % (n=27) eine komplette Blockade

aufweist. Erst nach Supplementierung (Kategorie B) steigt die Erfolgsrate in der Vergleichsgruppe (NS) auf 80 % (n=37). Lediglich 2 Patienten (4%) bedürfen in der Studiengruppe (US) einer Supplementierung. Erhebliche Unterschiede zeigt ebenfalls die Untergruppe der Patienten, bei denen es im Rahmen der Plexusblockade zu keiner ausreichenden Analgesie kommt und eine additive Allgemeinanästhesie erforderlich ist (Kategorie C): In der Studiengruppe (ultraschallgestützt) ist dies bei keinem Patienten erforderlich, in der Vergleichsgruppe jedoch bei 20 % der Patienten (n=10). In allen 3 gewichteten Kategorien kann ein hochsignifikanter Unterschied zugunsten der sonographisch kontrollierten Punktion nachgewiesen werden.

Diese Ergebnisse entsprechen den in der Literatur vorgestellten Daten bei ultraschallgesteuerten axillären Plexusblockaden (Tabl.4.2).

**Tabelle 4.2:** Übersicht über die Ergebnisse von Vergleichsstudien zwischen sonographischer und nervenstimulierter Blockadetechniken hinsichtlich der Erfolgsrate der axillären Blockade.

Autor	Jahr	Studie	Zugang	Technik	Studiendesign	n	Erfolgsrate	p-Wert
Soeding et al. [127]*	2005	RCT	IS	SI	Landmarks, SI	40	95 vs. 90	ns
			AX	SI				
Lui et al. [83]	2005	RCT	AX	US-DI	PNS, DI	90	90 vs. 90	ns
				US-SI			70 vs. 90	ns
Sites et al. [126]	2006	RCT	AX	PV	TA	56	100 vs. 71	<0,001
Schwemmer et al. [121]	2006	Retr.	AX	MI	PNS	130	96 vs. 80	0,014
Chan et al. [29]	2007	RCT	AX	US+PNS,MI	PNS,MI	188	83 vs. 63	0,01
				US, MI			81 vs. 63	0,03
Casati et al. [27]	2007	RCT	AX	MI	PNS, MI	60	94 vs. 97	ns
Pfeiffer et al. [110]	2008	Retr.	AX	PV	PNS, PV	86	97 vs. 72	KA
Brüggemann da C et al. [18]	2009	RCT	AX	DI	PNS, DI	40	85 vs. 75	ns
Morros C et al. [95]	2009	RCT	AX	US+PNS, MI	PNS, MI	129	96 vs. 94	ns

**Tabelle 4.2**

**Legende:** RCT: Randomized-Controlled Trial, Retr: retrospektive Untersuchung, AX: axillärer Zugang, IS: inter-scalenärer Zugang, US: Ultraschall, PNS: peripherere Nervstimulation, TA: transarterielle Punktion, SI: Single-Injektion-Technik, DI: Double-Injektion-Technik, MI: Multiinjektion-Technik, PV: perivaskuläre Technik, ns: nichtsignifikanter Unterschied, KA: keine Angaben, \*-zweifelhaftes Design.

Insgesamt liegen die Erfolgsraten, wie in unserer Untersuchung auch, für die sonographisch unterstützten Blockaden des Plexus brachialis in der Literatur mit 81-100% sehr hoch. Allerdings weisen nur drei Studien einen signifikanten Unterschied zur Kontrollgruppe auf [29,121,126], davon sind nur zwei prospektiv-randomisiert angelegt [29,126]. Die Mehrheit der Autoren konzentriert sich auf die sonographische Darstellung der einzelnen Nerven und benutzt entweder Multiinjektions- [27,29,95,121] oder Double-Injektions-Techniken [18,83]. Den Literaturdaten zufolge liegen die Erfolgsraten für die Multiinjektionstechnik ohne sonographische Kontrolle zwischen 87% und 93% [16,25,37,40,44,69,70,71,124,]. Diese Technik ist allerdings sehr aufwändig, bedarf großer Übung und findet eine geringere Patientenakzeptanz [40]. Ähnlich gute Ergebnisse werden bei der vertikalen infraklavikulären Plexusblockade beobachtet, der Blockadeerfolg liegt bei 88 bis 95% [67,100]. Die Zahlen für einen primären Erfolg der nervenstimulierten perivaskulären Blockaden (Blockaden ohne Supplementierung, vergleichbar mit Kategorie A in der vorliegenden Untersuchung) liegen in der Literatur zwischen 46% und 80% [16,22, 38,46,49,59,72,79,92,121] und in unserer Untersuchung bei 55%. Zumindest jede fünfte perivaskuläre Blockade benötigt zusätzliche Maßnahmen. Dies ist nicht nur unangenehm für die Patienten, sondern ist auch durch die notwendigen zusätzlichen Maßnahmen (Supplementierung bzw. Allgemeinanästhesie) mit einem erhöhten Bedarf an materiellen und zeitlichen Ressourcen verbunden [121].

Zusammenfassend ist festzustellen, dass aufgrund der eigenen Ergebnisse und der Daten aus der Literatur eine sonographisch gestützte perivaskuläre Blockade zu einer signifikant besseren Blockadequalität führt als die konventionelle nervenstimulierte perivaskuläre Technik der axillären Blockade. Die Erfolgsquoten sind mit klavikulanahen Techniken und aufwändigen axillären Techniken vergleichbar.



### 4.3.2 Zeitbedarf zur Anlage der Blockade

Der Zeitbedarf der sonographisch gestützten Plexusblockade ist immer wieder Gegenstand von Diskussionen [10]. In der vorliegenden Untersuchung der sonographisch gestützten axillären Blockade werden für die Anlage der Blockade in der Untersuchungsgruppe (US) im Median 6 Min. (2-15 Min.) und in der Kontrollgruppe (NS) im Median 4 Min. (2-28 Min.) benötigt. Der Unterschied zwischen beiden Gruppen ist nicht statistisch signifikant ( $p=0.13$ ). Die Daten aus anderen Studien sind mit diesen Ergebnissen vergleichbar (siehe Tabelle 4.3)

**Tabelle 4.3:** Übersicht über die Ergebnisse von Vergleichsstudien zwischen sonographischer und nervenstimulierten Blockadetechniken hinsichtlich des Zeitbedarfs für die Anlage der axillären Blockade.

Autor	Jahr	Studie	Zugang	Technik	Studiendesign	n	Zeitbedarf (Min.)	p-Wert
Soeding et al. [127] *	2005	RCT	IS	SI	Landmarks, SI	40	5,3 vs 6,4-10	0,011
			AX	SI			6,3 vs. 7,3-20	0,011
Lui et al. [83]	2005	RCT	AX	US-DI	PNS, DI	90	6,7 vs. 8,2	<0,01
				US-SI			6,5 vs. 8,2	<0,01
Sites et al. [54-126]	2006	RCT	AX	PV	TA	56	7,9 vs. 11,1	<0,05
Schwemmer et al. [121]*	2006	Retr.	AX	MI	PNS	130	5 vs. 10	<0,01
Chan et al. [29]	2007	RCT	AX	US+PNS,MI	PNS,MI	188	12,4vs. 11,3	ns
				US, MI			9,3 vs. 11,3	<0,05
Casati et al. [27]	2007	RCT	AX	MI	PNS, MI	60	14 vs. 18	0.01
Brüggemann da C et al. [18]	2009	RCT	AX	DI	PNS, DI	40	5,9 vs. 6,35	ns
Morros C et al. [95]	2009	RCT	AX	US+PNS, MI	PNS, MI	129	5,8 vs. 4,85	<0,05

**Tabelle 4.3**

**Legende:** RCT: Randomized-Controlled Trial, Retr: retrospektive Untersuchung, AX: axillärer Zugang, IS: inter-scalenärer Zugang, US: Ultraschall, PNS: peripherere Nervstimulation, TA: transarterielle Punktion, SI: Single-Injektion-Technik, DI: Double-Injektion-Technik, MI: Multiinjektion-Technik, PV: perivaskuläre Technik, ns: nichtsignifikanter Unterschied, KA: keine Angaben, \*-zweifelhaftes Design.

Zwei Arbeitsgruppen können in ihren Untersuchungen keinen Unterschied bezüglich der Dauer der Blockadeanlage feststellen [18,29]. Einige Autoren berichten über eine signifikante Reduktion des Zeitbedarfs bei der Anwendung des Ultraschalls gegenüber den nervenstimulierten Blockaden [27,29, 83,121,126,127], Morros et al. [95] zeigen dahingegen einen signifikanten Zeitgewinn der nervenstimulierten Methode. Allerdings wird eine Kombinationstechnik von Ultraschall und Nervstimulation eingesetzt. Insgesamt liegt in der Literatur die Interventionsdauer bei sonographisch gestützten Blockaden in der Größenordnung von 5-14 Min. Die große Varianz der Ergebnisse ist mit sehr uneinheitlichem Studiendesign, unterschiedlichen Techniken und nicht einheitlicher Definition dieses Zeitintervalls zu erklären.

Die Literaturdaten zum Zeitbedarf für die nervenstimulierte axilläre Single-Shot-Blockade liegen mit einer Interventionsdauer von 3,82 – 6,0 Min. im Bereich unserer Ergebnisse für die nervenstimulierte Blockade [16,45,72]. Die nervenstimulierte Multiinjektionstechnik erfordert dagegen erwartungsgemäß einen höheren Zeitbedarf von 6,35 min. bis 11,2 Min [16,18,29,45] , die von der Interventionsdauer der US-Gruppe in der vorliegenden Untersuchung (6 Min) unterschritten wird.

Durch Anwendung des Ultraschall zur Anlage der axillären Blockade des Plexus brachialis entsteht keine wesentliche Verzögerung im Vergleich zur nervenstimulierten perivaskulären axillären Blockade. Dies gilt umso mehr, als aufgrund der deutlich verbesserten Ergebnisse wesentlich weniger Supplementierungsbedarf besteht und damit die Prozesszeiten nachhaltig optimiert werden.

### **4.3.3 Anschlagszeit**

Die ultraschallgestützte perivaskuläre Technik trägt zu einer signifikanten Verkürzung der Anschlagszeit bei. Die Anschlagszeit beträgt in der Studiengruppe (US)  $13.1 \pm 6.0$  Minuten, wohingegen in der Vergleichsgruppe (Nervenstimulation) eine Anschlagszeit von  $16.0 \pm 7.6$  Minuten gemessen wird.

Der Unterschied zwischen beiden Gruppen bezüglich dieses Untersuchungsparameters ist statistisch signifikant ( $p=0,036$ ). Bei der Austestung der Blockade über die einzelnen Nerven zeigt sich, dass die komplette Blockade, sowohl sensibel als auch motorisch, in der Gruppe der sonographisch gestützten Technik über jedem der vier Hauptnerven signifikant schneller als in der Kontrollgruppe (NS) auftritt.

Nur wenige Arbeiten untersuchen die Auswirkung der Sonographie bei der axillären Blockade des Plexus brachialis auf die Anschlagszeit (Tabelle. 4.4).

**Tabelle 4.4:** Übersicht der Vergleichsstudien bezüglich der Anschlagszeit der axillären Blockade

Autor	Jahr	Studie	Zugang	Technik	Studiendesign	n	Zeitbedarf (Min.)	p-Wert
Soeding et al. [127]*	2005	RCT	IS	SI	Landmarks, SI	40	KA	0,011
			AX	SI			KA	0,011
Sites et al. [126]	2006	RCT	AX	PV	TA	56	7,9 vs. 11,1	<0,05
Schwemmer et al. [121]*	2006	Retr.	AX	MI	PNS	130	5 vs. 20	<0,01
Casati et al. [27]	2007	RCT	AX	MI	PNS, MI	60	14 vs. 18	0.01

**Tabelle 4.4**

**Legende:** RCT: Randomized-Controlled Trial, Retr: retrospektive Untersuchung, AX: axillärer Zugang, IS: inter-scalenärer Zugang, US: Ultraschall, PNS: peripherere Nervstimulation, TA: transarterielle Punktion, SI: Single-Injektion-Technik, DI: Double-Injektion-Technik, MI: Multiinjektion-Technik, PV: perivaskuläre Technik, NS: nichtsignifikanter Unterschied, KA: keine Angaben, \*-zweifelhaftes Design.

Der Grund für unterschiedliche Anschlagszeiten liegt am ehesten an der Septierung innerhalb der Nerven-Gefäß-Scheide, die einer Ausbreitung des Lokalanästhetikums im Weg steht. Durch Sonographie kann die korrekte zirkuläre Ausbreitung um die zu blockierenden Nerven sichtbar gemacht werden, der Blockadeerfolg ist somit nicht von Penetrationseigenschaften des Gewebes angewiesen. Alle vorliegenden Untersuchungen zu diesem Aspekt zeigen eine deutliche Beschleunigung des Wirkeintritts als Folge der exakten Platzierung des Lokalanästhetikums am Zielnerv unter Ultraschallsicht (siehe Tabelle 4.4.). Auch die Ergebnisse aus den Studien, die infraklavikuläre

sonographisch gestützte Blockaden untersuchen, zeigen eine deutliche Reduktion der Anschlagszeit bei der Anwendung des Ultraschalls im Vergleich zu der nervenstimulierten Technik [36,89].

Die sonographisch gestützte Technik hat folglich relevante Vorteile hinsichtlich der Anschlagszeit der axillären Blockade. Die Anwendung des Ultraschalls als Hilfsmittel zur Identifikation der Nerven, bzw. Visualisierung der Ausbreitung des Lokalanästhetikums ist folglich ein wesentlicher Faktor, der das gesamte Prozessmanagement im Operationssaal positiv beeinflussen kann [121].

#### **4.3.4 Komplikationen.**

In der vorliegenden Untersuchung werden keine schweren spezifischen und allgemeinen Komplikationen beobachtet. Gelegentlich kommt es während der Anlage der Blockade zu Parästhesien, jedoch ohne signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen:

- bei Platzierung der Kanüle in 12% in der US-Gruppe und 6% in der NS-Gruppe,  $p=0,5$ ;
- bei Injektion der Lokalanästhetikum bei 2% in der US-Gruppe und bei 4% in der NS-Gruppe,  $p= 1,0$ ;
- ausgelöst durch Nervenstimulation bei 2% in der US-Gruppe (bei Positionswechsel der Nadelspitze) und bei 4% in der NS-Gruppe,  $p=1,0$ .

Die Häufigkeit von akzidentellen Gefäßpunktionen wird in dieser Arbeit in der US-Gruppe nicht signifikant häufiger beobachtet als in der NS-Gruppe (6% vs. 2%,  $p= 0,6$ ). Postoperativ klagen Patienten am ersten postoperativen Tag vergleichbar häufig über einen leichten Druckschmerz an der Einstichstelle (30% ( $n=15$ ) in der US-Gruppe vs. 22% ( $n=11$ ),  $p=0,08$ ) in der NS-Gruppe. Eine lokal Reaktion der Einstichstelle im Sinne eines Hämatoms oder einer Rötung wird in beiden Untersuchungsgruppen beobachtet (4% ( $n=2$ ) in der US-Gruppe vs. 12% ( $n=6$ ) in der NS-Gruppe,  $p=0,14$ ).

Eine Schädigung des Nervens, dargestellt anhand von Paresen oder anhaltender Paraesthesien, die auf die Plexusanästhesie zurückzuführen ist, wird bei keinem Patienten beider Gruppen beobachtet.

Andere Vergleichstudien, die die Wirksamkeit der axillären Plexus-brachialis-Blockade untersuchen, geben kaum detailliert Auskunft über derartige Komplikationen. Die Ergebnisse unterliegen einer großen Streuung und werden nur in drei Arbeiten statistisch ausgewertet [18,95,127]. Die Häufigkeit einer Gefäßpunktion liegt diesen Angaben zufolge zwischen 0% und 40%, die Parästhesien treten in 0% bis 45% der Fälle auf und eine lokale Reaktion an der Einstichstelle wird bei zwischen 0% und 29% der Patienten beobachtet.

**Tabelle 4.5:** Übersicht über die Ergebnisse von Vergleichsstudien zwischen sonographischer und nervenstimulierten Blockadetechniken hinsichtlich der Komplikationen.

Autor	Jahr	Studie	Zu- gang	Technik	Studien- design	Gefäß- punktion	Parästhesie	Lokale Reaktion
Soeding et al. [127]*	2005	RCT	IS	SI	Land- marks, SI	0% vs. 0%	45% vs. 65%*	KA
			AX	SI				
Lui et al. [83]	2005	RCT	AX	US-DI	PNS, DI	0% vs. 10%~	0% vs. 10%~	0% vs 3%~
				US-SI		0% vs. 10%~	0% vs. 10%~	0% vs 3%~
Sites et al. [126]	2006	RCT	AX	PV	TA	KA	KA	KA
Chan et al. [29]	2007	RCT	AX	US+PNS, MI	PNS,MI	0%vs. 0%	15% vs. 21% ~	19% vs. 29% ~
				US, MI		0% vs. 0%	20% vs. 21% ~	8% vs. 29% ~
Casati et al. [27]	2007	RCT	AX	MI	PNS, MI	KA	KA	KA
Brüggemann da C et al. [18]	2009	RCT	AX	DI	PNS, DI	10% vs. 40%*	5% vs. 5%	KA
Morros C et al. [95]	2009	RCT	AX	US+PNS, MI	PNS, MI	KA	8% vs 28% *	KA

**Tabelle 4.5**

**Legende:** RCT: Randomized-Controlled Trial, Retr: retrospektive Untersuchung, AX: axillärer Zugang, IS: inter-scalenärer Zugang, US: Ultraschall, PNS: peripherere Nervstimulation, TA: transarterielle Punktion, SI: Single-Injektion-Technik, DI: Double-Injektion-Technik, MI: Multiinjektion-Technik, PV: perivaskuläre Technik, ns: nichtsignifikanter Unterschied, KA: keine Angaben, \*-zweifelhaftes Design, ~-keine statistische Analyse.

Große prospektive und retrospektive Studien, die die supra- und infrakavikuläre sonographisch gestützte Blockade untersuchen, belegen eine Inzidenz von unbeabsichtigten Gefäßpunktion zwischen 0% und 4% [13,66,86,114,116,117,118]. In unserer Untersuchung liegen wir mit der Zahl von 6% in der Gruppe der sonographisch kontrollierten Blockade über diesem dargestellten Wert. Eine Erklärungsmöglichkeit hierfür ist die Punktionstechnik, da die primäre Punktion ohne sonographische Navigation erfolgt. Deswegen ist häufig eine Korrektur der Punktionskanüle in der Untersuchungsgruppe erforderlich (2 in oberem Quartil in der US-Gruppe vs. 1 in oberem Quartil in der NS-Gruppe,  $p=0,02$ ).

Bleibende Nervenschäden sind in der gesamten Regionalanästhesie selten, sie treten in weniger als 0.02 % - 0.4 % der Fälle auf. Darüber sind sie wesentlich von der Definition der Verletzung und deren Dauer abhängig [1,7,8, 12,15,19,76,133]. Die Inzidenz von passagerer neurologischer Dysfunktion liegt bei 0,019% -1,7% [7,8,15,25,24,30,33,40,53,54,58,80,81,82, 105,129,133].

Untersuchungen sowohl bei Menschen als auch an Tieren zeigen, dass die Nervenstimulation keinen sicheren Schutz vor intraneuraler Injektion bietet. Nicht immer ist es möglich, eine motorische Antwort durch Nervenstimulation trotz unmittelbarer Nähe der Nadelspitze zum Nerv oder sogar bei interneuraler Kanülenlage zu erreichen [28,106,107,132].

Das Risiko eines ernsten anästhesiologischen Zwischenfalls, wie z.B. eines Myokardinfarktes, anaphylaktischen Schocks oder Apoplex, im Rahmen eines peripheren Nervenblocks liegt bei 0.04 % [7]. In unserem Untersuchungskollektiv wird kein derartiges Ereignis beobachtet, aufgrund des Patientenkollektivs von insgesamt 98 Patienten kann daher hierzu keine statistisch relevante Aussage gemacht werden. Ob die Gefahr neurologischer Komplikationen mithilfe des Ultraschalls reduziert werden kann, ist ebenfalls nicht abschließend zu beantworten. Theoretisch besteht allerdings ein entscheidender Vorteil des sonographischen Verfahrens: Ziel ist es nicht, die Nadelspitze, sondern das Lokalanästhetikum zum Nerven zu bringen. Ein enger

Nadel-Nerv-Kontakt ist im Gegensatz zur Neurostimulationsmethode nicht erforderlich und nicht erwünscht.

#### **4.3.5 Zufriedenheit der Patienten**

In unserer Untersuchung ist die gemessene Zufriedenheit der Patienten mit dem Verfahren in der Sonographie-Gruppe signifikant höher als in der NS-Gruppe. Allerdings wird sie nur als Nebenkriterium untersucht und umfasst den gesamten Ablauf vom Zeitpunkt der Aufklärung, über das Narkoseverfahren bis hin zum perioperativen Wohlbefinden der Patienten.

Patientenzufriedenheit ist eine komplexe multifaktorielle Größe. Es ist wichtig zu wissen, welche Bedeutung Patienten einzelnen Aspekten von Zufriedenheit, z. B. Aufklärung, Analgesie, persönliche Betreuung etc., beimessen. Krieter et al. können zeigen, dass von stationären Patienten neben der ausführlichen Information über das Anästhesieverfahren und die damit verbundenen Risiken und Komplikationen gerade die sichere Schmerzausschaltung während und nach dem Eingriff als besonders wichtiges Kriterium für die Zufriedenheit angesehen wird [75].

Die Patientenzufriedenheit ist nicht nur für das subjektive Wohlbefinden der beteiligten Personen wichtig, sondern ist auch eine wirtschaftliche Größe. Gerade bei elektiven Eingriffen, bei denen die Patienten den „Dienstleister“ unter einer, je nach Standort, größeren Anzahl von Kliniken auswählen kann, ist die Zufriedenheit derer, die sich diesem Eingriff bereits unterzogen haben, von Bedeutung [3].

Für die Patientenzufriedenheit unter sonographischer Navigation des Plexus brachialis sind reduzierte Parästhesien, das Entfallen unangenehmer nervenstimulations-bedingter Muskelzuckungen, bessere Narkoseergebnisse und vor allem der deutlich seltenere Bedarf an Supplementierung der Blockade relevant.

Die sonographisch gestützte Blockade leistet zusammenfassend einen Beitrag zur Patientenzufriedenheit, weitere Untersuchungen zur speziellen Wertung des Verfahrens im Rahmen des gesamten perioperativen Geschehens hinsichtlich der Zufriedenheit sind jedoch noch erforderlich.

#### **4.4 Schlussfolgerung**

Die Kombination der perivaskulären axillären Plexusanästhesie mit transpektoraler sonographischer Kontrolle der Lokalanästhetikaausbreitung ist ein einfaches Verfahren. Der Verzicht auf die explizite Darstellung der Nerven ermöglicht die Anwendung des Verfahrens mit nahezu jedem Sonographiegerät. Die Technik ist damit ein guter Einstieg in die ultraschallgesteuerte Regionalanästhesie. Die Ergebnisse unserer Untersuchung zeigen deutlich bessere Erfolgsraten der sonographisch gestützten axillären Blockade des Plexus brachialis im Vergleich zu den nervenstimulierten Techniken. Ähnlich hohe Erfolgsraten können bislang nur von aufwändigen Multiinjektionstechniken oder klavikulanahen Verfahren erzielt werden. Darüber hinaus können mit dieser Technik die Anschlagszeiten bis zum kompletten Blockadeerfolg deutlich reduziert werden. Hinsichtlich der Komplikationsrate des Verfahrens im Vergleich zur Nervenstimulations-Technik kann keine endgültige Aussage getroffen werden. Es gibt jedoch Hinweise, dass der Einsatz der Sonographie speziell im Hinblick auf die Bewertung der Patientenzufriedenheit positive Auswirkungen hat. Dies muss jedoch in weiteren Untersuchungen genauer herausgearbeitet werden.



## 5. Zusammenfassung

Eine sonographisch gesteuerte Lokalanästhetika-Applikation bei peripheren Regionalanästhesieverfahren kann zu höheren Erfolgsraten und schnelleren Anschlagszeiten führen [1,29,62,63,66,84,96,110,120,121,126,134]. Angeregt durch diese Hinweise, sowohl aus der Literatur, als auch aus eigenen Verlaufsbeobachtungen, untersuchen wir in dieser Arbeit die axilläre perivaskuläre sonographisch navigierte Technik gegen eine nervenstimulierte axilläre perivaskuläre Blockade des Plexus brachialis. Es werden 98 Patienten, die sich einem operativen Eingriff unterhalb des distalen Drittels des Oberarmes unterziehen, in die Studie eingeschlossen. Bei der Untersuchungsgruppe (US-Gruppe, n=49) wird eine ultraschallgestützte Blockade durchgeführt, der Ultraschall dient hierbei der Kontrolle der Position der Punktionsnadel und der Ausbreitung des Lokalanästhetikum. Einzelne Nerven werden nicht zwingend dargestellt. In der Kontrollgruppe (NS-Gruppe, n=49) erfolgt die Identifikation des Plexus brachialis konventionell mittels Neurostimulation.

Die Studie wird prospektiv randomisiert angelegt. Als Zielkriterien werden der klinische Blockadeerfolg, die Verfahrenszeiten, die Anschlagszeiten und die Progression der Blockade getrennt nach den einzelnen beteiligten Nerven erfasst. Weiterhin werden alle Komplikationen und die Zufriedenheit der Patienten untersucht.

Die statistische Auswertung erfolgt mit dem Chi-Quadrat-Test nach Pearson, Fishers exakter Test, der einfache Varianzanalyse, dem t-Test, der multivariablen ordinalen logistischen Regression, dem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test und Kruskal-Wallis-Test, darüber hinaus wird ein mathematisches Modell zu Auswertung der Blockadepression von Prof. K. Dietz ausgearbeitet.

Es wird ein hochsignifikanter Unterschied der Erfolgsrate zugunsten der US-Gruppe beobachtet. 96% der Blockaden in der Ultraschallgruppe sind primär erfolgreich, dagegen nur 55% in der Nervstimulationsgruppe ( $p < 0,0001$ ). Nach einer Supplementierung steigt die Erfolgsquote in der Ultraschallgruppe auf 100% vs. 80% in der Nervenstimulationsgruppe ( $p < 0,0001$ ). Die Anschlagszeit der Blockade ist in der US-Gruppe signifikant kürzer als in der NS-Gruppe (13.1

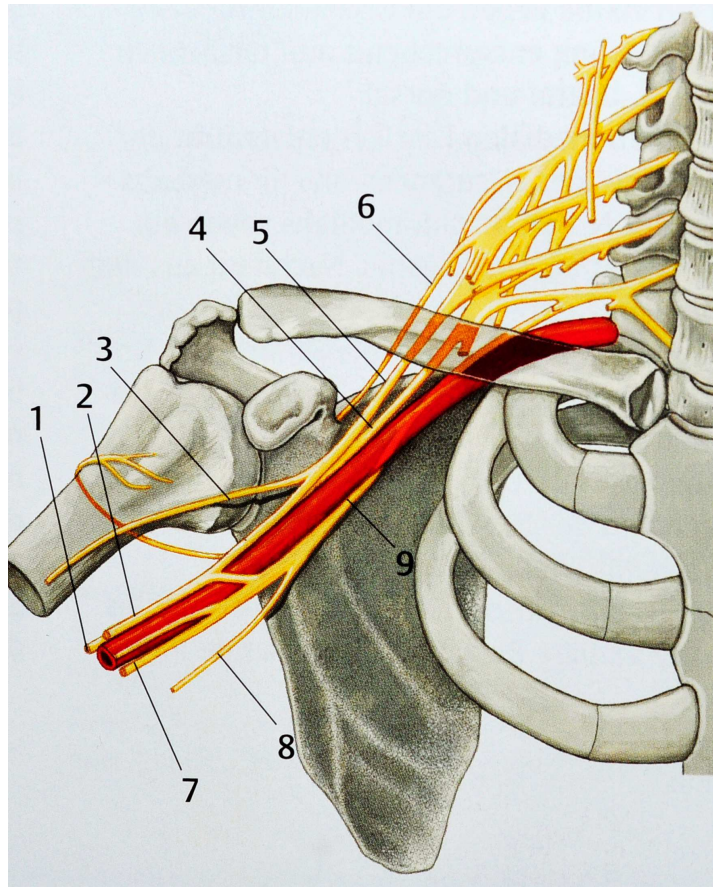
$\pm 6.0$  Min. vs.  $16.0 \pm 7.6$  Min.,  $p=0,036$ ). Bezüglich der Anlagezeit der Blockade ergibt sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen (US-Gruppe 6 Min. vs. NS-Gruppe 4 Min.). In beiden Gruppen kommt es zu keiner neuronalen Schädigung. Es wird ein geringer Prozentsatz an Parästhesien während der Anlage der Blockade sowie akzidentelle Gefäßpunktionen in beiden Gruppen beobachtet, diese weisen jedoch keinen signifikanten Unterschied auf. Die Zufriedenheit der Patienten ist in der Ultraschallgruppe signifikant höher als in der Vergleichsgruppe.

Die vorliegende Studie belegt, dass die ultraschallgestützte Darstellung der Position der Punktionsnadel und vor allem der Lokalanästhetikaausbreitung gegenüber der konventionellen Nervenstimulationstechnik bei der perivaskuläre axilläre Blockade des Plexus brachialis deutliche Vorteile hinsichtlich der Blockadequalität und der prozessualen Abläufe bietet.

## 6. Abbildungen und Tabellen

### 6.1. Abbildungen

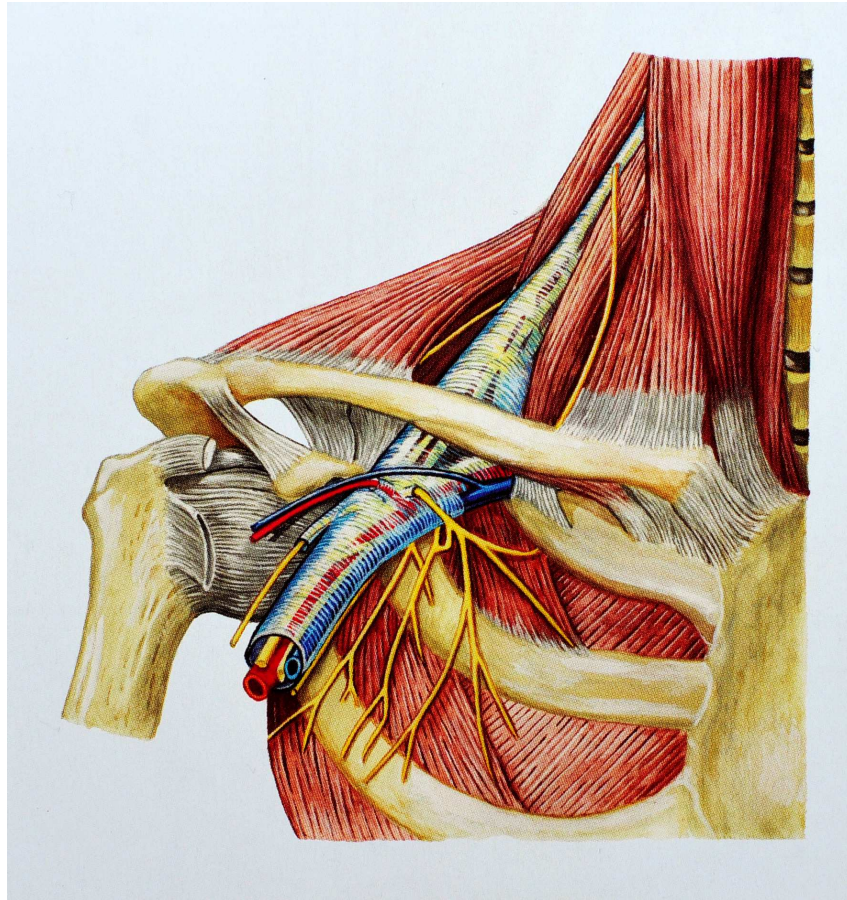
Die Abbildungen 1.1-1.4 und Abbildung 2.1. werden mit der freundlichen Genehmigung von Dr. med. Johannes Büttner, der Herausgeber vom Atlas der peripheren Regionalanästhesie, im vorliegenden Schrift verwendet.



**Abb. 1.1**

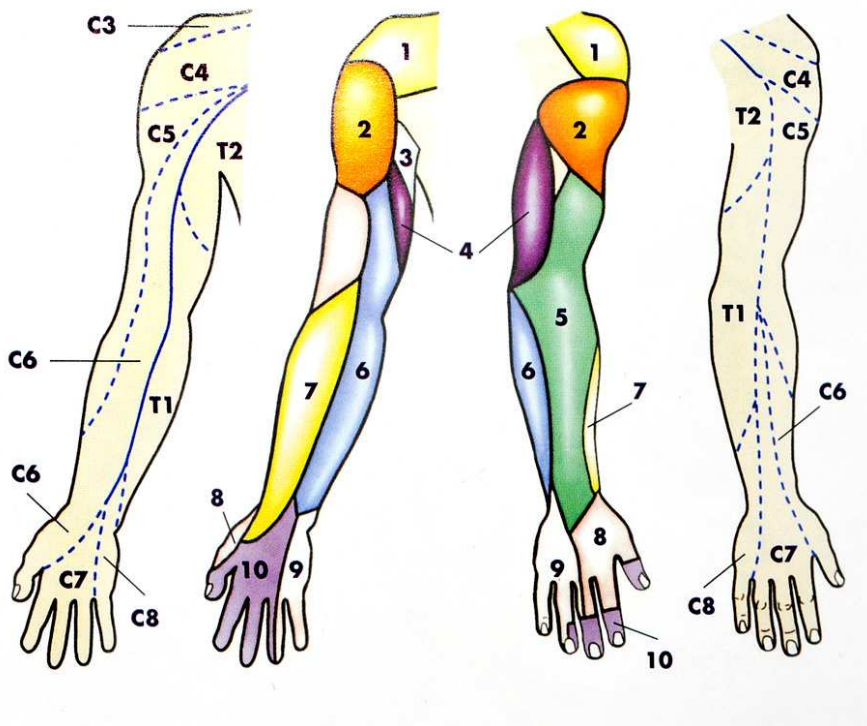
Anatomie des Plexus brachialis (aus Meier G., Büttner J., Atlas der peripheren Regionalanästhesie, 2. Auflage, Thieme, 2006 [92]).

- 1 *N. radialis*
- 2 *N. medianus*
- 3 *N. musculocutaneus*
- 4 *Fasciculus posterior*
- 5 *Fasciculus lateralis*
- 6 *N. suprascapularis*
- 7 *N. ulnaris*
- 8 *N. cutaneus antebrachii medialis*
- 9 *Fasciculus medialis*



**Abb.1.2**

Bindegewebige Gefäß-Nerven-Scheide des Plexus brachialis. (aus: Meier G., Büttner J., Atlas der peripheren Regionalanästhesie, 2. Auflage, Thieme, 2006 [92]).



**Abb. 1.3**

Sensible Versorgung der oberen Extremität (aus: Meier G., Büttner J. Kompendium der peripheren Blockaden. München: Arcis; 2008 [91]).

- 1 *N. suprascapularis*
- 2 *N. axillaris (N. cutaneus antibrachii lateralis)*
- 3 *N. intercostobrachialis*
- 4 *N. N. cutaneus brachii medialis*
- 5 *N. cutaneus antebrachii dorsalis (N. radialis)*
- 6 *N. cutaneus antebrachii medialis*
- 7 *N. cutaneus antebrachii lateralis (N. musculocutaneus)*
- 8. *N. radialis*
- 9 *N. ulnaris*
- 10 *N. medianus*

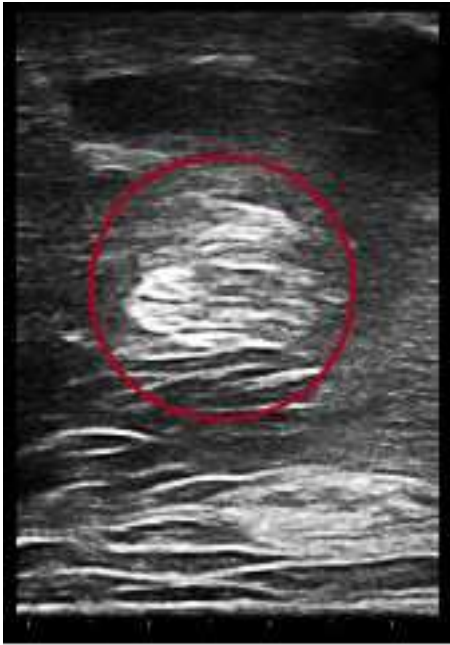


#### Abb 1.4

Motorische Reizantwort der einzelnen Nerven der oberen Extremität (aus Meier G., Büttner J. Kompendium der peripheren Blockaden. München: Arcis; 2008 [91]).

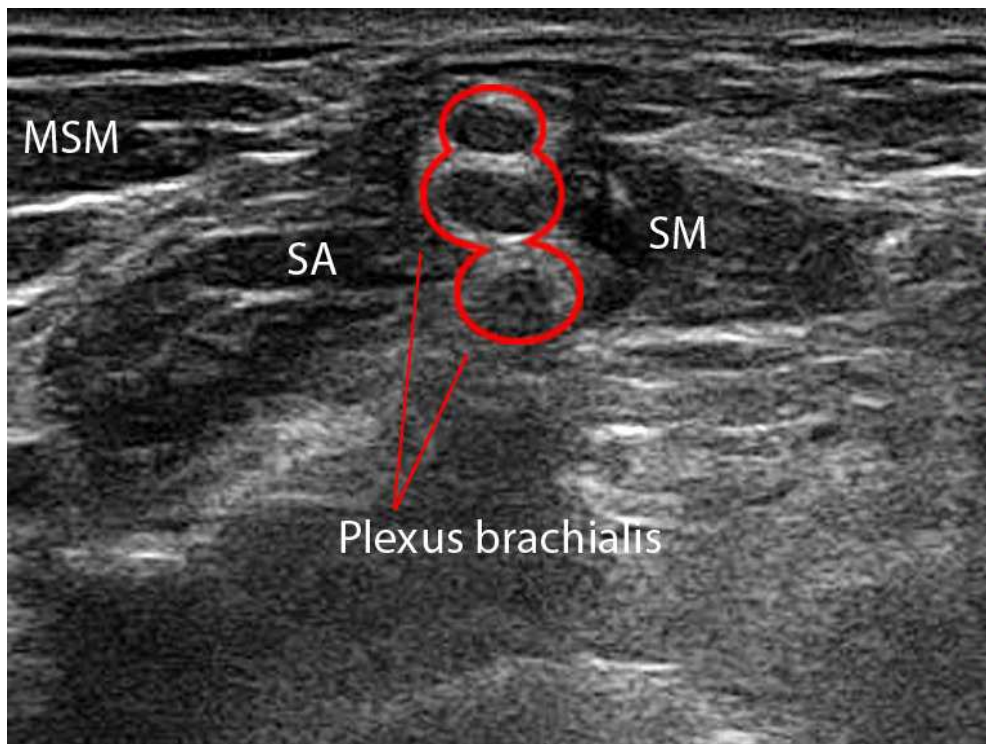
#### Kommentar zur Abb. 1.4:

- N. musculocutaneus:* Beugung im Ellenbogenbereich (*M. biceps brachii*).
- N. medianus:* Palmarflexion im Handgelenk, Pronation des Vorderarmes, Beugung in den Mittelphalangen der Finger, Beugung in den Endgliedern D II und D III, Beugung des Daumens.
- N. ulnaris:* Ulnarflexion des Handgelenks, Flexion der Grundglieder III-V, Adduktion des Daumens.
- N. radialis:* Strecken im Ellenbogengelenk (*M. triceps*), Strecken (und Radialabduktion) im Handgelenk, Supination des Vorderarmes und der Hand, Extension der Finger.



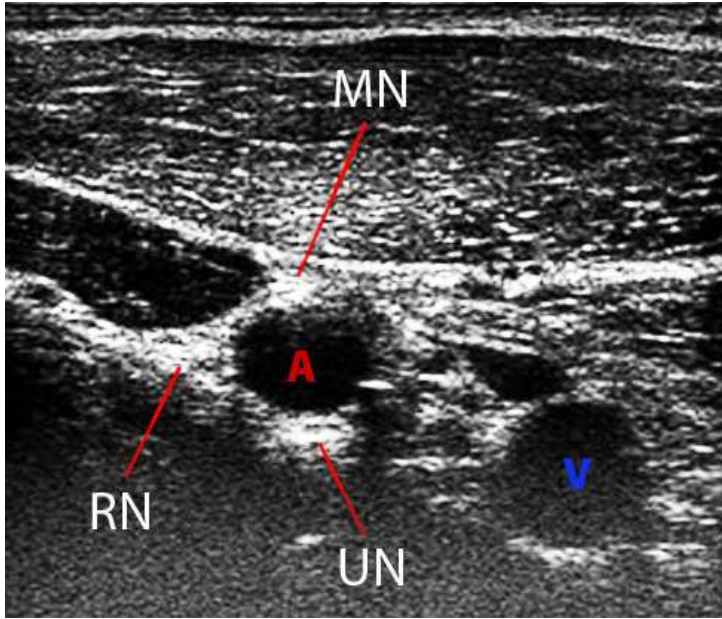
**Abb. 1.5**

Sonographische Darstellung des distalen N. ischiadicus, weiblicher Patient 51 Jahre. Schallrichtung von unten. Polyfaszikuläre Struktur des Nerven.



**1.6** Darstellung des Plexus brachialis in der Scalenuslücke, weiblicher Patient, 52 Jahre. Die neuralen Strukturen imponieren echoarm.

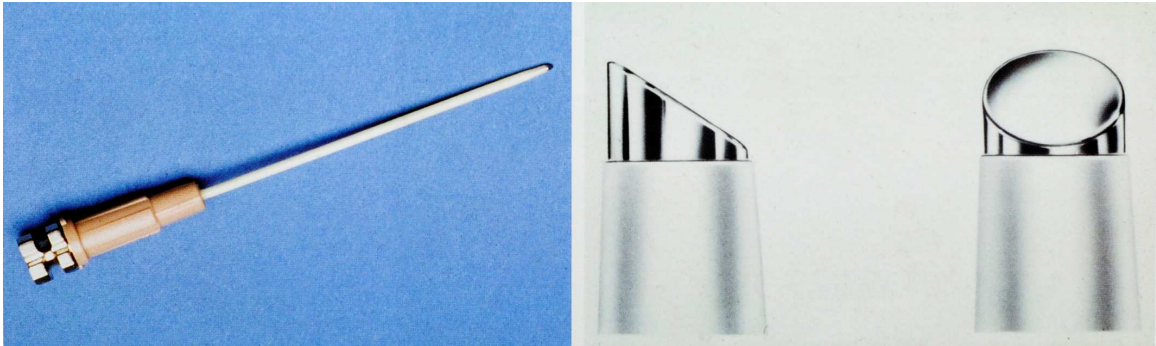
**Legende:** MSM - M. sternocleidomastoideus, SA - M. scalenus anterior, SM - M. scalenus medius.



**Abb. 1.7** Darstellung des Plexus brachialis in der axillären Region, männlicher Patient, 31 Jahre, transpectorale Schnittführung. Die Nerven sind als echoreiche Strukturen zu erkennen.

**Legende:** MN – N. medianus, UN- N. ulnaris, RN-N. radialis.





**Abb. 2.1**  
Kanüle mit dem 45° Schliff [92].

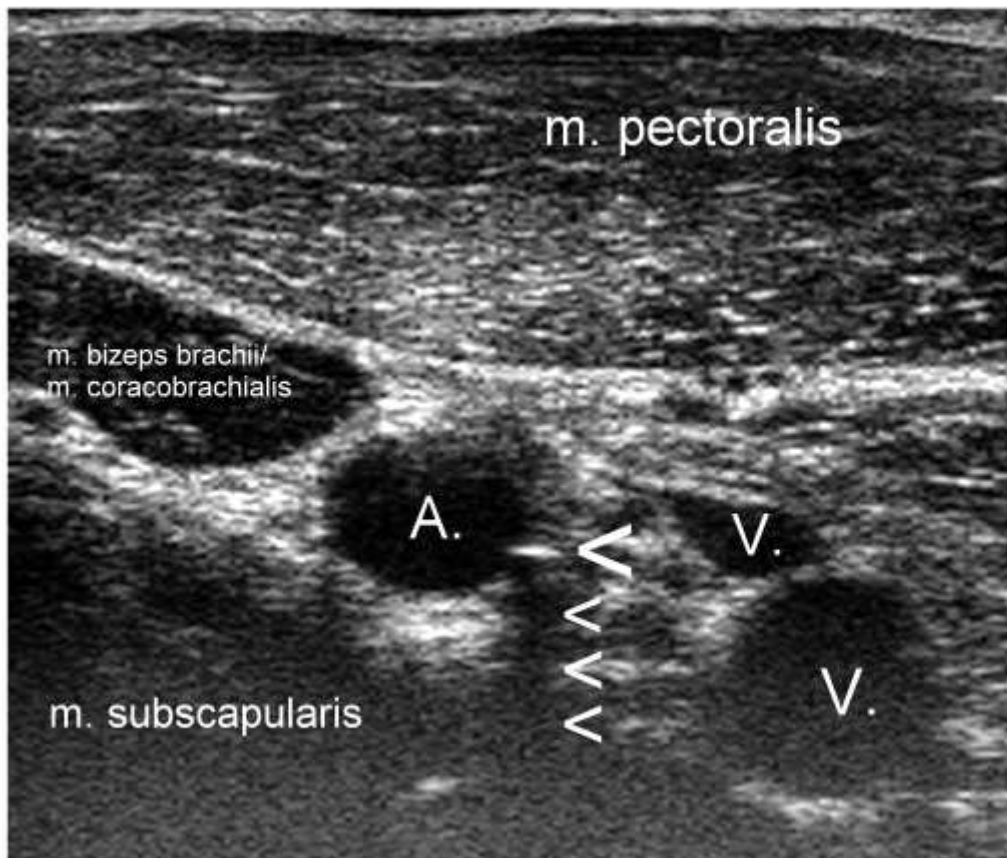


**Abb. 2.2**  
Nervenstimulator Stimuplex HNS-11, Hersteller: B. Braun Melsungen AG..



**Abb. 2.3**

Rechte Axilla. Schallkopfhaltung bei liegender Plexusnadel, männlicher Patient, 31 Jahre.



**Abb. 2.4**

Sonographisches Schnittbild transpektoral mit Punktionsnadel, männlicher Patient, 31 Jahre.

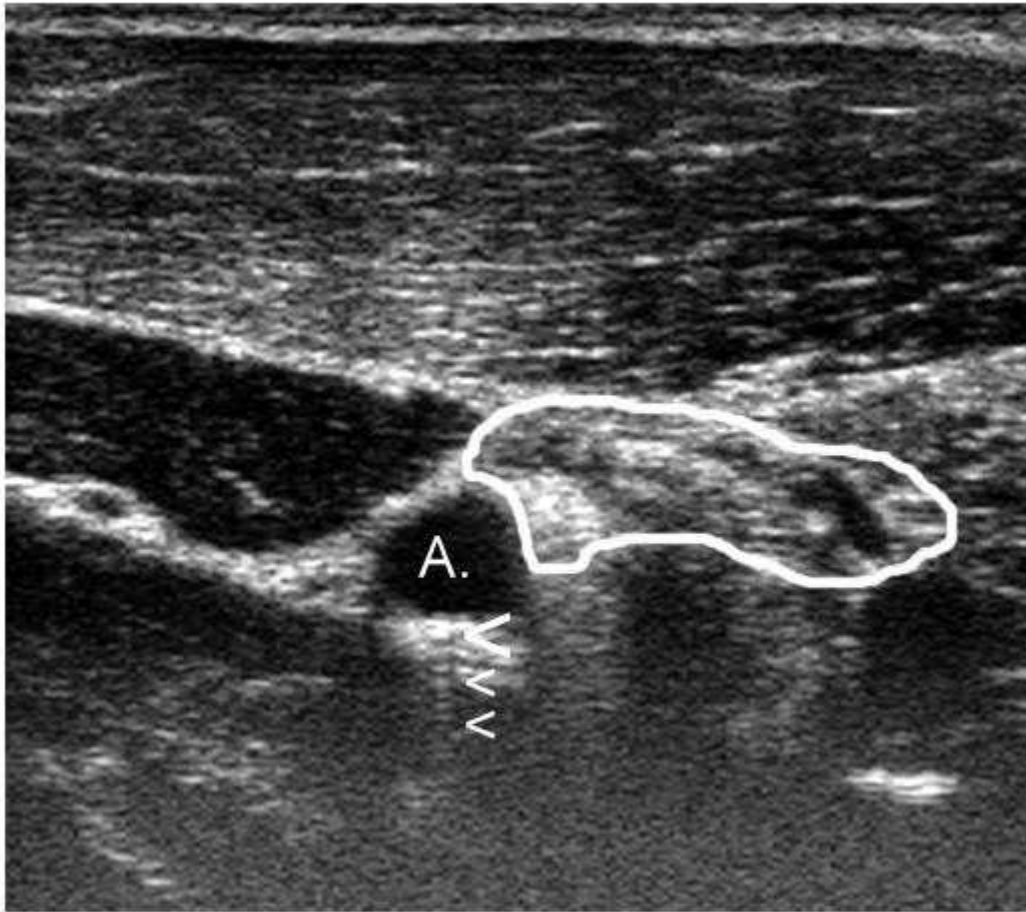
**Legende:**

A-A.axillaris,

V-V.axillaris,

großer Pfeil – Schallreflex der Plexusnadelschäfte,

kleine Pfeile - Schallschatten.



**Abb. 2.5**

Sonographisches Schnittbild transpektoral nach der ersten LA-Applikation und einer Nadellagekorrektur, männlicher Patient, 31 Jahre.

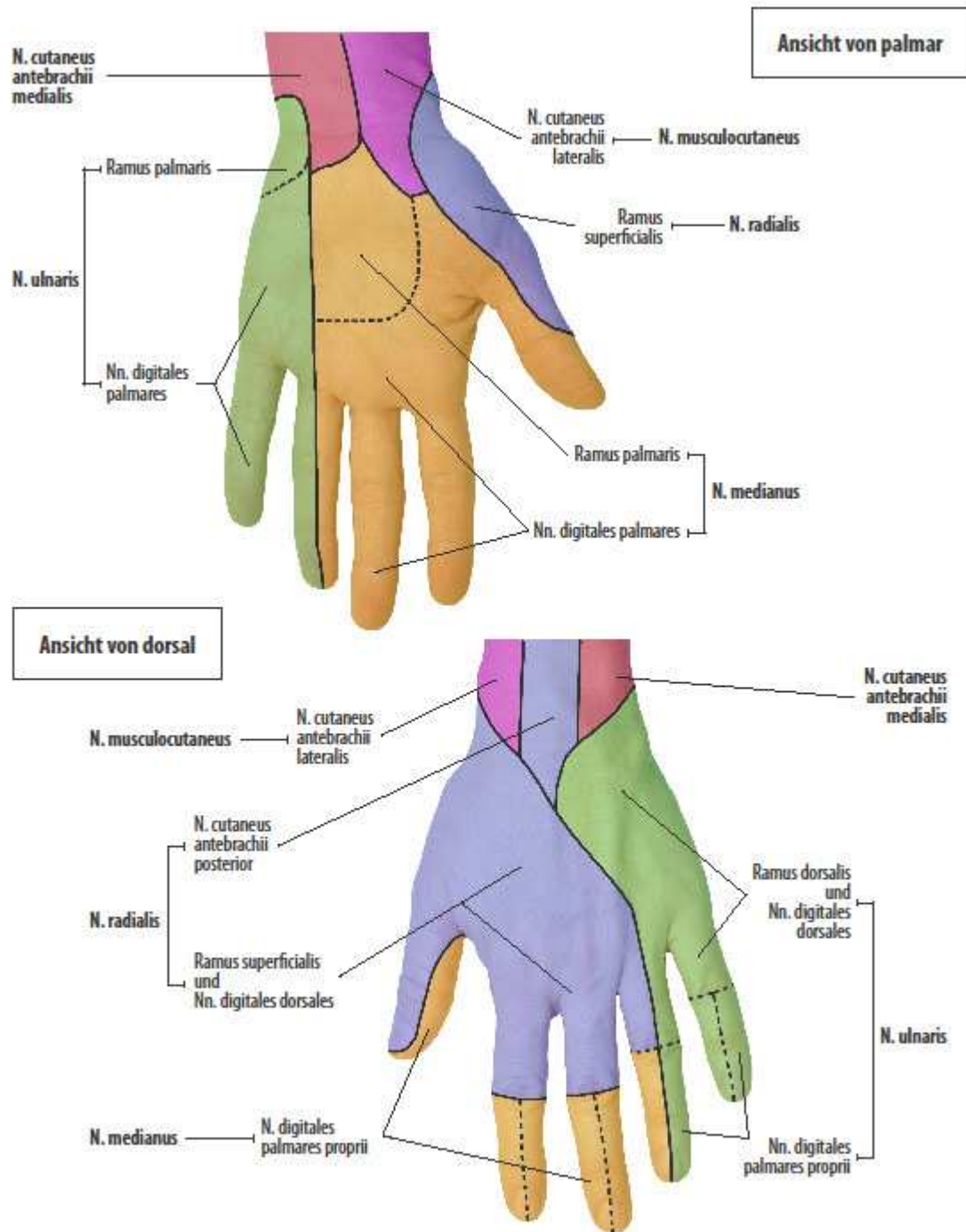
**Legende:** Umrandet regionales LA-Depot, A.- A. axillaris, Pfeil- korrigierte Nadel mit Schallschatten.



**Abb. 2.6**

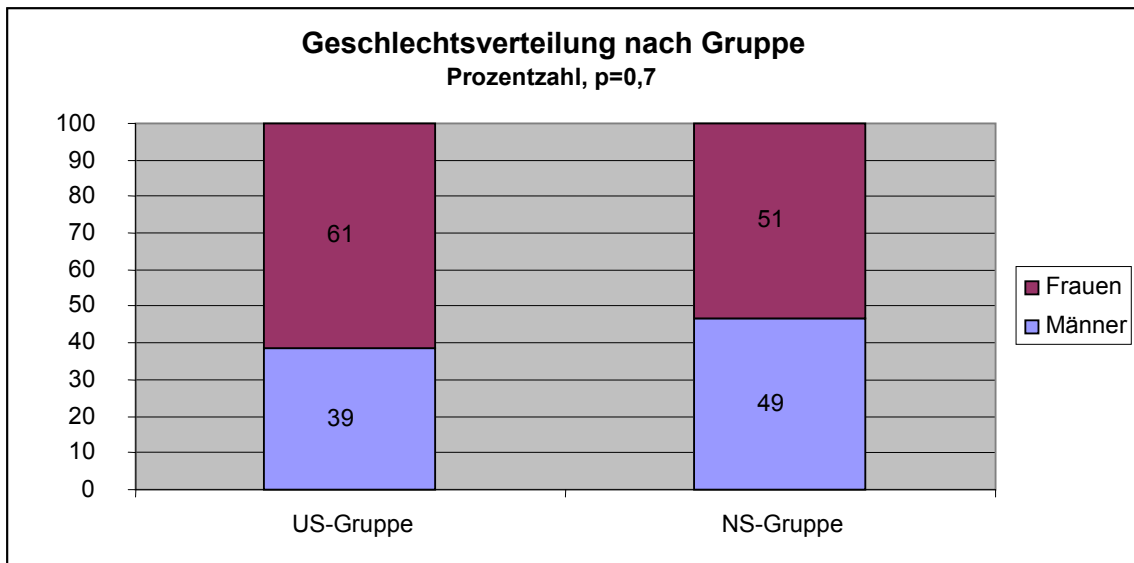
Sonographisches Schnittbild transpektoral nach vollständiger LA-Applikation, männlicher Patient, 31 Jahre.

**Legende:** Umrandet zirkuläres LA-Depot, A. - A. axillaris.

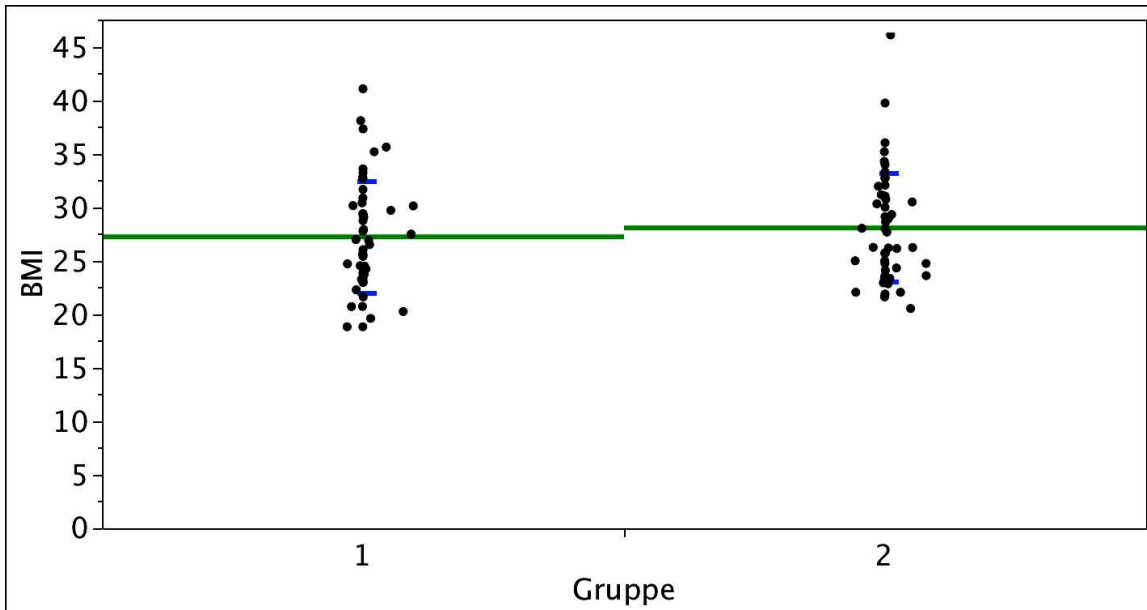


**Abb.2.7**

Sensible Innervation der Hand (modifiziert nach Netter FH [98]).

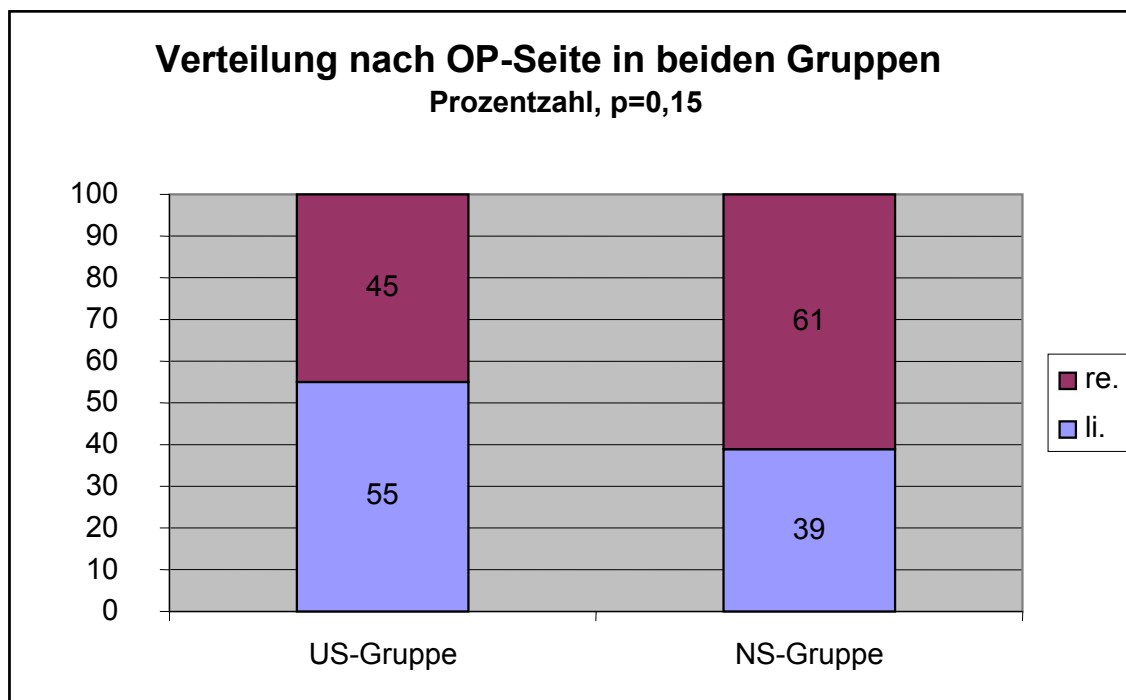


**Abb. 3.1** Geschlechtsverteilung in beiden Untersuchungsgruppen.



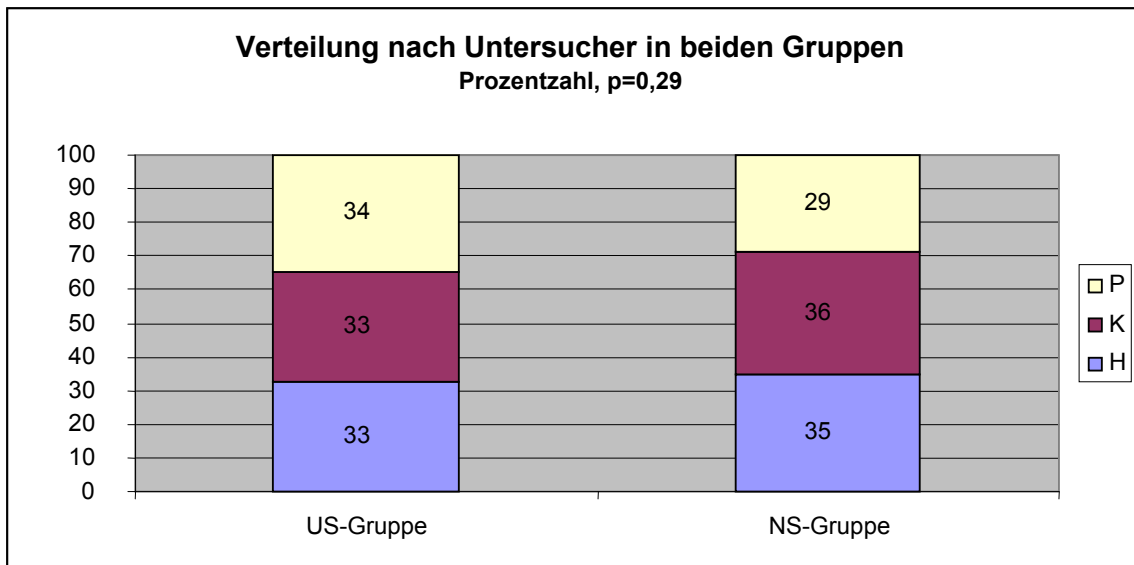
**Abb. 3.2:** Body-Maß-Index (BMI (kg/m<sup>2</sup>) in beiden Untersuchungsgruppen.

**Legende:** 1 = US-Gruppe, 2= NS-Gruppe), deren Mittelwerte (27,2 kg/m<sup>2</sup> in der US-Gruppe und 28,04 kg/m<sup>2</sup> in der NS-Gruppe, grüne Linie) und Standardabweichungen ( $\pm 5,21$  kg/m<sup>2</sup> in US-Gruppe und  $\pm 5,09$  kg/m<sup>2</sup> in der NS-Gruppe, blaue Linien),  $p = 0,42$ .



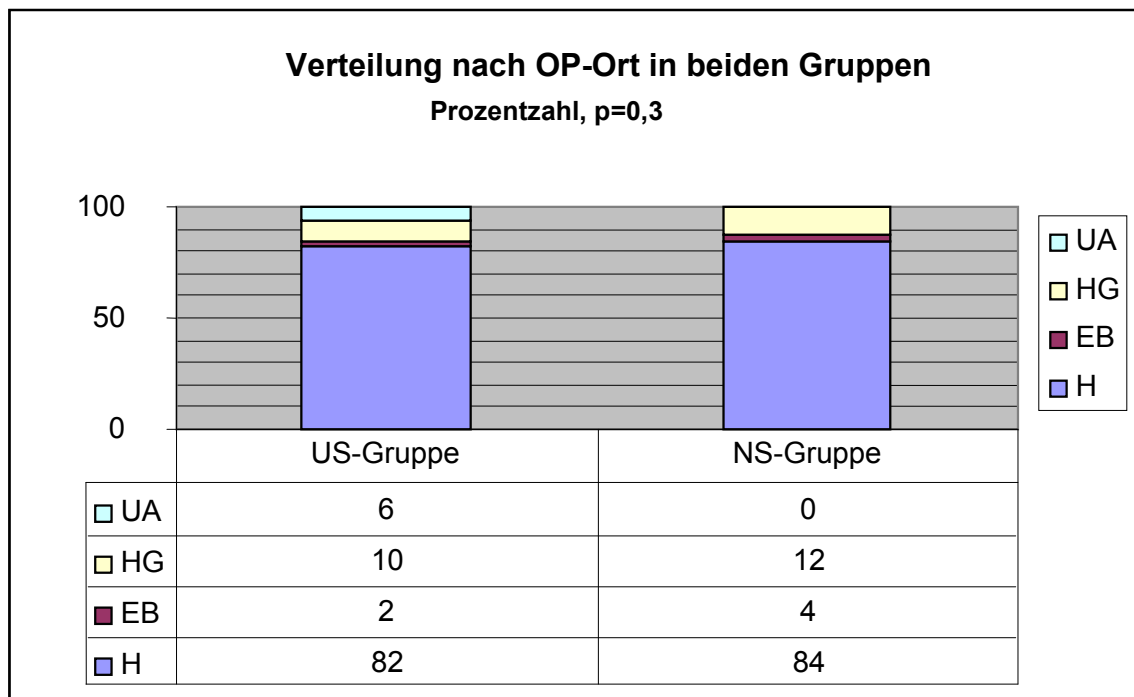
**Abb. 3.3:** Verteilung nach OP-Seite in beiden Untersuchungsgruppen.





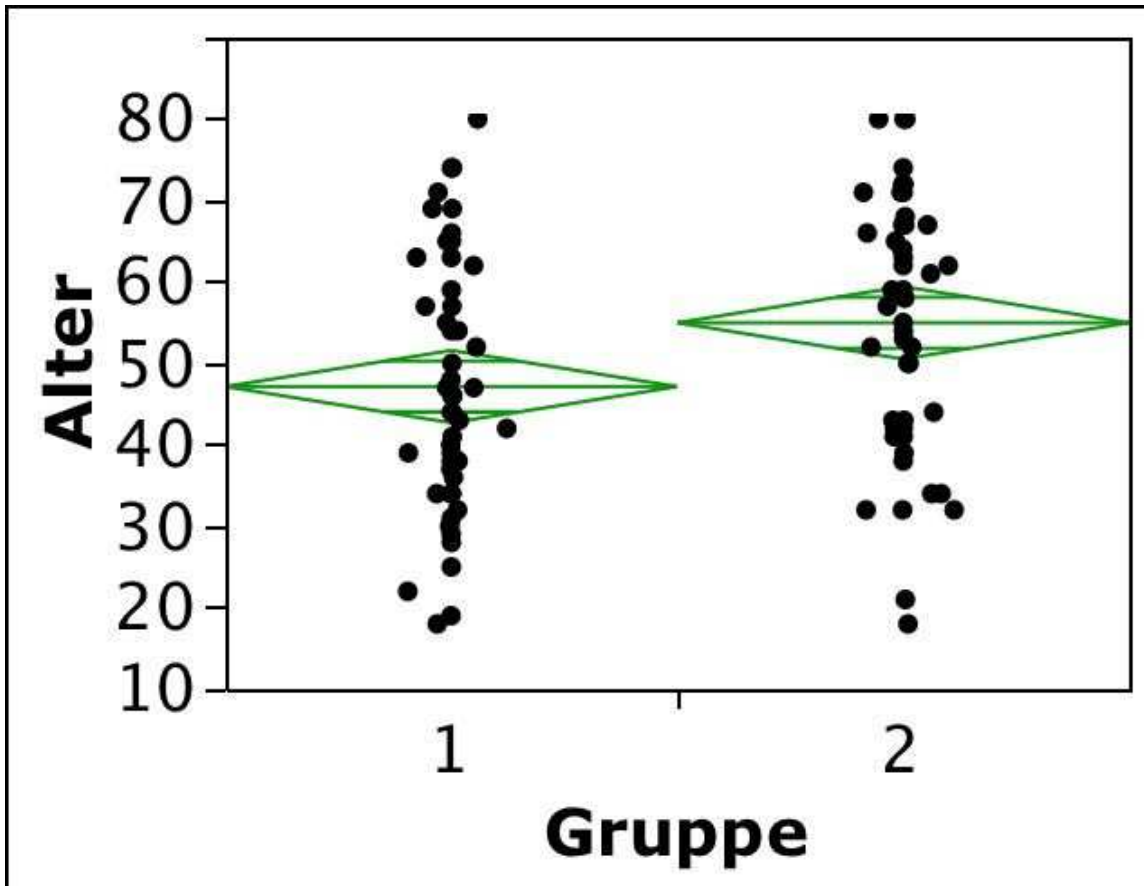
**Abb. 3.4:** Verteilung nach Untersucher in beiden Untersuchungsgruppen.

**Legende:** P= Untersucher mit viel Erfahrung, H= Untersucher mit durchschnittlicher Erfahrung, K= Untersucher mit wenig Erfahrung.



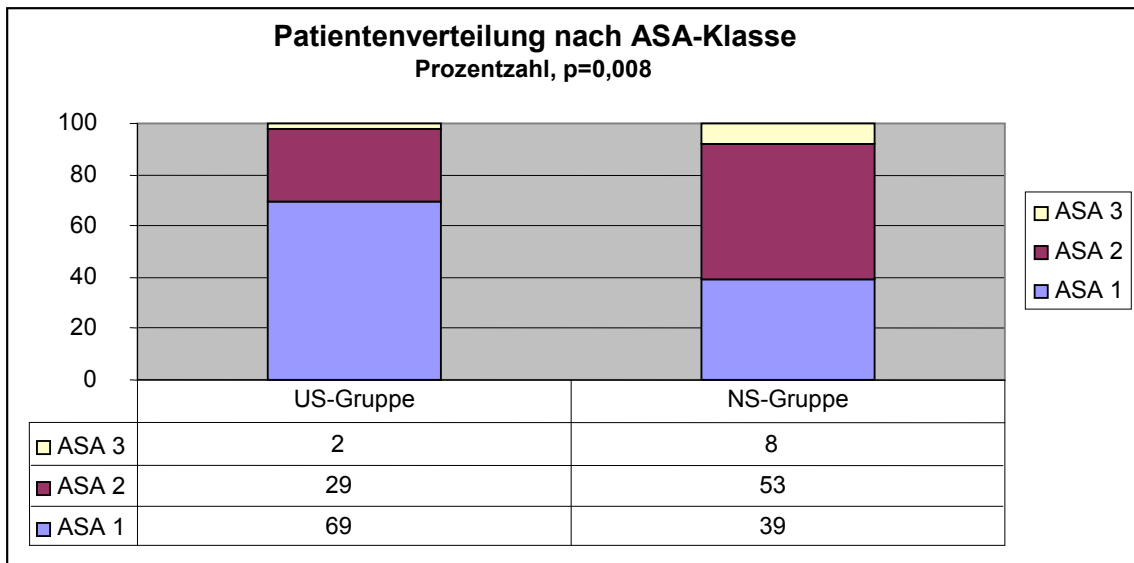
**Abb. 3.5:** Verteilung nach OP-Ort in beiden Untersuchungsgruppen.

**Legende:** H=Operation an der Hand (Finger und Handwurzel), HG= Operation am Handgelenk, EB= Operation im Bereich des Ellenbogens, UA= Operation am Unterarm.



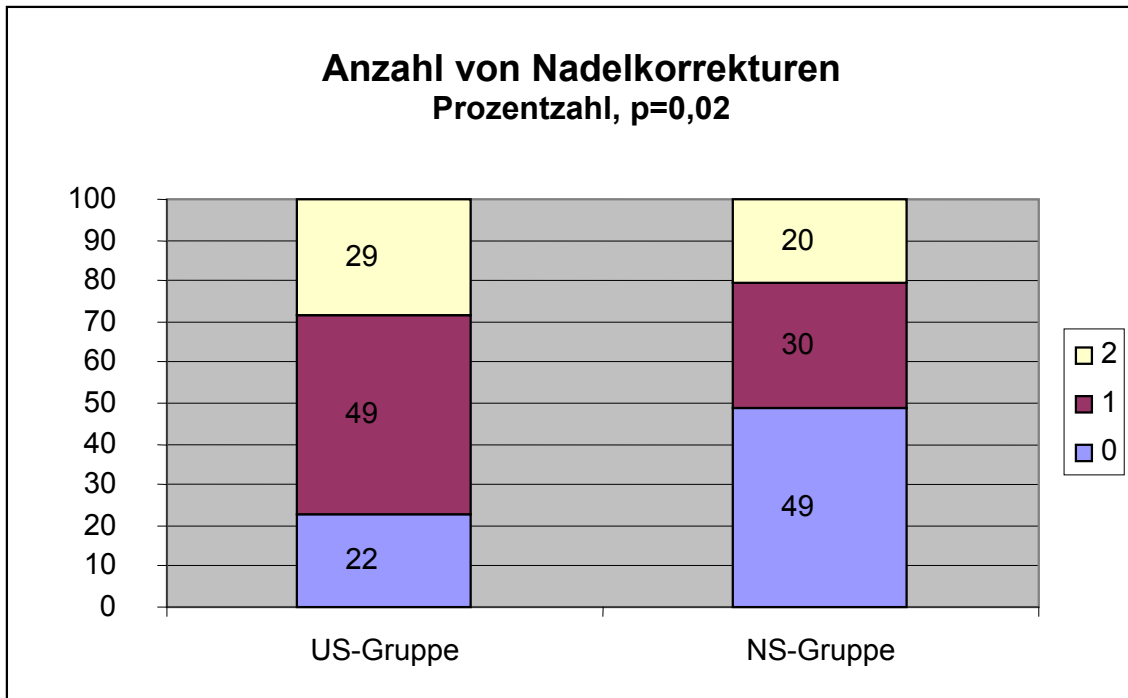
**Abb 3.6:** Patientenalter in beiden Untersuchungsgruppen.

**Legende:** Gruppe 1 = US-Gruppe:  $47,1 \pm 15,6$  Jahre, Gruppe 2= NS-Gruppe:  $55,0 \pm 15,7$ . Die waagerechten Mittellinien der Rauten sind die Mittelwerte. Die oberen und unteren Ecken der Rauten markieren die 95% Vertrauensintervalle für die Mittelwerte. Der Unterschied war signifikant,  $p=0.015$ .



**Abb 3.7:** Patientenverteilung nach ASA-Klassifikation.

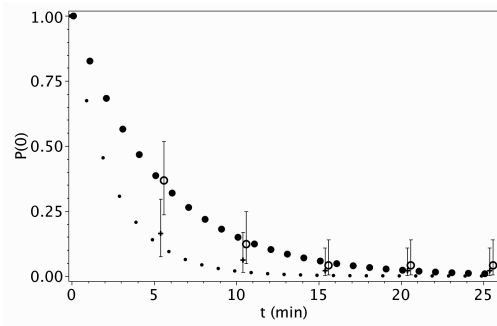
Die Unterschiede bezüglich der ASA-Klassifikation sind signifikant zuungunsten der NS-Gruppe (p=0.008)



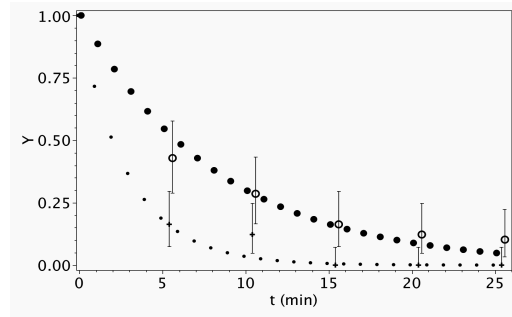
**Abb. 3.8:** Anzahl der Nadelkorrekturen.

**Legende:** 0= keine Korrektur, 1 = 1 Korrektur, 2= 2 Korrekturen, der Unterschied war signifikant,  $p=0.02$ .

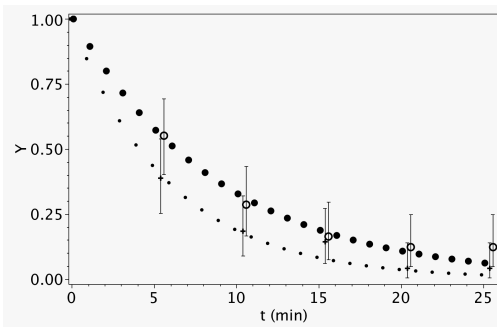
N. medianus mot.



N. musculocutaneus



N. radialis



N. ulnaris

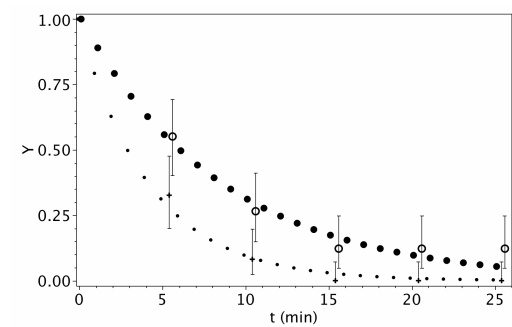
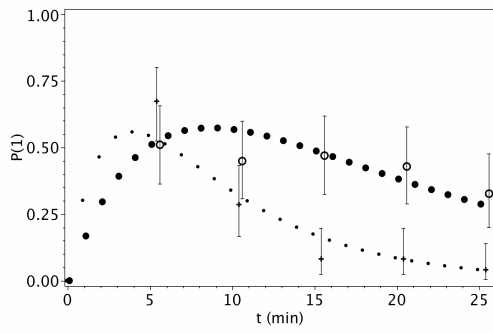
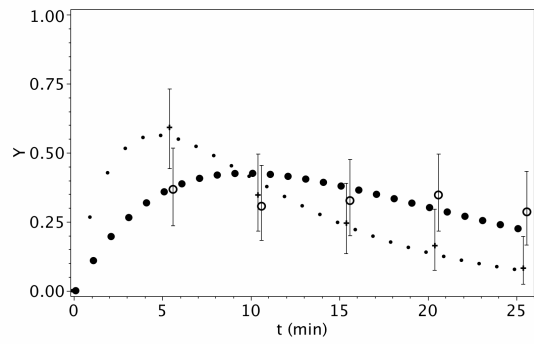


Abb. 3.9 a: Progression der motorischen Blockade. Zustand 0.

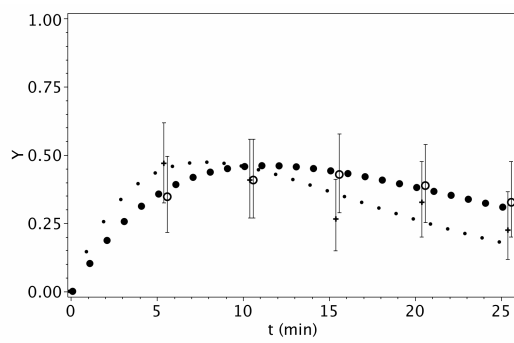
N. medianus .



N. musculocutaneus



N.radialis



N.ulnaris

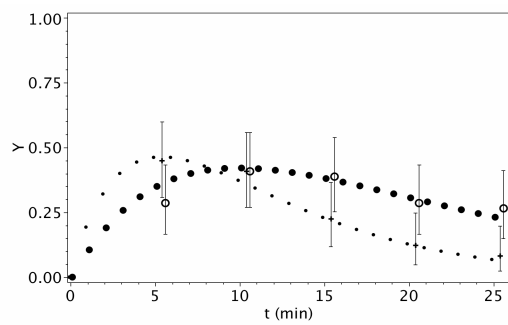
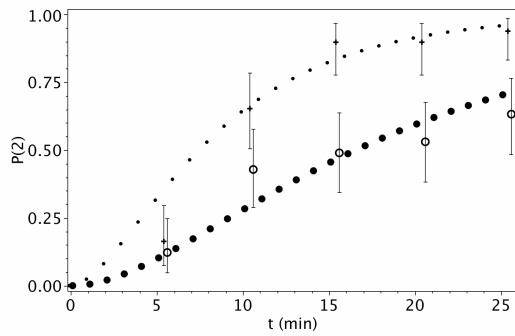
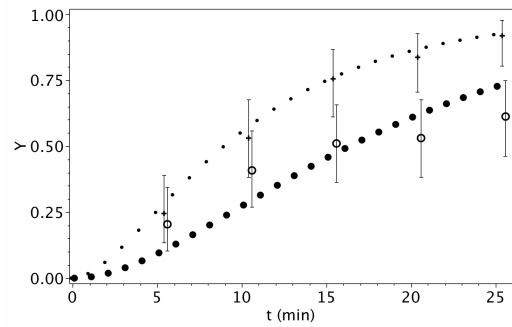


Abb. 3.9 b: Progression der motorischen Blockade. Zustand 1.

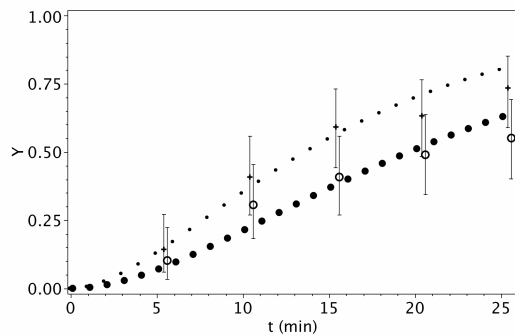
N. medianus mot.



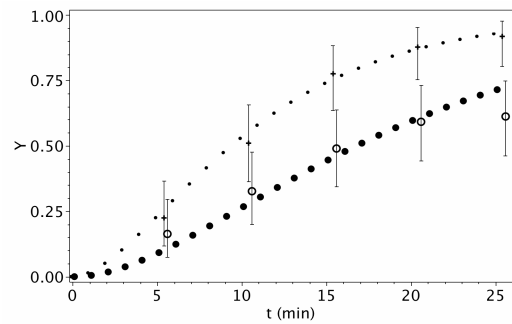
N. musculocutaneus



N. radialis



N. ulnaris

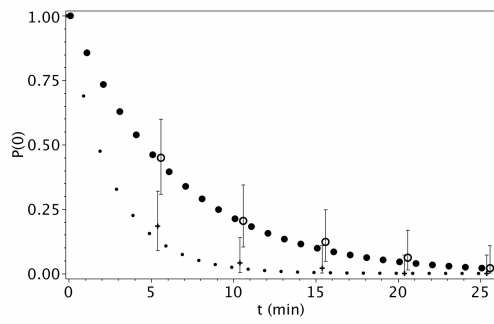


**Abb. 3.9 c:** Progression der motorischen Blockade. Zustand 2.

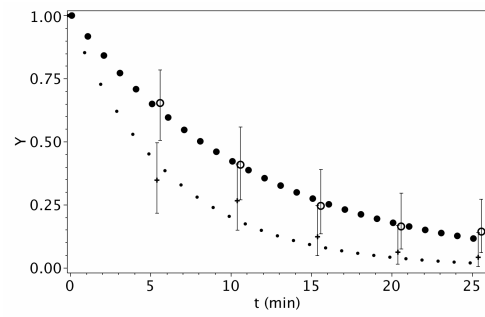
**Abb 3.9, a, b und c.** Progression der motorischen Blockade. Graphische Darstellung des Anteil der Patienten, die sich zu einem bestimmtem Untersuchungszeitpunkt in einem „Zustand“ befanden.

**Legende:** US-Gruppe••••, NS-Gruppe ●●●●, Y-Achse: Patientenanteil, X-Achse: Zeit in Minuten, Vertikale Striche zeigen die 95%- Konfidenzintervalle.

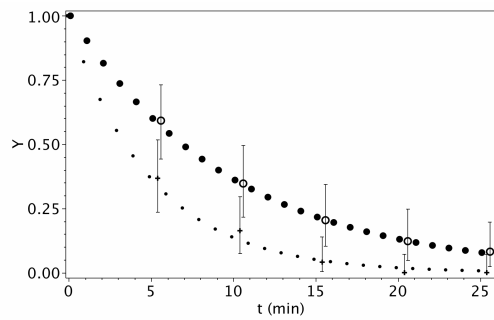
N. medianus mot.



N. musculocutaneus



N. radialis



N. ulnaris

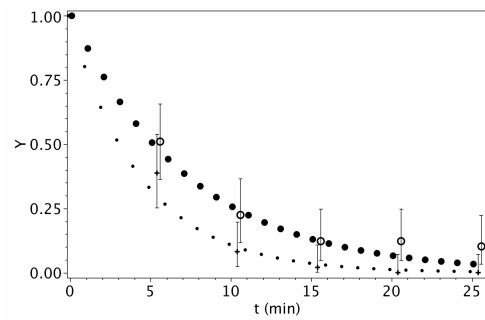
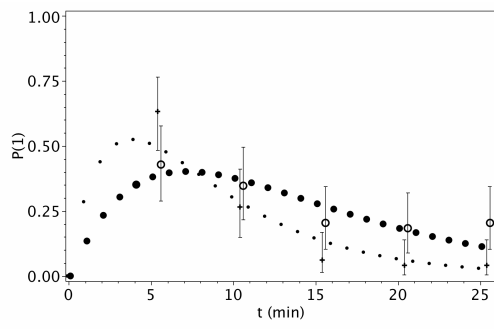


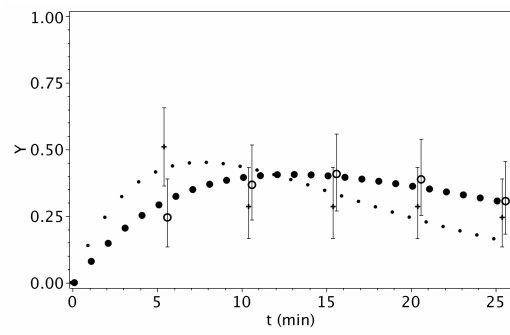
Abb 3.10 a: Progression der sensiblen Blockade. Zustand 0.



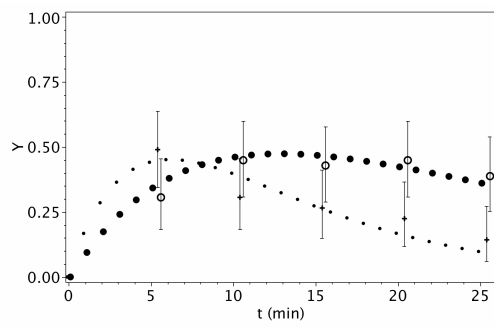
N. medianus mot.



N. musculocutaneus



N. radialis



N. ulnaris

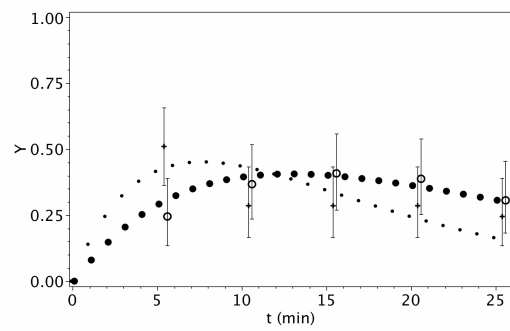
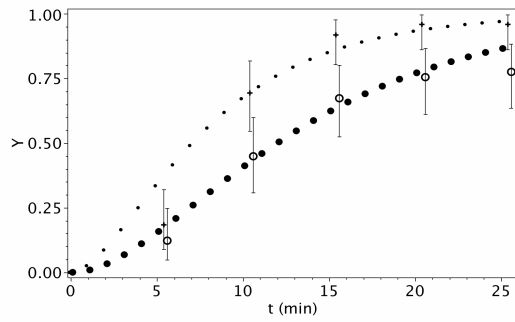
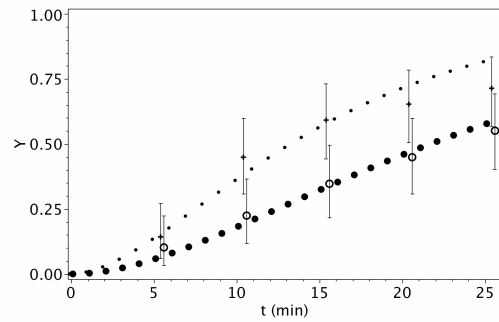


Abb.3.10 b: Progression der sensiblen Blockade. Zustand 1.

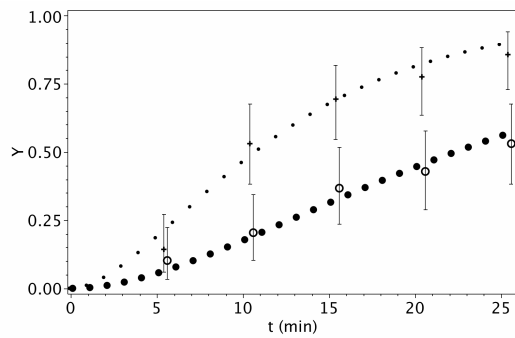
N. medianus sens.



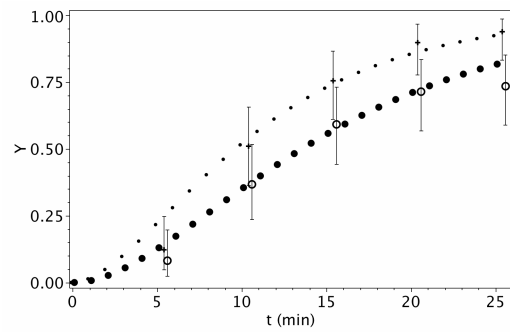
N. musculocutaneus



N. radialis



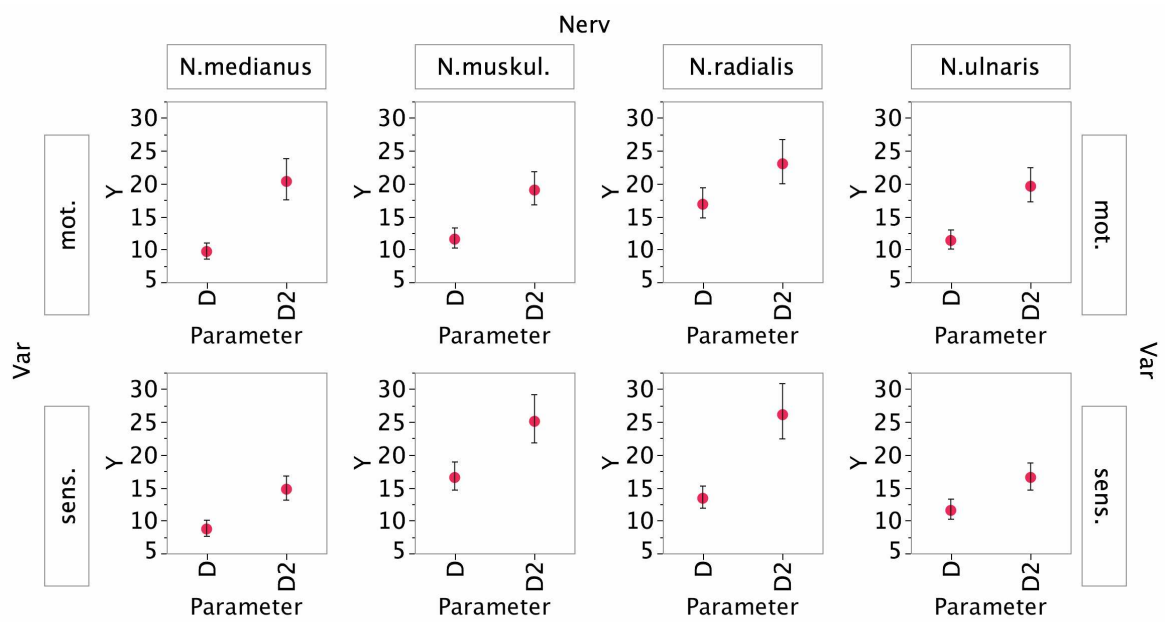
N. ulnaris



**Abb.3.10 c:** Progression der sensiblen Blockade. Zustand 2.

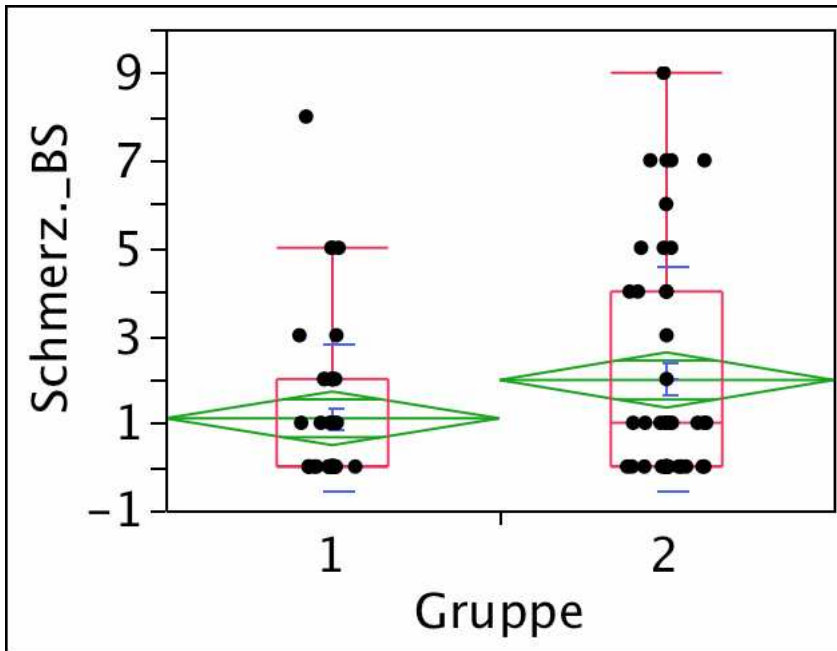
**Abb 3.9, a, b und c.** Progression der sensiblen Blockade. Graphische Darstellung des Anteil der Patienten, die sich zu einem bestimmtem Untersuchungszeitpunkt in einem „Zustand“ befanden.

**Legende:** US-Gruppe....., NS-Gruppe ●●●●, Y-Achse: Patientenanteil, X-Achse: Zeit in Minuten, Vertikale Striche zeigen die 95%- Konfidenzintervalle.



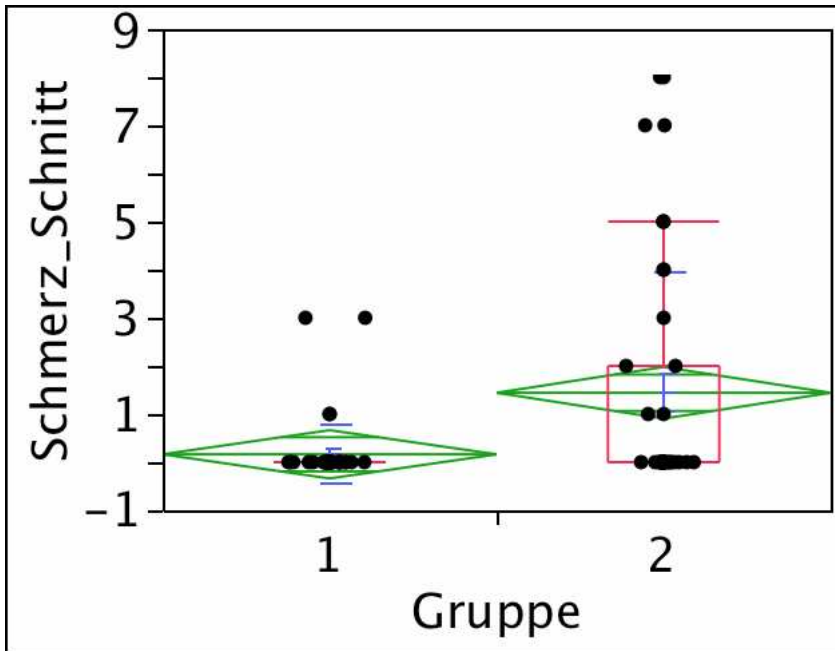
**Abb 3.11:** Graphische Darstellung der errechneten Eintritt-Zeitpunkte der kompletten sensiblen und motorischen Blockade aller vier Hauptnerven.

**Legende:** D = US-Gruppe, D2 = NS-Gruppe, Y-Achse = Zeit in Minuten.



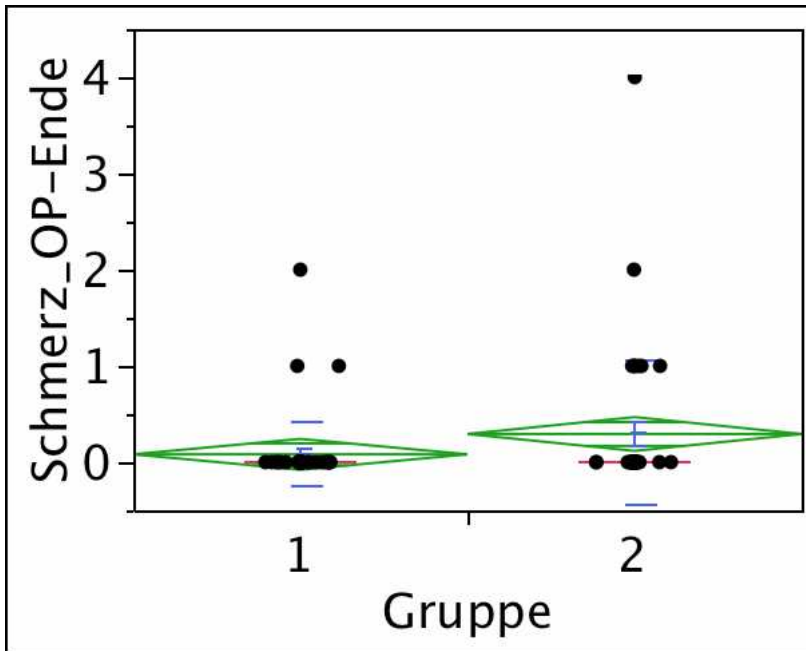
**Abb. 3.12** Schmerzintensität bei Blutsperreanlage.

**Legende:** 1 = US-Gruppe, 2= NS-Gruppe. Die waagerechten Mittellinien der Rauten sind die Mittelwerte. Die oberen und unteren Ecken der Rauten markieren die 95% Vertrauensintervalle für die Mittelwerte.



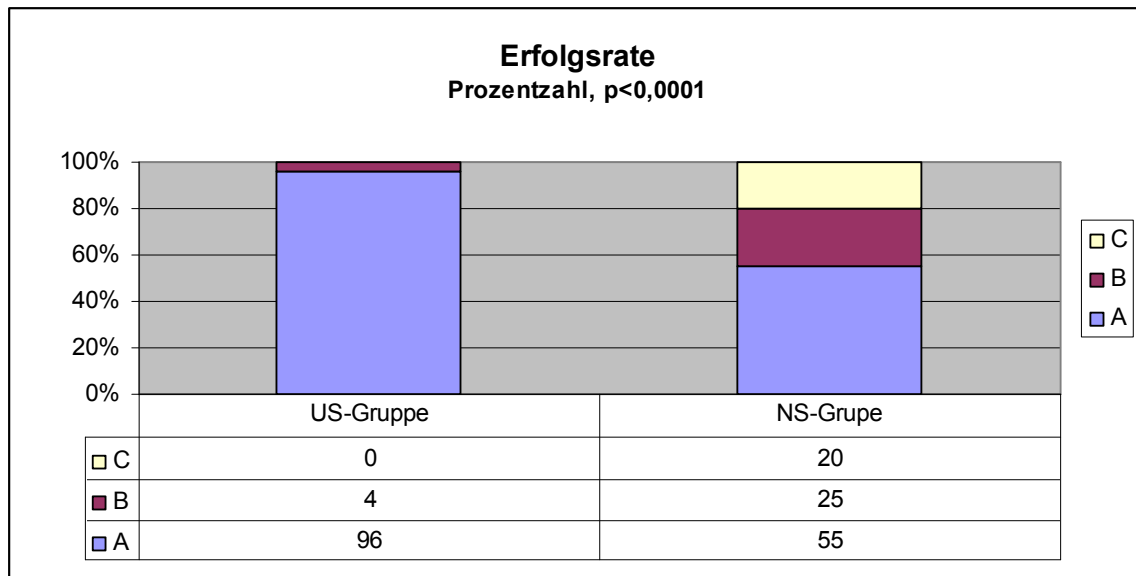
**Abb. 3.13** Schmerzintensität bei Hautschnitt.

**Legende:** 1 = US-Gruppe, 2= NS-Gruppe Die waagerechten Mittellinien der Rauten sind die Mittelwerte. Die oberen und unteren Ecken der Rauten markieren die 95% Vertrauensintervalle für die Mittelwerte.



**Abb. 3.14** Schmerzintensität bei Hautschnitt .

**Legende:** 1 = US-Gruppe, 2= NS-Gruppe. Die waagerechten Mittellinien der Rauten sind die Mittelwerte. Die oberen und unteren Ecken der Rauten markieren die 95% Vertrauensintervalle für die Mittelwerte.

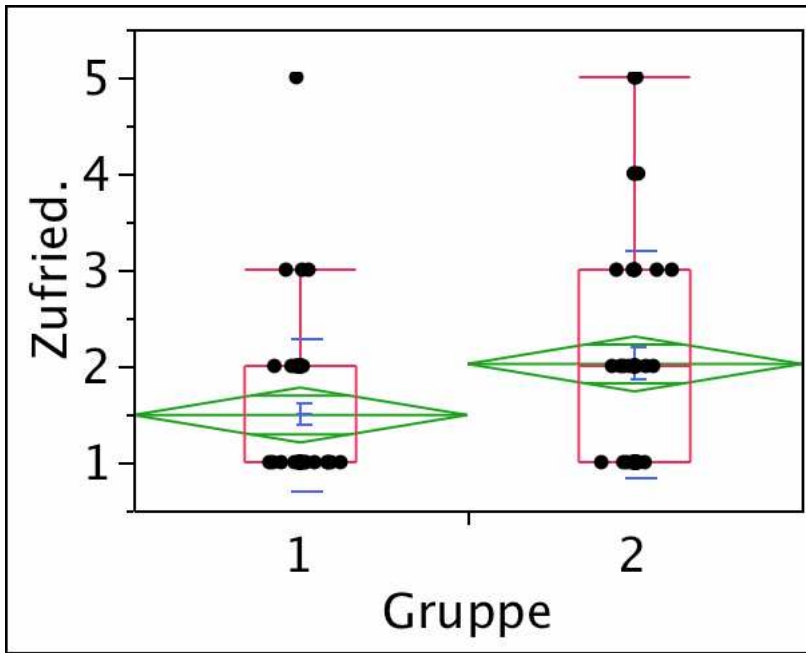


**Abb. 3.15** Klinische Erfolgsrate der Blockade.

**Legende:** A= Hautschnitt ist ohne Adjuvantien (Sedativa, Analgetika, Zusatzblockade) möglich;

B= Hautschnitt ist nur mit Adjuvantien möglich;

C= Hautschnitt ist nur in Allgemeinanästhesie möglich.



**Abb. 3.16** Zufriedenheit der Patienten.

**Legende:** 1= US-Gruppe, 2= NS-Gruppe. Die waagerechten Mittellinien der Rauten sind die Mittelwerte. Die oberen und unteren Ecken der Rauten markieren die 95% Vertrauensintervalle für die Mittelwerte.



## 6.2 Tabellen

**Tab. 1.1:** Kennzeit (Chronaxie) der verschiedenen Nervenfasertypen [60].

Nervenfaser	Physiologische Bedeutung	Chronaxie
A $\alpha$	motorische Efferenzen	50-100 $\mu$ s
A $\delta$	Schmerzleitung	150 $\mu$ s
C	Schmerzleitung	400 $\mu$ s

Als Kennzeit (Chronaxie,  $t_C$ ) wird die minimale Impulsdauer bezeichnet, die bei einem Reizstrom doppelter Rheobasestärke gerade eine Depolarisation hervorruft [85].

**Tab. 3.1:** Tabellarische Übersicht der Ereignisse während der Anlage der Blockade in beiden Untersuchungsgruppen.

Parameter	US-Gruppe (n= 49)	NS-Gruppe (n= 49)	p-Wert
Schwierigkeiten bei Palpation der A. axillaris (Anzahl/%)	4 (8%)	5(10%)	1,0
Nadelkorrekturen (Q3)	2	1	0,0215
Parästhesien bei Platzierung der Kanüle (Anzahl/%)	6 (12%)	3 (6%)	0,5
Parästhesien bei Injektion (Anzahl/%)	1 (2%)	2(4%)	1,0
Parästhesien bei Nervenstimulation (Anzahl/%)	1 (2%)	2 (4%)	1,0
Gefäßpunktionen (Anzahl/%)	3 (6%)	1 (2%)	0,6
LA-Menge (MW $\pm$ SD, ml)	46,1 $\pm$ 5,7	47,4 $\pm$ 3,99	0,2

**Tab. 3.2:** Tabellarische Übersicht der zeitlichen Parameter in beiden Untersuchungsgruppen.

Parameter	US-Gruppe (n= 49)	NS-Gruppe (n= 49)	p-Wert
Blockadeanlage-Zeit (Median) min	6 (Spannweite 2-15)	4 (Spannweite 2-28)	0,13
Wartezeit, (MW±SD), min	53,8±16,1	51,6±15	0,49
OP-Dauer (Median) min	27 (Spannweite 8-85)	21 (Spannweite 2-101)	0,62
Anschlagszeit (MW±SD), min	13.1 ± 6.0	16.0 ± 7.6	0.036

**Tab. 3.3:** Qualität der sensiblen Blockade nach 30 Min.

Qualität der Blockade	US-Gruppe (n= 49)	NS-Gruppe (n= 49)	p-Wert
Komplette Blockade	45 (92%)	34 (70%)	0.005
Teilblockade	4 (8%)	12 (24%)	0.03
Keine Blockade	0	3 (6%)	0.03

**Tabelle 3.4:** Eintrittszeiten der kompletten motorischen Blockade an den Hauptnerven, errechnet nach dem mathematischen Modell

Blockadeart	Nerv	Gruppe	EZ (min)	uKG (min)	oKG (min)	p-Wert
motorisch	N. medianus	US	9.67	8.50	11.03	<.0001
		NS	20.33	17.60	23.81	
motorisch	N. muscul.	US	11.55	10.14	13.24	<.0001
		NS	19.02	16.77	21.74	
motorisch	N. radialis	US	16.85	14.84	19.31	0.0017
		NS	23.01	20.04	26.76	
motorisch	N. ulnaris	US	11.35	9.99	12.97	<.0001
		NS	19.60	17.24	22.45	
sensibel	N. medianus	US	8.71	7.62	9.98	<.0001
		NS	14.76	13.06	16.77	
sensibel	N. muscul.	US	16.54	14.60	18.89	<.0001
		NS	25.09	21.83	29.16	
sensibel	N. radialis	US	13.38	11.80	15.27	<.0001
		NS	26.10	22.49	30.78	
sensibel	N. ulnaris	US	11.54	10.16	13.18	0.0001
		NS	16.55	14.63	18.82	

**Tab. 3.4. Legende:** EZ= Eintritt-Zeitpunkte der kompletten sensiblen und motorischen Blockade aller vier Hauptnerven, oKG = obere 95% Konfidenzgrenze, uKG = untere 95% Konfidenzgrenze.

**Tab. 3.5:** perioperative Supplementierung

Art der Supplementierung	US-Gruppe (n= 49)	NS-Gruppe (n= 49)	p-Wert
Sedativa auf Patientenwunsch (n/%)	11(22%)	3 (6%)	0.02
Sedativa bei insuffizienter Blockade (n/%)	2 (4%)	13 (27%)	0.002
Analgetika bei insuffizienter Blockade (n/%)	2 (4%)	14 (29%)	0.001
Zusätzliche periphere Blockade (n/%)	1 (2%)	4 (8%)	0,17
Repetition von LA (n/%)	0	1 (2%)	0,3
Allgemeinanästhesie bei insuffizienter Blockade (n/%)	0	10 (20%)	0.0008

Tab. 3.6 Postoperative Komplikationen beider Untersuchungsgruppen.

Komplikationen postoperativ	US-Gruppe (n= 49)	NS-Gruppe (n= 49)	p-Wert
Druckschmerz über der Einstichstelle (n/%)	15 (30%)	11(22%)	0.08
Lokale Reaktion (n/%)	2 (4%)	6 (12%)	0.14
Nervenkomplikation (n/%)	0	0	

Tabl. 4.1: Übersicht der Vergleichsstudien, die den Einsatz der Sonographie bei der axilläre Plexusanästhesie untersucht haben.

Autor	Jahr	Studie	Zugang	Technik	Studiendesign	n
Soeding et al. [127]*	2005	RCT	IS	SI	Landmarks, SI	40
			AX	SI		
Lui et al. [83]	2005	RCT	AX	US-DI	PNS, DI	90
				US-SI		
Sites et al. [126]	2006	RCT	AX	PV	TA	56
Schwemmer et al. [121]	2006	Retr.	AX	MI	PNS	130
Chan et al. [29]	2007	RCT	AX	US+PNS,MI	PNS,MI	188
				US, MI		
Casati et al. [27]	2007	RCT	AX	MI	PNS, MI	60
Pfeiffer et al. [110]	2008	Retr.	AX	PV	PNS, PV	86
Brüggemann et al. [18]	2009	RCT	AX	DI	PNS, DI	40
Morros C. et al. [95]	2009	RCT	AX	US+PNS, MI	PNS, MI	129

**Tabelle 4.1.**

**Legende:** RCT: Randomized-Controlled Trial, Retr.: retrospective Untersuchung, AX: axillärer Zugang, IS: interscalenärer Zugang, US: Ultraschall, PNS: periphere Nervenstimulation, TA: transarterielle Punktion, SI: Single-Injektion-Technik, DI: Double-Injektion-Technik, MI: Multiinjektions-Technik, PV:perivaskuläre Technik.

**Tabelle 4.2:** Übersicht über die Ergebnisse von Vergleichsstudien zwischen sonographischer und nervenstimulierter Blockadetechniken hinsichtlich der Erfolgsrate der axillären Blockade.

Autor	Jahr	Studie	Zugang	Technik	Studiendesign	n	Erfolgsrate	p-Wert
Soeding et al. [127]*	2005	RCT	IS	SI	Landmarks, SI	40	95 vs. 90	ns
			AX	SI				
Lui et al. [83]	2005	RCT	AX	US-DI	PNS, DI	90	90 vs. 90	ns
				US-SI			70 vs. 90	ns
Sites et al. [126]	2006	RCT	AX	PV	TA	56	100 vs. 71	<0,001
Schwemmer et al. [121]	2006	Retr.	AX	MI	PNS	130	96 vs. 80	0,014
Chan et al. [29]	2007	RCT	AX	US+PNS,MI	PNS,MI	188	83 vs. 63	0,01
				US, MI			81 vs. 63	0,03
Casati et al. [27]	2007	RCT	AX	MI	PNS, MI	60	94 vs. 97	ns
Pfeiffer et al. [110]	2008	Retr.	AX	PV	PNS, PV	86	97 vs. 72	KA
Brüggemann da C et al. [18]	2009	RCT	AX	DI	PNS, DI	40	85 vs. 75	ns
<a href="#">Morros C</a> et al. [95]	2009	RCT	AX	US+PNS, MI	PNS, MI	129	96 vs. 94	ns

**Tabelle 4.2**

**Legende:** RCT: Randomized-Controlled Trial, Retr: retrospektive Untersuchung, AX: axillärer Zugang, IS: inter-scalenärer Zugang, US: Ultraschall, PNS: peripherere Nervstimulation, TA: transarterielle Punktion, SI: Single-Injektion-Technik, DI: Double-Injektion-Technik, MI: Multiinjektion-Technik, PV: perivaskuläre Technik, ns: nichtsignifikanter Unterschied, KA: keine Angaben, \*-zweifelhaftes Design

**Tabelle 4.3:** Übersicht über die Ergebnisse von Vergleichsstudien zwischen sonographischer und nervenstimulierten Blockadetechniken hinsichtlich des Zeitbedarfs für die Anlage der axillären Blockade.

Autor	Jahr	Studie	Zugang	Technik	Studiendesign	n	Zeitbedarf (Min.)	p-Wert
Soeding et al. [127] *	2005	RCT	IS	SI	Landmarks, SI	40	5,3 vs 6,4-10	0,011
			AX	SI			6,3 vs. 7,3-20	0,011
Lui et al. [83]	2005	RCT	AX	US-DI	PNS, DI	90	6,7 vs. 8,2	<0,01
				US-SI			6,5 vs. 8,2	<0,01
Sites et al. [54-126]	2006	RCT	AX	PV	TA	56	7,9 vs. 11,1	<0,05
Schwemmer et al. [121]*	2006	Retr.	AX	MI	PNS	130	5 vs. 10	<0,01
Chan et al. [29]	2007	RCT	AX	US+PNS,MI	PNS,MI	188	12,4vs. 11,3	ns
				US, MI			9,3 vs. 11,3	<0,05
Casati et al. [27]	2007	RCT	AX	MI	PNS, MI	60	14 vs. 18	0.01
Brüggemann da C et al. [18]	2009	RCT	AX	DI	PNS, DI	40	5,9 vs. 6,35	ns
Morros C et al. [95]	2009	RCT	AX	US+PNS, MI	PNS, MI	129	5,8 vs. 4,85	<0,05

**Tabelle 4.3**

**Legende:**RCT: Randomized-Controlled Trial, Retr: retrospektive Untersuchung, AX: axillärer Zugang, IS:inter-scalenärer Zugang, US: Ultraschall, PNS: peripherere Nervstimulation, TA: transarterielle Punktion, SI: Single-Injektion-Technik, DI: Double-Injektion-Technik, MI: Multiinjektion-Technik, PV: perivaskuläre Technik, ns: nichtsignifikanter Unterschied, KA: keine Angaben, \*-zweifelhaftes Design

**Tabelle 4.4:** Übersicht der Vergleichsstudien bezüglich der Anschlagszeit der axillären Blockade

Autor	Jahr	Studie	Zugang	Technik	Studiendesign	n	Zeitbedarf (Min.)	p-Wert
Soeding et al. [127]*	2005	RCT	IS	SI	Landmarks, SI	40	KA	0,011
			AX	SI			KA	0,011
Sites et al. [126]	2006	RCT	AX	PV	TA	56	7,9 vs. 11,1	<0,05
Schwemmer et al. [121]*	2006	Retr.	AX	MI	PNS	130	5 vs. 20	<0,01
Casati et al. [27]	2007	RCT	AX	MI	PNS, MI	60	14 vs. 18	0.01

**Tabelle 4.4**

**Legende:** RCT: Randomized-Controlled Trial, Retr: retrospektive Untersuchung, AX: axillärer Zugang, IS: inter-scalenärer Zugang, US: Ultraschall, PNS: peripherere Nervstimulation, TA: transarterielle Punktion, SI: Single-Injektion-Technik, DI: Double-Injektion-Technik, MI: Multiinjektion-Technik, PV: perivaskuläre Technik, NS: nichtsignifikanter Unterschied, KA: keine Angaben, \*-zweifelhaftes Design

**Tabelle 4.5:** Übersicht über die Ergebnisse von Vergleichsstudien zwischen sonographischer und nervenstimulierten Blockadetechniken hinsichtlich der Komplikationen.

Autor	Jahr	Studie	Zu- gang	Technik	Studien- design	Gefäß- punktion	Parästhesie	Lokale Reaktion
Soeding et al. [127]*	2005	RCT	IS	SI	Land- marks, SI	0% vs. 0%	45% vs. 65%*	KA
			AX	SI				
Lui et al. [83]	2005	RCT	AX	US-DI	PNS, DI	0% vs. 10%~	0% vs. 10%~	0% vs 3%~
				US-SI		0% vs. 10%~	0% vs. 10%~	0% vs 3%~
Sites et al. [126]	2006	RCT	AX	PV	TA	KA	KA	KA
Chan et al. [29]	2007	RCT	AX	US+PNS, MI	PNS,MI	0%vs. 0%	15% vs. 21% ~	19% vs. 29% ~
				US, MI		0% vs. 0%	20% vs. 21% ~	8% vs. 29% ~
Casati et al. [27]	2007	RCT	AX	MI	PNS, MI	KA	KA	KA
Brüggemann da C et al. [18]	2009	RCT	AX	DI	PNS, DI	10% vs. 40%*	5% vs. 5%	KA
Morros C et al. [95]	2009	RCT	AX	US+PNS, MI	PNS, MI	KA	8% vs 28% *	KA

**Tabelle 4.5**

**Legende:** RCT: Randomized-Controlled Trial, Retr: retrospektive Untersuchung, AX: axillärer Zugang, IS: inter-scalenärer Zugang, US: Ultraschall, PNS: peripherere Nervstimulation, TA: transarterielle Punktion, SI: Single-Injektion-Technik, DI: Double-Injektion-Technik, MI: Multiinjektion-Technik, PV: perivaskuläre Technik, ns: nichtsignifikanter Unterschied, KA: keine Angaben, \*-zweifelhaftes Design, ~-keine statistische Analyse



## 7. Literatur

1. Abrahams MS, Aziz MF, Fu RF, Horn J-L  
2009  
*Ultrasound guidance compared with electrical neurostimulation for peripheral nerve block: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials.*  
Br. J. Anaesth. 102 (3): 408-417
2. Acardo NJ, Adriani J.  
1949  
*Brachial plexus block: A simplified technique using the axillary route.*  
South Med J. 42:920
3. Albrecht D.M.  
2000  
*Zentrale und periphere Leitungsanästhesien – Reevaluierung und Differenzierung nötig.*  
Anaesthesist 2000; 49: 493-494
4. Ansbro FP.  
1946  
*A method of continuous brachial plexus block.*  
Am J Surg. 71:716-22
5. Arcand G, Williams SR, Chouinard P, Boudreault D, Harris P, Ruel M, Girard F.  
2005  
*Ultrasound-guided infraclavicular versus supraclavicular block.*  
Anesth Analg. 101(3):886-90
6. Assmann N, McCartney CJ, Tumber PS, Chan VW.  
2007  
*Ultrasound guidance for brachial plexus localization and catheter insertion after complete forearm amputation.*  
Reg Anesth Pain Med. 32(1):93
7. Auroy Y, Benhamou D, Bargues L et al.  
2002  
*Major complications of regional anesthesia in France: the SOS Regional Anesthesia Hotline Service.*  
Anesthesiology 97: 1274-1280
8. Auroy Y, Narchi P, Messiah A, Litt L, Rouvier B, Samii K.  
1997  
*Serious complications related to regional anesthesia. Results of a prospective survey in France.*  
Anesthesiology. 87:479–486

9. Baranowski AP, Pither CE  
1990  
*A comparison of three methods of axillary brachial plexus anaesthesia.*  
Anaesthesia. 45(5):362-5
  
10. Behnke H.  
2006  
*Nerve stimulation based peripheral regional anesthesia: technique of the old fashioned or sonography-directed peripheral regional anesthesia a technique for ninnies?*  
Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther. 41(4):267-9]
  
11. Ben-David B, Stahl S.  
1999  
*Axillary block complicated by hematoma and radial nerve injury.*  
Reg Anesth Pain Med. 24(3):264-6
  
12. Bermann BD, Hebl JR, Kent J, Horlocker TT  
2003  
*Neurologic complications of 405 consecutive continuous axillary catheters.*  
Anesth Analg 96: 247-252
  
13. Bigeleisen, P E.  
2006  
*Nerve Puncture and Apparent Intraneural Injection during Ultrasound-guided Axillary Block Does Not Invariably Result in Neurologic Injury.*  
Anesthesiology 105 (4): 779-783
  
14. Bigeleisen P, Wilson M.  
2006  
*A comparison of two techniques for ultrasound guided infraclavicular block.*  
Br J Anaesth. 96(4):502-7
  
15. Borgeat A, Ekatodramis G, Kalberer F, Benz C.  
2001  
*Acute and nonacute complications associated with interscalene block and shoulder surgery. A prospective study.*  
Anesth Analg.;95:875–880
  
16. Bouaziz H, Narchi P, Mercier FJ, Labaille T, Zerrouk N, Girod J, Benhamou D.  
1997  
*Comparison between conventional axillary block and a new approach at the midhumeral level.*  
Anesth Analg. 84(5):1058-62  
Wiss Verlags Ges, Stuttgart
  
17. Brandt L  
1997

Illustrierte Geschichte der Anästhesie.

- 18.** Brüggemann da Conceição D, Escovedo Helayel P, Rodrigues de Oliveira Filho G  
2009  
*A Comparative study between ultrasound and neurostimulation guided axillary brachial plexus block*  
Rev. Bras. Anesthesiol. 59 (5)
- 19.** Brull R, McCartney CJL, Chan VWS, El-Beheiry H  
2007  
*Neurological complications after regional anesthesia: contemporary estimates of risk.*  
Anesth Analg 104: 965- 974
- 20.** Burnham PJ.  
1958; 19: 684-5  
*Axillary brachial plexus block.*
- 21.** Burnham PJ  
1959  
*Simple regional nerve block for surgery for the hand and forearm.*  
JAMA, 169:941-943
- 22.** Büttner J., Klemmer A., Argo A., Klose R., Frost R.  
1988  
*Axilläre Blockade des Plexus brachialis.*  
Reg Anaesth 11: 7-11  
Anesthesiology
- 23.** Büttner J., Klose R.  
1991  
*Alkalisierung von Mepivacain zur axillären Katheterplexusanaesthesie.*  
Reg Anaesth 14: 17-24
- 24.** Candido KD, Sukhani R, Doty R, Nader A, Kendall MC, Yaghmour E, et al.  
2005  
*Neurologic sequelae after interscalene brachial plexus block for shoulder/upper arm surgery: the association of patient, anesthetic, and surgical factors to the incidence and clinical course.*  
Anesth Analg.;100:1489–1495
- 25.** Carles M, Pulcini A, Macchi P, Duflos P, Raucoules-Aime M, Grimaud D  
2001  
*An evaluation of the brachial plexus block at the humeral canal using a neurostimulator (1417 patients): the efficacy, safety, and predictive criteria of failure.*  
Anesth Analg. 92(1):194-8

26. Carre P, Joly A, Clusel Field B et al.  
2000  
*Axillary block in children: single or multiple injection?*  
Paediatr Anaesth 10: 35-39
27. Casati A, Danelli G, Baciarello M, Corradi M, Leone S, Di Cianni S, Fanelli G.  
2007  
*A prospective, randomized comparison between ultrasound and nerve stimulation guidance for multiple injection axillary brachial plexus block.*  
Anesthesiology. 106(5):992-6
28. Chan VW, Brull R, McCartney CJ, Xu D, Abbas S, Shannon P.  
2007  
*An ultrasonographic and histological study of intraneural injection and electrical stimulation in pigs.*  
Anesth Analg. 104(5):1281-4, tables of contents.
29. Chan VW, Perlas A, McCartney CJ, Brull R, Xu D, Abbas S.  
2007  
*Ultrasound guidance improves success rate of axillary brachial plexus block.*  
Can J Anaesth. 54(3):176-82
30. Cheney FW, Domino KB, Caplan RA, Posner KL.  
1999  
*Nerve injury associated with anesthesia: a closed claims analysis.*  
Anesthesiology.;90:1062–1069
31. Cockings E, Heavner JE.  
1994  
*Evaluation of brachial plexus anesthesia for upper extremity surgery--comments.*  
Reg Anesth. 19(6):435
32. Cockings E.  
2000  
*Axillary block complicated by hematoma and radial nerve injury.*  
Reg Anesth Pain Med. 25(1):103
33. Cooper K, Kelley H, Carrithers J.  
1995  
*Perceptions of side effects following axillary block used for outpatient surgery.*  
Reg Anesth.;20:212–216
34. De Jong RH  
1961  
*Axillary block of the brachialis plexus.*  
Anesthesiology 22: 215-25
35. De Jong RH

- 1965  
*Modified axillary block.*  
Anesthesiology 26: 615
- 36.** 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.*  
Anesth Analg. 104(5):1275-80
- 37.** Dupré LJ.  
1994  
*Brachial plexus block through humeral approach.*  
Can Anesthesiol. 42(6):767-9
- 38.** Eifert B, Hähnel J, Kustermann J.,  
1994  
*Die axilläre Blockade des Plexus brachialis.*  
Anaesthesist 43, 780-785
- 39.** Eriksson R, Skarby  
1962  
*A simplified method of axillary block.*  
Nord Med 68:1325
- 40.** Fanelli G, Casati A, Garancini P, Torri G  
1999  
*Nerve stimulator and multiple injection technique for upper and lower limb blockade: failure rate, patient acceptance and neurological complications.*  
Regional Anesthesie. Anesth Analg 88: 847-852
- 41.** Fornage BD.  
1988  
*Peripheral nerves of the extremities: imaging with US.*  
Radiology. 167(1):179-82
- 42.** Fornage BD, Rifkin MD.  
1988  
*Ultrasound examination of the hand and foot.*  
Radiol Clin North Am. 26(1):109-29
- 43.** Ford DJ, Pither CE, Raj PP.  
1984  
*Comparison of insulated and uninsulated needles for locating peripheral nerves with a peripheral nerve stimulator.*  
Anaesth Analg; 63: 925-928
- 44.** Gaertner E, Kern O, Mahoudeau G, Freys G, Golfetto T, Calon B.

- 1999  
*Block of the brachial plexus branches by the humeral route. A prospective study in 503 ambulatory patients. Proposal of a nerve-blocking sequence.*  
 Acta Anaesthesiol Scand. 43(6):609-13
- 45.** Geiser Th., D. Lang, M. Neuburger, B. Ott, P. Augat, J. Büttner  
 2009  
*Ultraschall-gestützte versus Nervenstimulator-gesteuerte Blockade des axillären Plexus – eine prospektive, randomisierte, Untersucher-verblindete Untersuchung an 112 Patienten*  
 HAI 2009, Posterpresentation
- 46.** Goldberg ME, Gregg C, Larijani GE, Norris MC, Marr AT, Seltzer JL.  
 1987  
*A comparison of three methods of axillary approach to brachial plexus blockade upper extremity surgery.*  
 Anesthesiology. 66(6):814-6
- 47.** Grau T.  
 2005  
*Ultrasonography in the current practice of regional anaesthesia.*  
 Best Pract Res Clin Anaesthesiol. 19(2):175-200
- 48.** Grau Th, Mäcken T  
 2009  
 Ultraschallgestützte Punktionen in der Anästhesiologie, 2. Auflage,  
 Medical Publishing Verlag, Nekargemünd
- 49.** Grau T, Satehi S, Motsch J, Bartussek E  
 2004  
*Umfrage zur aktuellen Situation der Regionalanästhesie im deutschsprachigen Raum.*  
 Anaesthesist 53: 847-855
- 50.** Gray AT.  
 2006  
*Ultrasound-guided regional anesthesia: current state of the art.*  
 Anesthesiology. 104(2):368-73
- 51.** Greher M, Retzl G, Niel P, Kamolz L, Marhofer P, Kapral S.  
 2002  
*Ultrasonographic assessment of topographic anatomy in volunteers suggests a modification of the infraclavicular vertical brachial plexus block.*  
 Br J Anaesth. 88(5):632-6
- 52.** Groh GI, Gainor BJ, Jeffries JT, Brown M, Eggers GW Jr.  
 1990  
*Pseudoaneurysm of the axillary artery with median-nerve deficit after axillary block anesthesia. A case report.*

J Bone Joint Surg Am. 72(9):1407-8

- 53.** Hebl JR. Peripheral nerve injury. In: Neal JM, Rathmell JP  
2007  
*Complications in Regional Anesthesia and Pain Medicine.*  
Philadelphia: Saunders Elsevier; pp. 125–140
- 54.** Hebl JR, Horlocker TT, Sorenson EJ, Schroeder DR.  
2001  
*Regional anesthesia does not increase the risk of postoperative neuropathy in patients undergoing ulnar nerve transposition.*  
Anesth Analg.;93:1606–1611
- 55.** Hepp M, King R.  
2000  
*Transarterial technique is significantly slower than the peripheral nerve stimulator technique in achieving successful block.*  
Reg Anesth Pain Med. 25(6):660-1
- 56.** Hirschel G  
1911  
*Die Anästhesierung des Plexusbrachialis bei Operationen an der oberen Extremität.*  
MMW 58: 1555-1556
- 57.** Hopkins PM.  
2007  
*Ultrasound guidance as a gold standard in regional anaesthesia.*  
Br J Anaesth. 98(3):299-301
- 58.** Horlocker TT, Kufner RP, Bishop AT, Maxson PM, Schroeder DR.  
1999  
*The risk of persistent paresthesia is not increased with repeated axillary block.*  
Anesth Analg.;88:382–387
- 59.** Inberg P, Annala I, Annala P.  
1999  
*Double-injection method using peripheral nerve stimulator is superior to single injection in axillary plexus block.*  
Reg Anesth Pain Med. 24(6):509-13
- 60.** Kaiser H aus Niesel HC, van Aken H.  
2003  
*Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie.*  
Thieme, 142
- 61.** Kapral S, Greher M, Huber G, Willschke H, Kettner S, Kdolsky R, Marhofer P.  
2008

*Ultrasonographic guidance improves the success rate of interscalene brachial plexus blockade.*

Reg Anesth Pain Med. 33(3):253-8

- 62.** Kapral S, Marhofer P.  
2002  
*Ultrasound in local anaesthesia. Part II: ultrasound-guided blockade of peripheral nerve channels.*  
Anaesthesist. 51(12):1006-14
- 63.** Kapral S, Marhofer P, Grau T  
2002  
*Ultrasound in local anaesthesia. Part I: technical developments and background.*  
Anaesthesist. 51(11):931-7
- 64.** Kefalianakis F.  
2005  
*Ultrasound for peripheral neural block.*  
Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther. 40(3):142-9
- 65.** Kefalianakis F.  
2006  
*Leitfaden Sonografie für Anästhesisten.*  
1. Aufl., Thieme, Stuttgart.
- 66.** Kefalianakis F, Spohner F.  
2005  
*Ultrasound-guided blockade of axillary plexus brachialis for hand surgery.*  
Handchir Mikrochir Plast Chir. 37(5):344-8
- 67.** Kilka HG, Geiger P  
1995  
*Die vertikale infraclavikuläre Blockade des Plexus brachialis.*  
Anaesthesist, , 44:339-344
- 68.** Koscielniak-Nielsen ZJ.  
2008  
*Ultrasound-guided peripheral nerve blocks: what are the benefits?*  
Acta Anaesthesiol Scand. 52(6):727-37
- 69.** Koscielniak-Nielsen ZJ, Hesselbjerg L, Fejlberg V.  
1998  
*Comparison of transarterial and multiple nerve stimulation techniques for an initial axillary block by 45 mL of mepivacaine 1% with adrenaline.*  
Acta Anaesthesiol Scand. 42(5):570-5
- 70.** Koscielniak-Nielsen ZJ, Nielsen PR, Nielsen SL, Gardi T, Hermann C.  
1999



- Comparison of transarterial and multiple nerve stimulation techniques for axillary block using a high dose of mepivacaine with adrenaline.*  
Acta Anaesthesiol Scand. 43(4):398-40
- 71.** Koscielniak-Nielsen ZJ, Rotbøll Nielsen P, Sørensen T, Stenør M  
1999  
*Low dose axillary block by targeted injections of the terminal nerves.*  
Can J Anaesth 46: 658–664
- 72.** Koscielniak-Nielsen ZJ, Stens-Pedersen HL, Lippert FK  
1997  
*Readiness for surgery after axillary block: single or multiple injection techniques.*  
Eur J Anaesthesiol 14:164-171
- 73.** Krebs P  
1987  
*Die hohe kontinuierliche axilläre Plexus-brachialis-Anästhesie.*  
Reg Anaesth 10:1-15
- 74.** Krebs P, Hempel V  
1984  
*Eine neue Kombinationsnadel für die hohe axilläre Plexusbrachialis-Anästhesie.*  
Anaesth Intensivmed 25:219–222
- 75.** Krieter H., Russ N., Denz C., van Ackern K  
2003  
*Erwartungen und Wünsche anästhesiologischer Patienten: Welche Faktoren tragen zur Zufriedenheit bei?*  
Anaesthesiol Intensivmed 44: 43-49
- 76.** Kufner RP, Horlocker TT, Schroeder DR.,  
1997  
*Is the incident of persistent paresthesias increased with repeated brachial plexus blockade.*  
Regional Anästhesie Vol.22, No 2S March-April Suppl.
- 77.** Kulenkampff D  
*Die Anästhesierung des Plexus brachialis.*  
Zentralbl Chir 38:1337
- 78.** La Grange P, Foster PA, Pretorius LK.  
1978  
*Application of the Doppler ultrasound bloodflow detector in supraclavicular brachial plexus block.*  
Br J Anaesth. ;50(9):965-7
- 79.** Lavoie J, Martin R, Tétrault JP, Côté DJ, Colas MJ.  
1992  
*Axillary plexus block using a peripheral nerve stimulator: single or multiple Injections.*

- Can J Anaesth. 39(6):583-6
- 80.** Lee L, Posner KL, Chaney FW, Caplan RA, Domino KB.  
2008  
*Complications associated with eye blocks and peripheral nerve blocks: an ASA closed-claims analysis.*  
Reg Anesth Pain Med.;33:416–422
- 81.** Lee LA, Posner KL, Domino KB, Caplan RA, Cheney FW.  
2004  
*Injuries associated with regional anesthesia in the 1980s and 1990s.*  
Anesthesiology.;101:143–152
- 82.** Liguori GA, Zayas VM, YaDeau JT, Kahn RL, Paroli L, Buschiazio V, et al.  
2006  
*Nerve localization techniques for interscalene brachial plexus blockade: a prospective, randomized comparison of mechanical paresthesia versus electrical stimulation.*  
Anesth Analg.;103:761–777
- 83.** Liu FC, Liou JT, Tsai YF, Li AH, Day YY, Hui YL, Lui PW.  
2005  
*Efficacy of ultrasound-guided axillary brachial plexus block: a comparative study with nerve stimulator-guided method.*  
Chang Gung Med J. 28(6):396-402
- 84.** Lo N, Brull R, Perlas A, Chan VW, McCartney CJ, Sacco R, El-Beheiry H.  
2008  
*Evolution of ultrasound guided axillary brachial plexus blockade: retrospective analysis of 662 blocks.*  
Can J Anaesth. 55(7):408-13
- 85.** Lullies H. Nervenphysiologie. In: Keidel WD.  
1975  
*Kurzgefasstes Lehrbuch der Physiologie.*  
Stuttgart: Thieme: 14-19
- 86.** Macaire P, Singelyn F, Narchi P, Paqueron X.  
2008  
*Ultrasound- or nerve stimulation-guided wrist blocks for carpal tunnel release: a randomized prospective comparative study.*  
Reg Anesth Pain Med. 33(4):363-8
- 87.** Manickam BP, Perlas A, Chan VW, Brull R.  
2008  
*The role of a preprocedure systematic sonographic survey in ultrasound-guided regional anesthesia.*  
Reg Anesth Pain Med. 33(6):566-70

88. Marhofer P, Greher M, Kapral S.  
2005  
*Ultrasound guidance in regional anaesthesia.*  
Br J Anaesth. 94 (1):7-17
89. Marhofer P, Sitzwohl C, Greher M, Kapral S.  
2004  
*Ultrasound guidance for infraclavicular brachial plexus anaesthesia in children.*  
Anaesthesia. 59(7):642-6
90. Meier G, Büttner J (Hrsg)  
2006  
*Atlas der peripheren Regionalanästhesie*  
2. akt. Und erw. Aufl., Thieme, Stuttgart New York
91. Büttner J, Meier G  
2008  
*Kompendium Regionalanästhesie.*  
6. erweiterte Auflage, Arcis-Verlag
92. Meier G, Büttner J  
2006  
*Perivaskuläre „Single-Injection“-Technik.* In: Meier G, Büttner J (Hrsg)  
*Atlas der peripheren Regionalanästhesie*  
2. akt. Und erw. Aufl. Thieme, Stuttgart New York, S. 58-64
93. Meier G, Maurer H, Bauereis C.  
2003  
*Axillary brachial plexus block. Anatomische Untersuchungen zur Verbesserung der Blockade des Nervus radialis.*  
Anaesthesist 52:535–539
94. Moore DC  
1965  
*Regional Block*  
4 th Edition. Sprigfeld,
95. Morros C, Pérez-Cuenca MD, Sala-Blanch X, Cedó F.  
2009  
*Contribution of ultrasound guidance to the performance of the axillary brachial plexus block with multiple nerve stimulation.*  
Rev Esp Anesthesiol Reanim. 56(2):69-74
96. 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.*  
Reg Anesth Pain Med. 34(2):134-70

97. Neal JM, Hebl JR, Gerancher JC, Hogan QH.  
2002  
*Brachial plexus anesthesia: essentials of our current understanding.*  
Reg Anesth Pain Med. 27(4):402-28
98. Netter FH.  
1995  
*Atlas der Anatomie des Menschen.*  
Basel, Schweiz: Ciba-Geigy AG.
99. Neuburger M, Gültlinger O, Åss B, Büttner J, Kaiser H  
2005  
*Einfluss der Blockade mit Lokalanästhetika auf die Stimulierbarkeit  
eines Nerven mit der peripheren Nervenstimulation.*  
Anaesthesist · 54:575–577
100. Neuburger M, Kaiser H, Rembold-Schuster I, Landes H  
1998  
*Vertikale infraklavikuläre Plexus-brachialis-Blockade.*  
Anaesthesist 47: 595–599
101. Neuburger M, Rotzinger M, Kaiser H.  
2001  
*Elektrische Nervstimulation in Abhängigkeit von der benutzten Impulsbreite.  
Eine quantitative Untersuchung zur Annäherung der Nadelspitze an den Nerv.*  
Anaesthesist; 50: 181-186
102. Niesel HC, van Aken H.  
2003  
*Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie.*  
Thieme; 142
103. Ott B, Neuberger L, Frey HP.  
1989  
*Obliteration of the axillary artery after axillary block.*  
Anaesthesia. 44(9):773-4
104. Partridge B, Katz J, Benirschke K  
1987  
*Functional anatomy of the brachial plexus sheath: implications for anesthesia.*  
Anesthesiology 66:743–747
105. Pearce H, Lindsay D, Leslie K.  
1996  
*Axillary brachial plexus block in two hundred consecutive patients.*  
Anaesth Intensive Care. 24(4):453-8
106. Perlas A, Chan VW, Simons M.  
2003

*Brachial plexus examination and localization using ultrasound and electrical stimulation: a volunteer study.*  
Anesthesiology. 99(2):429-35

- 107.** Perlas A, Niazi A, McCartney C, Chan V, Xu D, Abbas S.  
2006  
*The sensitivity of motor response to nerve stimulation and paresthesia for nerve localization as evaluated by ultrasound.*  
Reg Anesth Pain Med. 31(5):445-50
- 108.** Perthes G  
1912  
*Über Leitungsanästhesie unter Zuhilfenahme elektrischer Reizung.*  
Münch Med Wschr, 47:2545-2551
- 109.** Pitkin GP.  
*Conduction Anesthesia*  
Editors Southworth, JL, Hingson RA. Philadelphia, J.B.  
Lippincott company, 1946, ed. 1, 448
- 110.** Pfeiffer K, Weiss O, Krodel U, Hurtienne N, Kloss J, Heuser D.  
2008  
*Ultrasound-guided perivascular axillary brachial plexus block. A simple, effective and efficient procedure.*  
Anaesthesist. 57(7):670-6
- 111.** Retzl G, Kapral S, Greher M, Mauritz W.  
2001  
*Ultrasonographic findings of the axillary part of the brachial plexus.*  
Anesth Analg. 92(5):1271-5
- 112.** Riegler FX.  
1992  
*Brachial plexus block with the nerve stimulator: motor response characteristics at three sites.*  
Reg Anesth. 17(5):295-9
- 113.** Royse CE, Sha S, Soeding PF, Royse AG.  
2006  
*Anatomical study of the brachial plexus using surface ultrasound.*  
Anaesth Intensive Care. 34(2):203-10
- 114.** Sáinz López J, Prat Vallribera A, Seguí Pericas M, Samà Pujolar A, Calleja Abad M, Sabater Recolons J, Codina Graño D.  
2006  
*Ultrasound-guided supraclavicular brachial plexus block with small volumes of local anesthetic: technical description and analysis of results.*  
Rev Esp Anestesiol Reanim. 53(7):400-7

- 115.** Sample WF, Mitchell SP, Bledsoe RC.  
1978  
*Parathyroid ultrasonography.*  
Radiology; 127: 485-490
- 116.** Sandhu NS, Capan LM.  
2002  
*Ultrasound-guided infraclavicular brachial plexus block.*  
Br J Anaesth. 89(2):254-9
- 117.** Sandhu NS, Manne JS, Medabalmi PK, Capan LM.  
2006  
*Sonographically guided infraclavicular brachial plexus block in adults: a retrospective analysis of 1146 cases.*  
J Ultrasound Med. 25(12):1555-61
- 118.** Sauter AR, Dodgson MS, Stubhaug A, Halstensen AM, Klaastad Ø  
2008  
*Electrical nerve stimulation or ultrasound guidance for lateral sagittal infraclavicular blocks: a randomized, controlled, observer-blinded, comparative study.*  
Anesth Analg. 106(6):1910-5
- 119.** Schroeder LE, Horlocker TT, Schroeder DR.  
1996  
*The efficacy of axillary block for surgical procedures about the elbow.*  
Anesth Analg. 83(4):747-51
- 120.** Schwemmer U, Markus CK, Greim CA, Brederlau J, Roewer N.  
2005  
*Ultrasound-guided anaesthesia of the axillary brachial plexus: efficacy of multiple injection approach.*  
Ultraschall Med. 26(2):114-9
- 121.** Schwemmer U, Schleppers A, Markus C, Kredel M, Kirschner S, Roewer N.  
2006  
*Operative management in axillary brachial plexus blocks: comparison of ultrasound and nerve stimulation.*  
Anaesthesist. 55(4):451-6
- 122.** Selander D  
1977  
*Catheter technique in axillary plexus block.*  
Acta Anaesthesiol Scand 21:324–329
- 123.** Shepard DG, Iyer RB, Fenstermacher MJ.  
1998  
*Brachial plexus: demonstration at US.*

Radiology. 208(2):402-6

- 124.** Sia S, Bartoli M, Lepri A, Marchini O, Poncecchi P  
2000  
*Multiple-Injection Axillary Brachial Plexus Block: A Comparison of Two Methods of Nerve Localization–Nerve Stimulation Versus Paresthesia.*  
Anesth Analg 91:647-651
- 125.** Silvestri E, Martinoli C, Derchi LE, Bertolotto M, Chiaramondia M, Rosenberg I.  
1995  
*Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria to differentiate tendons.*  
Radiology. 197(1):291-6
- 126.** Sites BD, Beach ML, Spence BC, Wiley CW, Shiffrin J, Hartman GS, Gallagher JD.  
2006  
*Ultrasound guidance improves the success rate of a perivascular axillary plexus block.*  
Acta Anaesthesiol Scand. 50(6):678-84
- 127.** Soeding PE, Sha S, Royse CE, Marks P, Hoy G, Royse AG.  
2005  
*A randomized trial of ultrasound-guided brachial plexus anaesthesia in upper limb surgery.*  
Anaesth Intensive Care. Dec;33(6):719-25
- 128.** Solbiati L, De Pra L, Ierace T, Bellotti E, Derchi LE.  
1985  
*High-resolution sonography of the recurrent laryngeal nerve: anatomic and pathologic considerations.*  
AJR Am J Roentgenol. 145(5):989-93
- 129.** Stan TC, Krantz MA, Solomon DL, Poulos JG, Chaouki K.1  
1995  
*The incidence of neurovascular complications following axillary brachial plexus block using a transarterial approach. A prospective study of 1,000 consecutive patients.*  
Reg Anesth. 20(6):486-92
- 130.** Thompson GE, Rorie DK  
1983  
*Functional anatomy of the brachial plexus heath.*  
Anesthesiology 59:117–122
- 131.** Ting PL, Sivagnanaratnam V.  
1989  
*Ultrasonographic study of the spread of local anaesthetic during axillary brachial plexus block.*

Br J Anaesth. 63(3):326-9

- 132.** Tsai TP, Vuckovic I, Dilberovic F, Obhodzas M, Kapur E, Divanovic KA, Hadzic  
2008  
*Intensity of the stimulating current may not be a reliable indicator of intraneural needle placement.*  
Reg Anesth Pain Med. 33(3):207-10
- 133.** Urban MK, Urquhart B.  
1994  
*Evaluation of brachial plexus anesthesia for upper extremity surgery.*  
Reg Anesth.;19:175–182
- 134.** Walker KJ, McGrattan K, Aas-Eng K, Smith AF.  
2009  
*Ultrasound guidance for peripheral nerve blockade.*  
Cochrane Database Syst Rev. 7;(4):CD006459.
- 135.** Williams SR, Chouinard P, Arcand G, Harris P, Ruel M, Boudreault D, Girard F.  
2003  
*Ultrasound guidance speeds execution and improves the quality of supraclavicular block.*  
Anesth Analg. 97(5):1518-23
- 136.** Winnie AP  
1984  
*Plexus anaesthesia, vol I, Perivascular techniques of brachial plexus block.*  
Churchill Livingstone, Edinburgh London Melbourne New York
- 137.** Winnie A  
1993  
*Plexus anaesthesia: perivascular techniques of brachial plexus blockade.*  
Medioglobe SA, Fribourg, Switzerland 100
- 138.** Winnie AP.  
1995  
*Does the transarterial technique of axillary block provide a higher success rate and a lower complication rate than a paresthesia technique? New evidence and old.*  
Reg Anesth. 20(6):482-5
- 139.** Winnie AP, Radonjic R. Akkineni SR, Durrani Z  
1979  
*Factors influencing distribution of local anesthetic injected into the brachial plexus sheath.*  
Anaesth Analg 58: 225-234



- 140.** Zipkin M, Backus WW, Scott B, Poppers PJ.  
1991  
*False aneurysm of the axillary artery following brachial plexus block.*  
J Clin Anesth. 3(2):143-5