

Aus der Klinik für Anästhesiologie
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Die ultraschallgesteuerte supraclaviculäre Blockade des Plexus brachialis
– eine prospektive Anwendungsbeobachtung zur Qualitätssicherung

Inauguraldissertation
Zur Erlangung des Doktorgrades der
Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Hanna Schröder
aus Leverkusen

Mainz, 2022

Tag der Promotion:

06. Dezember 2022

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	6
Abbildungsverzeichnis.....	8
Tabellenverzeichnis.....	9
I) Einleitung	10
II) Literaturdiskussion	11
2.1 Die Entstehung regionalanästhesiologischer Verfahren der oberen Extremität	11
2.2 Technische Verfahren der Regionalanästhesien.....	13
2.3 Der Stellenwert peripherer Regionalanästhesien in der klinischen Praxis	15
2.4 Plexus brachialis – Anatomie und Funktion.....	16
2.5 Regionalanästhesiologische Blockaden des Plexus brachialis.....	18
2.5.1 Interscalenäre Blockade und alternative Zugänge	19
2.5.2 Supraclaviculäre Blockade.....	20
2.5.3 Infraclaviculäre Blockade	21
2.5.4 Axilläre Blockade	21
2.5.5 Distale Nervenblockaden	22
2.6 Kontraindikationen	23
2.7 Topographische Beziehung des Plexus brachialis zu seinen Leitstrukturen	24
2.8 Komplikationen	26

III) Material und Methoden.....	28
3.1 Studiendesign	28
3.2 Datenerhebung	28
3.3 Patientenkollektiv	30
3.4 Erfasste Aspekte.....	30
3.5 Durchführung der supraclaviculären Blockade des Plexus brachialis	30
3.6 Durchführung der kombinierten supraclaviculären-interscalenären Blockade des Plexus brachialis	32
3.7 Vorgehen bei insuffizienten Plexusblockaden	33
3.8 Datenauswertung.....	33
IV) Ergebnisse.....	34
4.1 Studienkohorte.....	34
4.2 Erfolgsrate	35
4.2.1 Erfolgsrate nach Blockadetechnik.....	37
4.2.2 Erfolgsrate nach patientenspezifischen und fallspezifischen Einflussfaktoren	38
4.3 Analgosedierung	42
4.4 Eingriffslokalisierung	43
4.5 Motorische Blockaden.....	45
4.6 Komplikationen	46
4.7 Patientenzufriedenheit	48

V) Diskussion	49
5.1 Patienten- und fallspezifische Einflussfaktoren	52
5.2 Komplikationen	56
5.3 Die supraclaviculäre Blockade bei chirurgischen Eingriffen der Schulter	59
5.4 Die kombiniert supraclaviculäre-interscalenäre Blockade	61
5.5 Regionalanästhesiologische Blockaden der oberen Extremität im Vergleich...	63
VI) Zusammenfassung	66
Literaturverzeichnis	68
Anhang.....	76

Abkürzungsverzeichnis

BPB	Brachial Plexus Block
AXB	Axilläre Blockade(n)
ICB	Infraclaviculäre Blockade(n)
ISB	Interscalenäre Blockade(n)
SCB	Supraclaviculäre Blockade(n)
SCB/ISB	Kombiniert supraclaviculäre-interscalenäre Blockade(n)
A.	Arteria
ASA	American Society of Anesthesiologists
AnästhesistInnen	Anästhesisten und/oder Anästhesistinnen
AnwenderInnen	Anwender und/oder Anwenderinnen
ÄrztInnen	Ärzte und/oder Ärztinnen
BMI	Body-Mass-Index
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
cm	Centimeter
Def.	Definition
EKG	Elektrokardiogramm
et al.	et alii (und Andere)
h	Stunden
ITN	Intubationsnarkose
i.v.	intravenös
Jhdt.	Jahrhundert
kg	Kilogramm
KandidatInnen	Kandidaten und/oder Kandidatinnen
LA	Lokalanästhetikum oder Lokalanästhetika
LM	Larynxmaske
m	männlich
m ²	Quadratmeter
M.	Musculus
Min.	Minuten

ml	Milliliter
mm	Millimeter
Mm.	Musculi
MedizinerInnen	Mediziner und/oder Medizinerinnen
n	Absolutwert, Größe der Stichprobe
N.	Nervus
Nn.	Nervi
NS	Nervenstimulator/Neurostimulator
OP	Operation
OperateurInnen	Operateure und/oder Operateurinnen
p	Überschreitungswahrscheinlichkeit, statistisch
PatientInnen	Patienten und/oder Patientinnen
s.	siehe
S.	Seite
SS	single shot
s.o.	siehe oben
SOP	standard operation procedures
s.u.	siehe unten
TeilnehmerInnen	Teilnehmer und/oder Teilnehmerinnen
u.a.	unter anderem
US	Ultraschall
V.	Vena
vgl.	vergleiche
vs.	versus
w	weiblich
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
µm	Mikrometer
&	und

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Plexus brachialis	16
Abbildung 2: Idealierte Darstellung der Blockadetechniken des Plexus brachialis und ihrer Zielstrukturen sowie ihre erwartete Oberflächenanästhesie.....	18
Abbildung 3: Sonographische Darstellung des supraclaviculären Plexus brachialis ..	24
Abbildung 4: Fragebogen	29
Abbildung 5: Erfolgsrate SCB und SCB/ISB	35
Abbildung 6: Vorgehensweisen bei insuffizienten Plexusblockaden	36
Abbildung 7: Ursachen insuffizienter Plexusblockaden.....	36
Abbildung 8: Vergleich der SCB-Schnitt-Zeit suffizienter gegenüber insuffizienter Blockaden	38
Abbildung 9: Vergleich der Anzahl durchgeführter Plexusblockaden (SCB) suffizienter gegenüber insuffizienter Blockaden.....	39
Abbildung 10: Vergleich des BMI suffizienter gegenüber insuffizienter Blockaden ...	40
Abbildung 11: Vergleich des Plexus-Haut-Abstandes suffizienter gegenüber insuffizienter Blockaden	40
Abbildung 12: Vergleich der injizierten Prilocain-Menge suffizienter gegenüber insuffizienter Blockaden bei SCB.....	41
Abbildung 13: Eingriffslokalisationen kumulativ bei SCB und SCB/ISB	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Patientencharakteristika.....	34
Tabelle 2: Erfolgsrate nach Blockadetechnik.....	37
Tabelle 3: (Analgo-)sedativa.....	42
Tabelle 4: Erfolgsraten SCB in Abhängigkeit von ihrer Eingriffslokalisation	44
Tabelle 5: Erfolgsraten SCB/ISB in Abhängigkeit von ihrer Eingriffslokalisation	44
Tabelle 6: Motorische Blockaden in Abhängigkeit von der Blockadetechnik	45
Tabelle 7: Komplikationen unterteilt nach SCB und SCB/ISB	46
Tabelle 8: Auftritt eines Horner-Syndroms im Vergleich SCB und SCB/ISB	47
Tabelle 9: Patientenzufriedenheit	48

I) Einleitung

Die Anfänge peripherer Regionalanästhesien des Plexus brachialis finden sich bereits Ende des 19. Jahrhunderts. Neben der Darstellung verschiedener Zugangswege, verschafften sich diese vor allem durch Optimierung technischer Verfahren einen bedeutsamen Stellenwert. So profitieren PatientInnen heutzutage unter anderem von einer überlegenen postoperativen Analgesie [1][2] und einem verminderten perioperativen Risiko gegenüber einer Allgemeinanästhesie. Mehrheitlich werden mit der interscalenären, supraclaviculären, infraclaviculären und axillären Blockade die wichtigsten Zugangsmöglichkeiten zum Plexus brachialis für chirurgische Interventionen der oberen Extremität benannt, welche sich in der aktuellen Literatur insbesondere hinsichtlich Indikationen und Komplikationen überschneiden. Die Wahl einer geeigneten peripheren Regionalanästhesie stellt daher weiterhin viele AnwenderInnen vor eine Herausforderung. Wenngleich die ultraschallgesteuerte supraclaviculäre Plexusblockade vielerorts zu einem beliebten anästhesiologischen Routineverfahren zählt, rückten klinisch relevante Komplikationen diese, speziell vor Einführung der Sonographie, lange Zeit in den Hintergrund und beeinflussen ihre Anwendung bis dato.

In dieser prospektiven Arbeit sollen mit Hilfe eines großen Patientenkollektivs Erfolgs- und Komplikationsraten einer ultraschallgesteuerten SCB erhoben und ihre klinische Relevanz auf dieser Grundlage neu herausgestellt werden. Weiterführend soll der Einfluss einer kombinierten Plexusblockade von SCB und ISB bei proximalen Eingriffen der oberen Extremität gegenüber einer isolierten SCB betrachtet werden. Vergleichbare Studien sind in der aktuellen Literatur bislang unterrepräsentiert und der Nutzen kombinierter Plexusblockaden von SCB und ISB im Verhältnis zu Komplikationsraten ungenügend beschrieben. Zuletzt wird die Bestimmung möglicher Einflussfaktoren auf die Blockadequalität von SCB und SCB/ISB - zum Beispiel die Tiefe des Plexus brachialis supraclaviculär (Plexus-Haut-Abstand) oder der Erfahrungsgrad der Durchführenden – angestrebt, um künftig Risikofaktoren bei der Anlage zu eruieren und Empfehlungen für die Praxis abzuleiten.

II) Literaturdiskussion

2.1 Die Entstehung regionalanästhesiologischer Verfahren der oberen Extremität

Die Anwendung peripherer Regionalanästhesien wie sie heutzutage praktiziert wird, ist über das letzte Jahrhundert hinweg vielfach modifiziert und revolutioniert worden und aus der klinischen Anästhesiologie nicht mehr wegzudenken.

Die Chirurgen Halsted und Hall zeigten Ende des 19. Jhdt. mit ihren Studien, Nerven unter Verwendung von Cocain gezielt zu anästhesieren, bis dahin unbekannt Möglichkeiten auf. In initialen Versuchen an seinen Studenten konnte Halsted belegen, dass die Injektion einer Cocainlösung entlang des Nervenverlaufs zu einer Anästhesie des innervierten Gebietes führt. So wurde zu Beginn der 1880er Jahre die Blockade des Plexus brachialis auf Höhe seiner Trunci beschrieben und kleinere schmerzlose Operationen an der oberen Extremität möglich gemacht. [3]

Basierend auf diesen Entwicklungen dokumentierten Kulenkampff und Hirschel nahezu zeitgleich im Jahre 1911 transkutane supraclaviculäre bzw. axilläre Zugänge zum Plexus brachialis, [4][5] welche, neben dem kurze Zeit später beschriebenen infraclaviculären Zugang, [6] Einzug in die klinische Praxis fanden.

Dabei erhielt die axilläre Blockade initial nur wenig Zuspruch. Erst Burnhams Beschreibung eines *neurovaskulären Raumes* 1959 rückte diese erneut in den Vordergrund. [7] Er entdeckte erstmalig eine gemeinsame Nerv-Gefäß-Hülle in der axillären Region und half den AnwenderInnen durch charakteristisches Durchdringen der Faszie mit der Punktionsnadel, die bessere Lokalisierung der Zielstrukturen. [8]

Diese Entdeckung ermöglichte Winnie und Collins weiterführend die supraclaviculäre Anwendung des Verfahrens (*Subclavian Perivascular Technique*) und die Empfehlung, nur einmalig eine ausreichende Menge Lokalanästhetikums in die Bindegewebshülle zu applizieren, um so den gewünschten Blockadeerfolg zu erzielen. [9]

Noch heute gilt die topographische Beziehung von Nerven und arterieller Versorgung zueinander als wichtige Orientierung im Rahmen der Anlagen.

Schließlich stellte Winnie 1970 seine interscalenäre Blockade vor und schuf mit Eingriffen an der proximalen oberen Extremität ein neues Anwendungsspektrum der Regionalanästhesie, [10] obgleich bereits Anfang des 20. Jhdt. erste posteriore

interscalenäre Zugangstechniken beschrieben wurden. [8]

Allen Zugangswegen gemeinsam scheint die wechselnde Popularität im Verlauf der Jahre und die Beschreibung diverser Variationen im Rahmen der Anlage zu sein, mit dem Ziel, Erfolgsraten zu erhöhen und Komplikationsraten zu minimieren. So fanden sich beispielhaft mit der plumb bob-Technik nach Brown [11] und der modifizierten Technik nach Meier [12] Abwandlungen in der Anwendung supraclaviculärer und interscalenärer Blockaden.

2.2 Technische Verfahren der Regionalanästhesien

Die Etablierung neuer, sicherer und standardisierter technischer Möglichkeiten bildete die Grundlage für die flächendeckende Anwendung regionalanästhesiologischer Verfahren heutzutage.

Die, die erste Hälfte des vorherigen Jahrhunderts dominierte *Parästhesietechnik*, erforderte das Aufsuchen von Zielstrukturen durch genaue Kenntnis anatomischer Landmarken. Genauer, zeichnete sie sich durch das blinde Vorschieben einer Punktionsnadel aus, was eine – durch den Nadel-Nerv-Kontakt hervorgerufene – obligate Parästhesie auslöste und somit Bedingung für eine erfolgreiche Blockade darstellte. [13] War jedoch dazu eine Kooperation der PatientInnen Voraussetzung, gelang erst durch die Verwendung eines Nervenstimulators eine objektivierbare Lokalisation einzelner Nerven(-geflechte) und hatte damit eine mögliche Anwendung unter Sedation und eine Reduktion von Lokalanästhetikum zum Vorteil [14] – so findet die Neurostimulation bis heute ihre Zuwendung. Allerdings konnten Perlas et al. [15] in einer Studie aus dem Jahre 2006 demonstrieren, dass ein sonographisch verifizierter Nadel-Nerv-Kontakt nur in 38,2% zu einer Parästhesie und in 74,5% zu einer motorischen Reizantwort geführt hat, wodurch die Sicherheit dieser Verfahren in Frage gestellt wurde.

Den Meilenstein in der Ära der Regionalanästhesie stellt unumstritten die Einführung der Sonographie dar, welche dieser zu großer Popularität verhalf. La Grange et al. [16] dokumentierten 1978 erstmalig in der Literatur den Einsatz der Doppler-Sonographie bei der Durchführung SCB und erzielten hierbei hohe Erfolgsraten. Ein direkter Gebrauch der (2-dimensionalen) Sonographie im Rahmen supraclaviculärer und axillärer Blockaden wurde allerdings erst später beschrieben. [17] Die exakte Visualisierung der Punktionsnadel und ihrer umliegenden Strukturen reduzierte Komplikationen [18] und erhöhte die Effizienz der Blockaden. So ließ sich begründen, weshalb sich der bis dahin gefürchtete Auftritt eines Pneumothorax reduzieren ließ, welcher der SCB lange einen obsoleten Stand verlieh. [19, S. 86]

Obgleich die Überlegenheit der Sonographie vielfach belegt werden konnte, zeigten einige Arbeiten kontroverse Ergebnisse auf. So führte eine Studie von Liu et al. [20] zu nicht signifikant geringeren Inzidenzen postoperativer neurologischer Symptome im Vergleich von ultraschall- zu neurostimulatorbasierten interscalenären Blockaden. Auch Sauter et al. [21] konnten keine signifikant erhöhten Erfolgsraten in der

Gegenüberstellung beider Verfahren nachweisen, wenngleich der Unterschied nicht unerheblich schien (Erfolgsrate US-Verfahren 95% vs. NS-Verfahren 85%).

Die Effizienz ultraschallgestützter peripherer Blockaden zeigte sich jedoch in einer folgenden Metaanalyse - [22] neben eines verringerten Zeitbedarfs in der Durchführung und einer kürzeren Anschlagszeit, fand sich eine verlängerte Wirkdauer im Vergleich zur Neurostimulation.

Zudem ließen sich in einer weiteren Vergleichsstudie von McNaught et al. [23] die Anzahl an Punktionsversuchen, das Lokalanästhetikavolumen und postoperativ aufgetretener Schmerz zugunsten ultraschallgestützter interscalenärer Blockaden reduzieren.

2.3 Der Stellenwert peripherer Regionalanästhesien in der klinischen Praxis

Unter Berücksichtigung punktionsspezifischer Risiken stellen periphere Regionalanästhesien bei der Durchführung operativer Eingriffe an der oberen Extremität nicht nur eine sichere Alternative zur Allgemeinanästhesie dar, [24] sie weisen auch im Vergleich zu dieser entscheidende Vorteile auf.

Durch die Erhaltung von Bewusstsein und Schutzreflexen kann eine invasive Beatmung vermieden und respiratorische Funktionseinschränkungen verringert werden. Der geringe Eingriff in die Hämodynamik vermindert die Belastung des Gesamtorganismus und spiegelt sich u.a. in kürzeren Aufenthalten auf der *post-anesthesia care unit* und früheren Krankenhausentlassungen wider. [25] Speziell bei multimorbiden PatientInnen kann so von einem geringeren perioperativen Risiko ausgegangen werden.

Der Einfluss zentraler Regionalanästhesien konnte in einem groß angelegten Review von Rodgers et al. [26] bereits verdeutlicht werden. Hierbei zeigten PatientInnen nach Erhalt einer Spinal- oder Epiduralanästhesie eine verringerte postoperative Morbidität und Mortalität im Vergleich zu solchen ohne neuroaxiale Blockade.

Weiterführend kommt der Regionalanästhesie innerhalb des Schmerzmanagements eine bedeutsame Rolle zu. Durch kontinuierliche Katheterverfahren lässt sich eine frühe Rehabilitation erreichen und insbesondere in der frühen postoperativen Phase finden sich überlegene Analgesieeffekte. Dies konnten Hadzic et al. [27] bei Schulteroperationen nach Erhalt einer interscalenären Plexusblockade im Vergleich zur Allgemeinanästhesie demonstrieren.

Zuletzt traten mit einem Regionalanästhesieverfahren weniger postoperative Nebenwirkungen wie Übelkeit/Erbrechen oder Sodbrennen auf [2] und PatientInnen zeigten sich mit ihrem Verfahren zufriedener. [28]

2.4 Plexus brachialis – Anatomie und Funktion

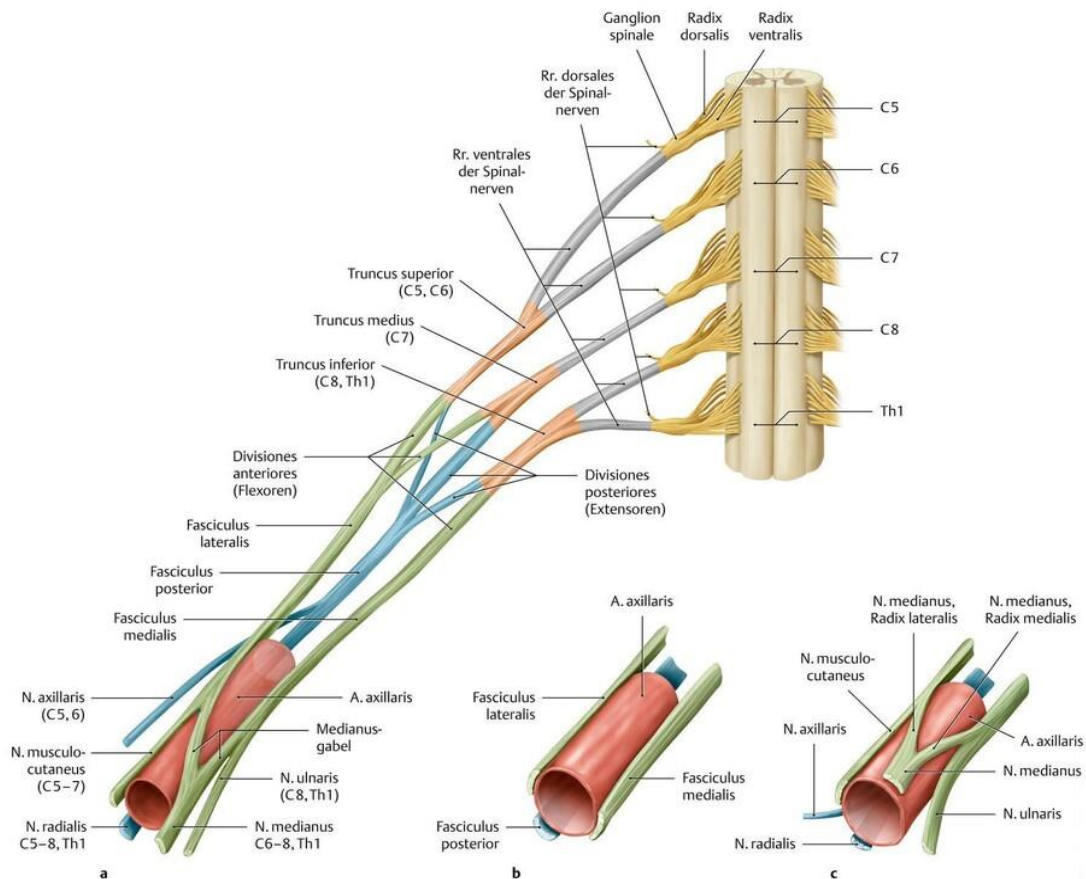


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Plexus brachialis
Quelle: [29, S. 354]

Der Plexus brachialis bildet sich aus den Rami ventrales der Spinalnerven C5-Th1 und versorgt den größten Teil der oberen Extremität motorisch und sensibel. Lediglich die Hautpartien der oberen Schulterregion, der Axelhöhle und des proximalen medialen Oberarmes werden aus Teilen der Nn. supraclaviculares aus dem Plexus cervicalis (vornehmlich C3-4) bzw. durch laterale Äste der Intercostalnerven 2-3 sensibel innerviert. [30]

Lateral der Skalenuslücke bilden die Rami ventrales drei Trunci, welche sich aus folgenden Rückenmarkssegmenten zusammenschließen (vgl. Abbildung 1a):

- Truncus superior aus (C4), C5-6
- Truncus medius aus C7
- Truncus inferior aus C8-Th1, (Th2)

Topographisch bildet der Plexus brachialis oberhalb der Clavicula die Pars supraclavicularis, welcher alle Nerven zugeordnet werden, die als direkte Äste den Rami ventrales bzw. den Trunci entspringen. [29, S. 356] Als dieser angehörig wird der N. suprascapularis beschrieben.

Wie Arad et al. [31] in ihrer Kadaverstudie an 100 humanen Leichnamen veranschaulichen konnten, entspringt der N. suprascapularis jedoch zu etwa 90% meist distaler auf Höhe oder unterhalb der Bifurkation des Truncus superior in seine Divisiones und seltener proximal der Aufzweigung oder als direkter Ast der 5. Wurzel. Neben Innervation der Mm. supraspinatus und infraspinatus gibt dieser sensible Fasern an die Gelenkkapseln des Glenohumeral- und Acromioclaviculargelenkes ab und spielt so in der sensorischen Versorgung der Schulter eine wichtige Rolle.

Nach Aufteilung der Trunci in jeweils drei Divisiones anteriores und posteriores, formatieren sich dorsal des M. pectoralis minor die Fasciculi lateralis, medialis und posterior, welche erst im mittleren Abschnitt der A. axillaris eine ihrer Bezeichnung entsprechende Position zu dieser einnehmen (s. hierzu Abbildung 1b). [30]

Aus den Fasciculi gehen schließlich – gemeinschaftlich als Pars infraclavicularis bezeichnete – periphere Nervenäste hervor und versorgen ihrem Verlauf folgend die obere Extremität auf Höhe und distal der Axilla.

2.5 Regionalanästhesiologische Blockaden des Plexus brachialis

Die regionalanästhesiologische Blockade des Plexus brachialis ist eine effektive Methode, um eine gezielte Anästhesie bestimmter Bereiche der oberen Extremität durchzuführen. [32] Hierbei unterscheiden sich die unterschiedlichen Zugangswege mitunter in ihrem anästhesierten Gebiet. Die operative Eingriffslokalisation bestimmt daher wesentlich die gewählte Methode. Zudem müssen weitere Faktoren wie relevante Kontraindikationen, Expertise der Durchführenden und habituelle Gegebenheiten der PatientInnen berücksichtigt werden.

Die sicherlich in der klinischen Praxis am häufigsten angewendeten BPBs umfassen die ISB, SCB, ICB und AXB. [33] Zusammen mit alternativen Zugängen zum Plexus brachialis werden diese im Folgenden vorgestellt.

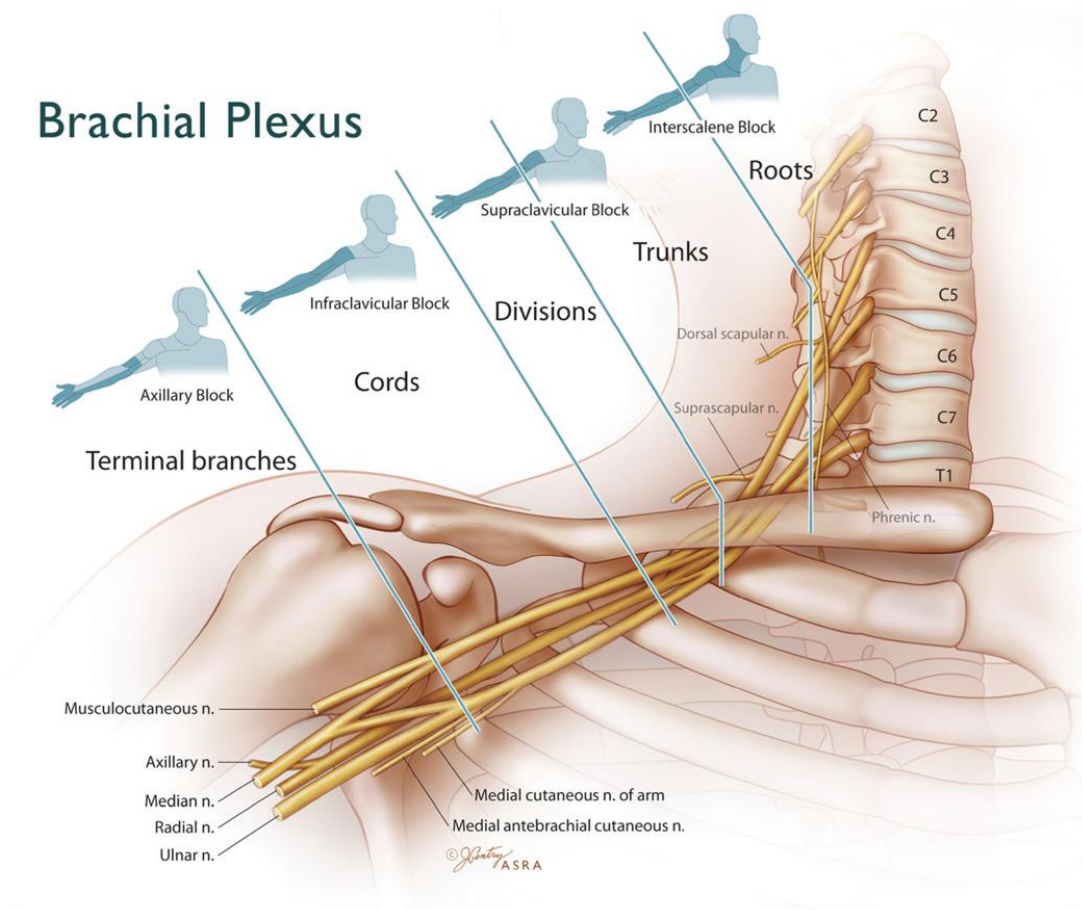


Abbildung 2: Idealierte Darstellung der Blockadetechniken des Plexus brachialis und ihrer Zielstrukturen sowie ihre erwartete Oberflächenanästhesie
 Roots = Wurzeln; Trunks = Trunci; Divisions = Divisiones; Cords = Fasciculi; Terminal branches = terminale Nervenäste
 Quelle: [34]

2.5.1 Interscalenäre Blockade und alternative Zugänge

Der interscalenäre Zugang stellt die am weitesten proximal gelegene Blockademöglichkeit des Plexus brachialis dar (s. Abbildung 2) [29, S. 379] und führt durch Erreichen der Nervenwurzeln C5-7 sowie Teilen des Plexus cervicalis (Nn. supraclaviculares) zu einer ausreichenden Anästhesie und Analgesie der distalen Clavicula, der Schulterregion sowie des proximalen Humerus. [35][36] Da eine Blockade der Rami ventrales aus C8-Th1 nicht regelhaft erfolgt, wird die ISB in einigen Quellen für Eingriffe im sensiblen Innervationsgebiet des N. ulnaris nicht empfohlen. [35]

Ungeachtet der Empfehlung zur ultraschallgestützten Anlage, erlaubt die einfache Identifizierung anatomischer Landmarken in nahezu allen PatientInnen die klinische Anwendung einer ISB [37] und generiert hierbei hohe Erfolgsraten. [38] Eine aktuelle Metaanalyse von Yan et al. [39] konnte zudem einen positiven Effekt auf intraoperative hämodynamische Parameter, Nebenwirkungen und postoperative *pain scores* aufzeigen, wenn Allgemeinanästhesie und ISB während arthroskopischen Schulteroperationen kombiniert werden.

Neben der klassischen interscalenären Anlage ermöglicht auch der zervikale paravertebrale Zugang eine (anteilige) Blockade des Plexus brachialis im Bereich der Nervenwurzeln. [40] Im Vergleich zur regulären ISB zeigte sich dieser in einer Übersichtsarbeit von Tran et al. [41] aus dem Jahre 2007 in Bezug auf Operationen an Schulter und proximalem Humerus ähnlich erfolgreich.

Zudem wird alternativ zur ISB die isolierte Blockade des Truncus superior beschrieben, welche eine Anästhesie der Schulterkapsel und des proximalen Humerus ermöglicht. Hierbei findet die Anlage kurz nach Formation der Wurzeln C5 und 6 unter Identifizierung des N. dorsalis scapulae statt, um akzidentelle Insertionen zu vermeiden. [32] Durch regelhafte Schonung des N. phrenicus konnte eine signifikant verringerte Inzidenz einer einseitigen Zwerchfellparese im Vergleich zur interscalenären Blockade während arthroskopischen Schulteroperationen gezeigt werden. [42][43]

2.5.2 Supraclaviculäre Blockade

Die supraclaviculäre Blockade ist ein gebräuchliches Verfahren, welches den Plexus brachialis auf Höhe der distalen Trunci und/oder proximalen Divisiones, dort wo die Nervenstränge dicht beieinander liegen, blockiert (s. Abbildung 2). [35][40] Durch die kompakte Anordnung der nervalen Gefilde zeichnet sich die ultraschallgesteuerte SCB in ihrer geringen Durchführungszeit aus. [44] Da der Plexus in dieser Region zudem üblicherweise sehr oberflächlich lokalisiert ist (Plexus-Haut-Abstand ca. 1,5-2 cm), ist eine Anwendung bei adipösen PatientInnen gleichsam möglich. [45] So zeigten sich in einer groß angelegten prospektiven Fallstudie von Perlas et al. [46] mit 510 untersuchten PatientInnen hohe Erfolgs- und niedrige Komplikationsraten.

Entgegen dem z.T. bis heute vorherrschenden Konsens, mit einer alleinigen SCB lediglich chirurgische Interventionen distal der gedachten Mitte des Corpus humeri durchführen zu können, [47] postulieren neuere Studien eine gleichwertige Alternative zur ISB bei Eingriffen an der Schulter. Cabaton et al. [48] beschrieben die SCB gegenüber der ISB bezogen auf eine postoperative Analgesie nach ambulanten Schultereingriffen vergleichbar effektiv. Da jedoch alle PatientInnen dieser Studie nach erfolgter Regionalanästhesie eine Allgemeinanästhesie erhielten, ließen sich intraoperative Aspekte nicht evaluieren. Dies konnte durch die Arbeit von Ryu et al. [49] ergänzt werden. Hierbei fanden sich im Rahmen arthroskopischer Schulteroperationen ähnliche Opioidbedürfnisse intraoperativ nach Erhalt einer SCB oder ISB.

Die ursprünglichen Erklärungen schienen in der Auffassung begründet, dass Fasern des Plexus cervicalis (Nn. supraclaviculares) durch die SCB nicht regelhaft erreicht werden, welche in der Innervation der Schulter aber eine entscheidende Rolle spielen. Zudem wird teils eine unzureichende Blockade des N. suprascapularis benannt, [45] die Eingriffen an der Schulter entgegenstand. Dabei besteht die mögliche Erklärung einer vergleichbaren Effektivität SCB in dem Ansatz, dass Lokalanästhetikum, welches supraclaviculär injiziert wird, kranial in Richtung Skalenuslücke wandert und so die Funktion einer ISB imitiert. So applizierten Ryu et al. (s.o.) im Anschluss an SCB Lokalanästhetikum proximal der A. subclavia und der ersten Rippe und konnten bei 95,7% der PatientInnen sonographisch die kraniale Ausbreitung zwischen die Skalenimuskeln nachweisen.

2.5.3 Infraclaviculäre Blockade

Infraclaviculäre Plexusblockaden generieren analog zur axillären Variante eine Analgesie und Anästhesie distal der Humerusmitte. [6][32]

Es wurden viele mögliche Zugangswege im Rahmen der Anlage beschrieben, welche Erfolgsraten erhöhen und Komplikationsraten verringern sollen. Eine vereinheitlichte Nomenklatur in *proximale* und *distale* Zugänge in Bezug auf den Verlauf der A. axillaris, wie sie kürzlich beschrieben wurde, erscheint daher sinnvoll. [50]

Der ipsilaterale Arm kann – analog zur ISB und SCB - bei der Punktion patientennah gelagert werden, dies erlaubt eine Anlage bei traumatischen Verletzungen. Da die Fasciculi als Zielstrukturen der ICB in der infraclaviculären Region jedoch vergleichsweise tief lokalisiert sind, kann sich eine Visualisierung, speziell bei adipösen PatientInnen, schwierig gestalten. [51] Allerdings wiesen Ruíz et al. [52] in ihrer Studie einen verringerten Plexus-Haut-Abstand bei einer Abduktion des ipsilateralen Armes nach, was zu einer vereinfachten Anlage führen könnte.

Im Vergleich zur SCB und AXB präsentierte sich die ICB gleichsam erfolgreich [53][54][55] und wies speziell auf die SCB bezogen weniger Komplikationen auf. [56][57][58] Diese stellten sich jedoch überwiegend in dem Auftreten eines temporären Horner-Syndroms dar. Zudem zeigte eine Übersichtsarbeit geringere Inzidenzen eines *tourniquet pains* bei ICB verglichen mit SCB und AXB. [53]

2.5.4 Axilläre Blockade

Die axilläre Blockade gehört zu den bekanntesten und verbreitetsten Zugängen zum Plexus brachialis. Die oberflächliche Lage des Plexus in der axillären Region bietet eine gute sonographische Visualisierung der einzelnen Nerven und der Nadel und macht die Anlage einfach und sicher. [59][60] Da sich am Punktionsbereich nur wenige topographisch benachbarte kritische Strukturen befinden, zeichnet sich diese Technik – mit Ausnahme einer akzidentiellen intravasalen oder -nervalen Injektion des Lokalanästhetikums – durch ein niedriges Komplikationsrisiko aus. [59][60] Darin begründet sich, dass sich keine speziell auf diesen Zugangsweg bezogenen Kontraindikationen ergeben. [19, S. 102]

Ihren Namen verdankt die AXB dem Ort der Anlage und nicht, wie anzunehmen wäre, einer Blockade des N. axillaris.

Nach erfolgreicher Etablierung werden chirurgische Eingriffe von der Mitte des Humerus bis zu den Fingerspitzen ermöglicht. [32]

Im Hinblick auf ihre Blockadeerfolge existieren kontroverse Meinungen. Während einige Arbeiten eine höhere Versagerquote im Vergleich zu anderen Zugangstechniken zum Plexus brachialis postulieren, [61] scheint sich diese in folgenden Studien nicht zu bestätigen, [55] nicht zuletzt seit der flächendeckenden Etablierung einer ultraschallgestützten Anlage. [62] Allerdings führten Tran et al. [57] eine längere Durchführungszeit im Vergleich zu ICB und SCB auf.

2.5.5 Distale Nervenblockaden

Bei kleineren, lokal begrenzten Operationen der oberen Extremität können einzelne periphere Nerven (z.B. Nn. radialis, ulnaris, medianus, musculocutaneus) gezielt anästhesiert werden. Diverse klinische Studien zielen hierbei auf die Empfehlung eines geeigneten Punktionsortes ab. [63][64][65]

Die Anlage fern von kritischen zentraleren Strukturen – bspw. der Pleura - macht distale Nervenblockaden zu sicheren und effizienten Verfahren. Zudem können PatientInnen von einem Erhalt der proximalen Muskelfunktion der oberen Extremität profitieren. [66]

Dabei können die Nervenblockaden alleine oder in Kombination mit proximalen Blockaden des Plexus brachialis angewendet werden. [67]

2.6 Kontraindikationen

Allgemeine Kontraindikationen beziehen sich auf alle Regionalanästhesieverfahren gleichermaßen und müssen bei Indikationsstellung berücksichtigt werden.

Bei bekannten Allergien gegen das zu verwendende Lokalanästhetikum, Ablehnung des Verfahrens durch die PatientInnen, klinisch relevanten Gerinnungsstörungen und Entzündungen im Einstichbereich muss eine Punktion vermieden werden. Hingegen stellt eine Infektion im Versorgungsgebiet des betroffenen Nervenbündels kein Hindernis dar. [19, S. 60]

Ein vorbestehendes neurologisches Defizit ist, sofern vorher dokumentiert, relativ kontraindiziert, sodass Einzelfallentscheidungen unter Risiko-Nutzen-Abwägung durch die Expertise der zuständigen AnästhesistInnen getroffen werden müssen.

Spezielle Kontraindikationen ergeben sich zugangsspezifisch aus dem Risikoprofil der einzelnen Blockaden. Diese umfassen bei supraclaviculären und interscalenären Blockaden vorbekannte Lungenerkrankungen oder –operationen mit respiratorischer Insuffizienz sowie kontralaterale Phrenicus- und/oder Recurrensparesen. [68]

2.7 Topographische Beziehung des Plexus brachialis zu seinen Leitstrukturen

Kurz nach Formatierung des Plexus brachialis passiert dieser zwischen den Mm. scalenus anterior und medius und der A. subclavia als kaudale Begrenzung die sogenannte Skalenuslücke. Bei Durchtritt wird er gemeinsam mit der A. subclavia von der Lamina prävertebralis der Fascia cervicalis umhüllt, wodurch sich eine Gefäß-Nerven-Scheide bildet, die im Ultraschallbild gut detektiert werden kann. [30] Diese Verbindung wurde bereits in Kapitel 2.1 erwähnt.

Kaudal und dorsal der Trunci befinden sich beidseits die über die obere Thoraxapertur hinausreichenden Pleurakuppeln. Die A. subclavia liegt dort der ersten Rippe im sulcus arteriae subclaviae auf. Diese topographische Beziehung lässt sich sonographisch gut visualisieren (s. Abbildung 3) und dient der Sicherheit im Rahmen supraclaviculärer Plexusanlagen.

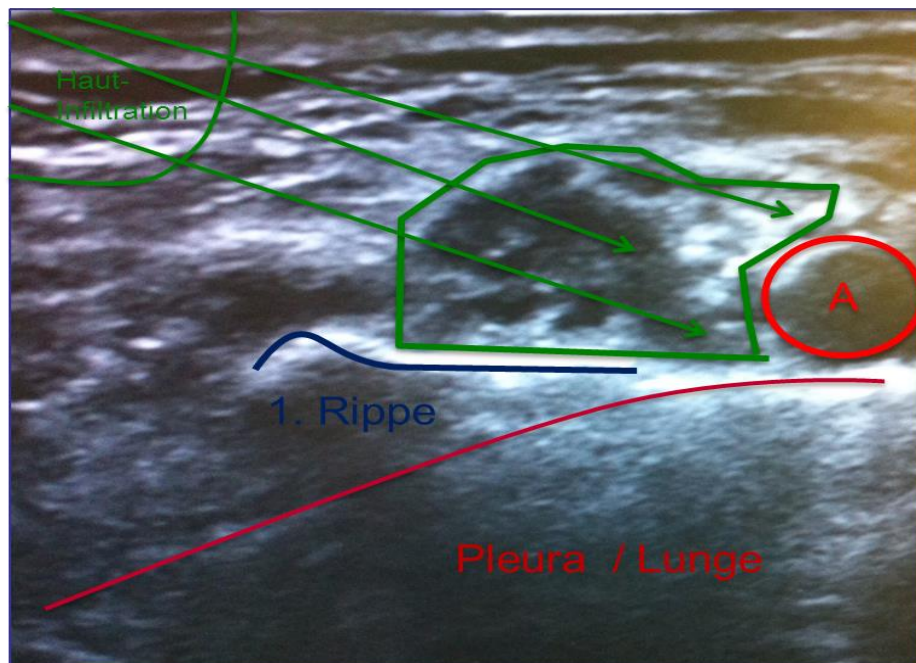


Abbildung 3: Sonographische Darstellung des supraclaviculären Plexus brachialis (Grüne Umrandung, Mitte) mit dem Zielort der Lokalanästhetikaapplikation (Grüne Pfeile) sowie benachbarten Strukturen; A = A. subclavia
Quelle: Universitätsmedizin Mainz, Prof. Dr. med. E. Hartmann

Der Plexus brachialis liegt der A. subclavia sonographisch als hypoechogene, knotige Struktur an. Die Arterie stellt sich ebenfalls hypoechogen und exakt begrenzt dar und ist anhand ihrer Pulsation erkennbar. Die Pleurakuppel findet sich als schmale, helle Linie unterhalb der ersten Rippe. Um eine Blockade aller Trunci – insbesondere des Truncus inferior – während der SCB sicherzustellen, wird die Verabreichung von Lokalanästhetikum im sogenannten *corner pocket* empfohlen, welches sich aus den Divisiones, der A. subclavia und der ersten Rippe zusammensetzt. [69]

Die folgenden Strukturen besitzen eine im Hinblick auf ihre anatomische Lage bedeutsame Rolle im Rahmen SCB und ISB.

Paravertebral bilden sich im Halsbereich drei sympathische Grenzstrangganglien. Das Ganglion stellatum entsteht durch den Zusammenschluss des Ganglion cervicale inferius und des ersten Thorakalganglions auf Höhe C6-7 und ist somit in topographischer Nachbarschaft zur Skalenuslücke und zum Plexus brachialis lokalisiert.

Ventral der Skalenuslücke zieht der N. phrenicus aus dem Plexus cervicalis auf dem M. scalenus anterior nach kaudal, um zwischen der A. und V. subclavia die obere Thoraxapertur zu passieren und das Zwerchfell motorisch als wichtigste nervale Struktur zu innervieren. [70]

Der N. laryngeus recurrens ist wie der N. phrenicus paarig angelegt und unterscheidet sich beidseits hinsichtlich seines Verlaufs. Während der rechte N. laryngeus recurrens die A. subclavia dextra umrundet und paratracheal nach kranial zieht, umschlingt der N. laryngeus recurrens sinister den Aortenbogen, um ebenfalls kranial am Kehlkopf zu münden.

2.8 Komplikationen

Die Blockade des Plexus brachialis in seinem Verlauf birgt lokalisationspezifisch differente Komplikationsraten. Vorge stellt werden sollen bekannte Komplikationen bei supraclaviculären und interscalenären Blockaden und deren Auftretenswahrscheinlichkeit.

Aufgrund der topographischen Nähe können bei supraclaviculären und insbesondere interscalenären Zugängen akzidentielle Blockaden des Ganglion stellatum sowie einseitige Phrenicus- oder Recurrensparesen resultieren. Erstere können ein vorübergehendes Horner-Syndrom mit seiner Trias *Ptosis, Miosis und (Pseudo-)Enophthalmus* hervorrufen. Die Häufigkeit dieser Komplikationen variiert sehr nach Literatur. So wird die Inzidenz eines Horner-Syndroms bei ultraschallgestützter SCB zwischen 3% [71] und seltener bis zu 37,5% [57] angegeben. Vergleicht man hingegen SCB und ISB, tritt ein Horner-Syndrom bei SCB signifikant seltener auf, wie Schubert et al. [72] in ihrer Metaanalyse darlegen konnten (SCB 7,57% vs. ISB 28,2%). Zeitgleich zeigten sich bei SCB geringere Raten an einseitigen Zwerchfellparesen, ausgelöst durch die temporäre Blockade des N. phrenicus. Dieser Unterschied stellte sich ebenfalls signifikant dar (SCB 42,6% vs. ISB 78,75%). Analog dazu verglichen Hussain et al. [73] in ihrer Metaanalyse respiratorische Funktionsbeeinträchtigungen nach SCB und ISB, die in den involvierten Studien durch unterschiedliche Parameter repräsentiert wurden - z.B. Inzidenz einer einseitigen Zwerchfellparese 30 Min. postinterventionell, nach Aliste et al. [74]. Gesamtheitlich zeigte sich, dass ISB die Wahrscheinlichkeit einer postoperativen respiratorischen Dysfunktion gegenüber SCB erhöhten.

Recurrensparesen treffen sich je nach Quelle ähnlich heterogen an und können einseitig Heiserkeit, beidseitig jedoch starke Dyspnoe auslösen. Liu et al. [75] konnten postoperative Inzidenzen einer Heiserkeit von 22% bei SCB vs. 31% bei ISB nach arthroskopischen Schulteroperationen nachweisen. Demgegenüber traten bei Karaman et al. [76] keine klinischen Fälle mit Heiserkeit bei ISB und SCB auf.

Die Gefahr eines Pneumothorax besteht durch die anatomische Nähe der Pleurakuppeln zum supraclaviculären Plexus brachialis und drängte die SCB, wie bereits zu Beginn erwähnt, lange in den Hintergrund. Durch Verwendung eines Ultraschallgerätes stellt sich diese Komplikation mittlerweile klinisch kaum noch relevant dar. [77]

Des Weiteren finden sich allgemeine zugangunspezifische Komplikationen.

Vorübergehende neurologische Komplikationen nach peripheren Regionalanästhesien sind möglich, persistierende Nervenschäden jedoch selten und meist in der Prognose günstig. [78] Barrington et al. [79] untersuchten prospektiv über 7000 periphere Nerven- und Plexusblockaden zwischen den Jahren 2006 und 2008 hinsichtlich neurologischer Komplikationen und später neurologischer Defizite. Die Inzidenz blockbezogener Nervenschäden wurde hierbei mit 0,04% angegeben. In einer früheren Übersichtsarbeit wurde die Inzidenz vorübergehender Neuropathien bei ISB mit 2,84% als am höchsten in Bezug auf andere untersuchte periphere Nervenblockaden benannt. Allerdings fand sich in allen 16 Studien nur ein Fall mit einem permanenten Nervenschaden nach peripheren Blockaden. [80]

Ferner können bei akzidentieller intravasaler Injektion des Lokalanästhetikums systemische Effekte (s. Anhang, 1.) sowie durch eine vasale Punktion die Aspiration von Blut resultieren. Beide Komplikationen werden nur selten berichtet. [44][81]

III) Material und Methoden

3.1 Studiendesign

Als Studiendesign meiner Arbeit wählten wir eine prospektive, monozentrische, nicht-interventionelle Anwendungsbeobachtungsstudie. Diese zielte darauf ab, den aktuellen Standard der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz zur Regionalanästhesie der oberen Extremität zur Qualitätssicherung abzubilden.

Das prospektive Vorgehen ermöglichte es uns, relevante Daten mit zu erfassen, die in der standardisierten Dokumentation des Narkoseprotokolls bzw. des anästhesiologischen Kerndatensatzes nicht enthalten sind. Eine Anwendungsbeobachtung erschien sinnvoll, um ein möglichst die Realität abbildendes Patientenkollektiv zu erhalten sowie um die aktuellen standardisierten Vorgehensweisen bei der Blockade des Plexus brachialis beurteilen zu können.

Die zuständige Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz wurde am 26.02.2015 kontaktiert. Sie kam außerhalb einer Sitzung zu dem Schluss, dass keine weitere Beratung erforderlich sei und keine berufsrechtlichen und berufsethischen Bedenken gegen die Durchführung der Studie sprechen. Die Notwendigkeit einer Patientenaufklärung wurde verneint. Dies bestätigte Frau Dr. Wagner in einem Schreiben vom 09.04.2015.

3.2 Datenerhebung

Die Daten wurden anhand eines speziellen Fragebogens (s. Abbildung 4) innerhalb des Zeitraumes vom 01.04.2015 bis zum 31.10.2016 erhoben und in einer anonymisierten Datenbank dokumentiert. Die Entscheidung über die Art des Narkoseverfahrens erfolgte im Konsens von OperateurlInnen und AnästhesistInnen gemeinsam mit den PatientInnen nach entsprechender Risikoaufklärung und Einwilligung. Dies wurde nicht vom Studienteam beeinflusst. Die Datenerfassung erfolgte somit rein deskriptiv unter „real-life“-Bedingungen.

Die Regionalanästhesien wurden von den zuständigen ÄrztInnen der Klinik für Anästhesiologie durchgeführt. Die Dokumentation auf dem Fragebogen erfolgte parallel zu dem herkömmlichen Narkoseprotokoll durch die Durchführenden und die Eintragung der Angaben in die Datenbank durch das Studienteam.

Datenbank**„Sono-gesteuerte supraklavikuläre Plexus brachialis-Blockade“****Allgemeines:**

Datum:..... Geschlecht: M W Größe/Gewicht:/..... [cm /kg]
 OP:..... SCB-Schnitt-Zeit: min Schnitt-Naht-Zeit: min
 ASA:..... ambulant stationär

Supraklavikuläre Blockade

sonographisch nicht sicher darstellbar Wenn , Alternativverfahren:.....; STOP!
 Abstand Haut-Plexus: cm (sonographisch) Multiinjektionstechnik Einzelinjektionstechnik
 Anästhesist: Assistenzarzt Facharzt Bisherige Durchführungen: ca.

Regionalanästhetika:

Prilocain 1%: ml Ropivacain 0,75%: ml Andere:.....
 zusätzlich interskalenärer single-shot Wenn , Lokalanästhetika:.....
 nur interskalenärer single-shot

Blockadeerfolg:

suffiziente Anästhesie für OP Wenn , auch komplette motorische Blockade?
 zusätzliche Analgesie/Analgo-sedierung nötig:
 Opiode Ketamin Infiltration durch Operateur
 Midazolam Propofol Sonstiges:.....
 zusätzliche Sedierung nur wegen Patientenwunsch, -komfort
 insuffiziente Anästhesie, Verfahrenswechsel nötig:
 ITN LMA Andere Regionalanästhesie:

Komplikationen:

keine
 Luftaspiration nachgewiesener Pneumothorax
 Blutaspiration relevante Blutung/Hämatom
 Intravasale LA-Injektion Wenn , Symptomatik:.....
 Horner-Syndrom Phrenicus-Parese Recurrens-Parese
 Andere Komplikationen:

Patientenzufriedenheit mit Verfahren: Ja Nein

Sonstiges:

Post-OP-Visite: Ja Nein Wenn Ja, Besonderheiten:.....

Abbildung 4: Fragebogen

Der Terminus SCB-Schnitt-Zeit (Min.) beschreibt das Zeitintervall nach Beendigung der Blockade(n) [Nadelrückzug] bis zur ersten chirurgischen Intervention an dem Patienten/an der Patientin; Mit dem Plexus-Haut-Abstand (cm) wurde die sonographisch gemessene Tiefe des Plexus brachialis supraclaviculär definiert [Hautniveau bis Beginn neuraler Strukturen]

3.3 Patientenkollektiv

Als Patientenkollektiv dienten unfallchirurgisch-orthopädische PatientInnen der Universitätsmedizin Mainz mit einer Indikation und Einwilligung zur ultraschallgesteuerten supraclaviculären oder kombiniert supraclaviculären-interscalenären Blockade des Plexus brachialis. PatientInnen mit einer ausschließlich interscalenären Blockade wurden erfasst, in der Auswertung jedoch nicht berücksichtigt. Die Eingriffe beschränkten sich auf die oberen Extremitäten. Überwiegend wurden sie an Hand, Unterarm und Ellenbogen durchgeführt sowie im Falle einer zusätzlichen interscalenären Blockade meist an Oberarm oder Schulter.

3.4 Erfasste Aspekte

Die erfassten Aspekte können dem Fragebogen (Abbildung 4) entnommen werden. Blockadeerfolge und Komplikationen wurden für beide Blockadetechniken (SCB oder SCB/ISB) separat registriert.

Mögliche patienten- und fallspezifische Einflussgrößen auf die Blockadequalität von SCB und ISB wurden vorab definiert und umfassten den BMI (definiert als kg/m^2 , s. Anhang, 2.)), die Erfahrung der durchführenden ÄrztInnen in SCB, den Plexus-Haut-Abstand supraclaviculär, die SCB-Schnitt-Zeit und die Dosen der applizierten Lokalanästhetika (Prilocain und Ropivacain).

3.5 Durchführung der supraclaviculären Blockade des Plexus brachialis

Die Blockade erfolgte gemäß klinikinterner *standard operation procedures* (SOPs) der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz.

Vor Durchführung einer supraclaviculären Blockade des Plexus brachialis ist es essentiell, erneut Indikation, Kontraindikationen, Operationsseite sowie Identität mit rechtsgültiger Einwilligung der PatientInnen zu prüfen. Anschließend wird eine Überwachung, bestehend aus EKG, nicht-invasiver Blutdruckmessung und Pulsoxymetrie angeschlossen sowie ein peripherer venöser Zugang mit laufender Infusion angelegt. Um bei Eintritt von Komplikationen adäquat reagieren zu können, sollte die Anlage zudem immer an einem Anästhesiearbeitsplatz erfolgen.

Während der Durchführung befinden sich die PatientInnen bekleidet mit OP-Haube und –Hemd in Rückenlage. Der Oberkörper ist leicht erhöht und der Kopf zur kontralateralen Seite geneigt. Der ipsilaterale entkleidete Arm liegt ausgestreckt dem

Körper an. Die Punktionsstelle wird großzügig desinfiziert (Kodan Tinktur forte, alkoholisches Hautantiseptikum) und die vorgeschriebene Einwirkzeit von 3 Minuten eingehalten. Da die Blockade unter sterilen Kautelen durchgeführt wird, benötigt der/die die Blockade durchführende Arzt/Ärztin zur Anlage zusätzlich zu Mundschutz und Haube sterile Handschuhe.

Nun können die benötigten Materialien (PAJUNK UniPlex NanoLine UP 3/50, 22 G x 50 mm sowie Regional-Anästhesie-Basis-Set Modell 2 >>Uni Mainz<<, bestehend aus: 1 Set-Schale graduiert, 2-fach; 1 Lochtuch 75 x 100 cm, transparent; 10 Multikompressen 10 x 10 cm, 8-fach; 1 Einmal-Spritze SOFT-JECT 2 (2,5) ml, 3-teilig, Luer-Ansatz, latexfrei; 1 Dispomed-Spritze mit Luer-Lock-Ansatz, 5 ml, zentrisch, 3-teilig, latexfrei; 1 Kanüle 0,5 x 40 mm; Sterifix Filterhalm 10 cm Schlauch luer, mit 5-µm-Partikelfilter; 1 Universalklemme >>Kieler Modell<< 13 cm, mit abgeflachten Spitzen; verpackt in: 1 Unterlage wasserfest 75 x 90 cm; Medizinisches Spezialpapier; Multiverband-Flachfolie) steril ausgepackt und auf einem verschiebbaren Tisch gerichtet werden.

Der Linearschallkopf wird in einen sterilen Schlauch (FLEXASOFT, Ultraschall-Bezug für Gel) gestülpt und mit dem dazugehörigen Klebeband befestigt. Es folgt ein dreimaliges Abwischen der Punktionsstelle mit sterilen Kompressen und erneutes Sprühdesinfizieren. Das Lochtuch kann jetzt aufgeklebt werden.

Je nach Händigkeit und Vorliebe stehen die AnästhesistInnen während der Sonographie am Kopfende oder seitlich auf Schulterhöhe der PatientInnen. Als äußere Landmarken dienen die Clavicula sowie die tastbare A. subclavia am unteren Ende der Skalenuslücke. Der Schallkopf wird kranial und parallel zur Clavicula aufgesetzt und zur Orientierung die A. subclavia, die erste Rippe und die Pleurakuppel aufgesucht.

Vor Punktion wird eine Infiltrationsanästhesie des Punktionsbereiches durchgeführt. Hierfür wird das Lokalanästhetikum Mepivacain 1% steril in eine 2,5 ml Spritze aufgezogen. Die Kanüle, deren Nadelschliff zur Hautoberfläche zeigt, wird in einem flachen Winkel subkutan eingeführt und nach negativer Aspiration ein Volumen von 1-2 ml injiziert.

Nach Wirkeintritt des Oberflächenanästhetikums wird die Punktionskanüle parallel zum Schallkopf (sogenannte *in-plane*- oder Langachsen-Technik) in einem Winkel von 30-45° in Richtung der Trunci/Divisiones vorgeschoben und ist so zeitgenau in ihrem ganzen Verlauf im Ultraschallbild sichtbar. Dies hat zum Ziel, das Verletzungsrisiko für umliegende Strukturen zu minimieren.

Das Lokalanästhetikum wird in Zusammenarbeit mit einer Anästhesiepflegekraft appliziert. Vor jeder Injektion wird aspiriert und die Kanüle um sich selbst gedreht, um eine intravasale Lage auszuschließen. Ist die Injektion nur mit verstärktem Kraftaufwand möglich, muss die Kanülenlage optimiert werden, da eine intranervale Lage denkbar ist. Die Injektion wird langsam, fraktioniert und unter wiederholter Aspiration durchgeführt. Dabei wird in Mainz die Multiinjektionstechnik bevorzugt. Hierbei wird das Lokalanästhetikum – standardmäßig 30 ml Prilocain 1% und 10 ml Ropivacain 0,75% - unter konstanter Ultraschallkontrolle konzentrisch um das Nervengeflecht injiziert, sodass im Ultraschallbild eine Auffächerung des Gewebes sichtbar wird. Die Trunci/Divisiones stellen sich nun sonographisch umgeben von einer echofreien Flüssigkeit dar.

Nach einem Zeitraum von ca. 15 Minuten kann eine Erfolgskontrolle durch Setzen eines leichten Schmerzreizes im Bereich des zu erwarteten Anästhesiegebietes erfolgen. Eine motorische Blockade kann zusätzlich entweder vollständig oder inkomplett vorliegen.

3.6 Durchführung der kombinierten supraclaviculären-interscalenären Blockade des Plexus brachialis

Bezüglich der ausführlichen Vorbereitung und Anlage einer SCB verweise ich auf den vorherigen Abschnitt 3.5.

Der/die durchführende Arzt/Ärztin verbleibt steril und es wird ein neues Regional-Anästhesie-Basis-Set Modell 2 vorbereitet. Die Punktionsbereiche der kombinierten Blockade wurden zuvor mit einem Hautoberflächenantiseptikum desinfiziert und so mit einem Lochtuch abgedeckt, dass beide Bereiche für die Anlage gut zugänglich sind. Die Lagerung der PatientInnen entspricht weitgehend der einer alleinigen SCB. Als äußere Landmarken der interscalenären Plexusblockade dienen die Skalenuslücke, der laterale Rand des M. sternocleidomastoideus sowie die Cartilago cricoidea. [68] Nach erster Orientierung wird der Ultraschallkopf parallel zur Clavicula und lateral des Kehlkopfes platziert und die A. carotis und V. jugularis interna mit dem dazwischen verlaufenden N. vagus visualisiert. Nach deren Identifizierung wird der Schallkopf in lateraler Richtung bewegt, bis lateral und kaudal des M. sternocleidomastoideus die Skalenuslücke erscheint. Zielstruktur der Blockade sind die interscalenären Plexusanteile aus den Wurzeln C5-7, (C8-Th1), welche sich zwischen den Mm. scalenus anterior und medius perlschnurartig aufreihen und

sonographisch als hypoechogene Strukturen sichtbar sind. Analog zur SCB wird nach Betäubung der entsprechenden Hautpartie die Punktionskanüle in in-plane-Technik unter ständiger Sichtkontrolle an die Plexuswurzeln vorgeschoben. Appliziert werden unter wiederholter Aspiration ebenfalls standardmäßig Prilocain 1% und Ropivacain 0,75% (meist jeweils 5 ml), bis die Wurzeln sichtbar von Lokalanästhetikum umschlossen sind.

Eine Erfolgskontrolle wird vergleichbar zur SCB durchgeführt, wobei bei einer kombinierten Blockade von einer Anästhesie nahezu der gesamten oberen Extremität auszugehen ist.

3.7 Vorgehen bei insuffizienten Plexusblockaden

Das klinische Vorgehen bei unzureichender Wirkung oder erschwerter Anlage der Plexusblockade(n) oblag den supervidierenden ÄrztInnen, unter Berücksichtigung der Standards der Klinik für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Mainz. Insuffiziente Blockaden definierten sich als Unfähigkeit, die jeweilige chirurgische Intervention mit einer alleinigen (SCB) oder kombinierten Blockade (SCB/ISB) durchzuführen. Sie konnten somit definitionsgemäß sowohl das technische Vorgehen oder Komplikationen im Rahmen der Anlage als auch eine unzureichende Analgesie/Anästhesie postinterventionell betreffen. Fälle, bei denen PatientInnen eine Analgosedierung aus Komfortgründen wünschten, wurden als suffizient bewertet.

3.8 Datenauswertung

Die aus den Fragebögen gewonnenen prozeduralen Daten wurden zunächst in eine Excel-Tabelle und anschließend zur explorativen Analyse in das Statistikprogramm *SigmaPlot* 12.5 eingetragen. Die dazugehörigen Graphiken und Tabellen wurden mit *SigmaPlot* und *Microsoft Word* erstellt.

Die Auswertung von BMI, applizierter Menge des Lokalanästhetikums (Prilocain und Ropivacain), Erfahrung, Tiefe des Plexus und SCB-Schnitt-Zeit erfolgte bei ungleicher Verteilung mittels Mann-Whitney Rank Sum Test. Ein Unterschied der Testergebnisse wurde hierbei bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von unter 5% (p-Wert < 0,05) festgelegt.

IV) Ergebnisse

4.1 Studienkohorte

Innerhalb des unter Kapitel 3.2 genannten Zeitraumes erreichten wir eine Fallzahl von 584 PatientInnen. Es wurden 3 Fälle mit alleiniger ISB dokumentiert, sodass sich eine korrigierte Fallzahl von 581 (Gesamtkollektiv) ergab, von denen 86,7% eine SCB und 13,3% eine kombinierte SCB/ISB erhielten (s. Tabelle 1).

Das perioperative Risiko wurde mit Hilfe des ASA-Scores (American Society of Anesthesiologists, s. Anhang, 3.) abgeschätzt. PatientInnen mit einem erhöhten ASA-Score ≥ 3 , wurden zu 88,6% stationär behandelt.

		Anzahl (n)	Prozent (%)
Fallzahl		584	
- Korrigiert		581	
SCB		504	86,7
SCB/ISB		77	13,3
Geschlecht	m	349	60,1
	w	232	39,9
ASA	1-2	474	81,9
	3-4	105	18,1
Versorgung	Stationär	364	63,5
	Ambulant	209	36,5

Tabelle 1: Patientencharakteristika

Bei fehlenden Informationen bzgl. ASA-Status und Versorgung, wurde eine korrigierte Fallzahl zur prozentualen Berechnung verwendet:

ASA: n = 579

Versorgung: n = 573

4.2 Erfolgsrate

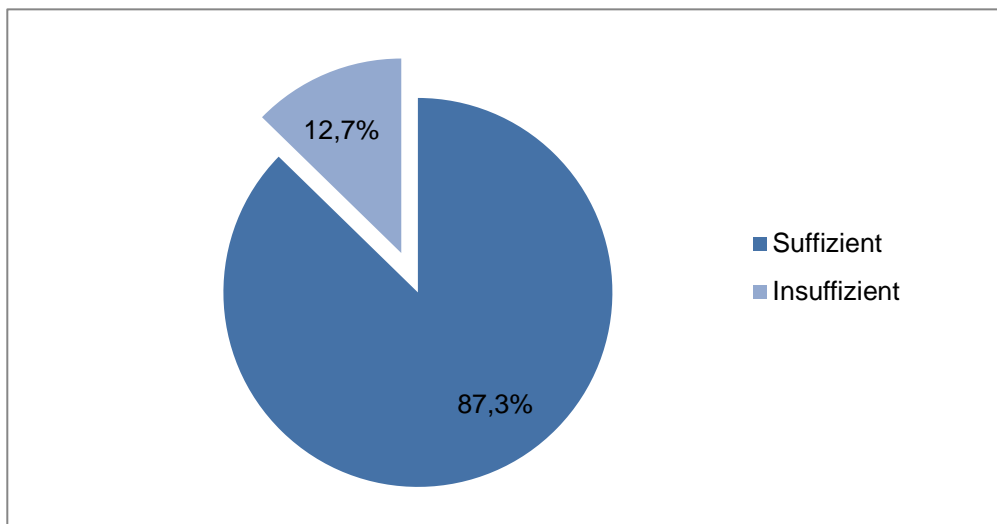


Abbildung 5: Erfolgsrate SCB und SCB/ISB

Nach Auswertung der Daten ergaben sich kumulativ (SCB & SCB/ISB) 87,3% suffiziente Prozeduren (Abbildung 5), von denen 56,6% rein aus Komfortgründen eine zusätzliche Sedierung erhielten, trotz ausreichender Anästhesie und Analgesie des betroffenen Gebietes und 0,4% aus operativen Gegebenheiten auf eine Allgemeinanästhesie wechseln mussten.

Demgegenüber standen 12,7% insuffiziente Prozeduren. Die weiteren Vorgehensweisen hierbei konnten in folgende Punkte zusammengefasst werden:

- Wechsel auf ein alternatives lokoregionales Verfahren (z.B. i.v.-Regionale, AXB)
- Zusätzliche Analgosedierung unabhängig vom Patientenwunsch
- Wechsel auf eine Allgemeinanästhesie (ITN oder LM)

Aufgeteilt in diese möglichen Szenarien ergab sich, unter Gegenüberstellung der suffizienten Blockaden, eine Verteilung, welche in Abbildung 6 dargestellt ist.

Es zeigte sich, dass in 81,1% eine zusätzliche Analgosedierung ausreichend war, wohingegen nur 14,9% eine Konversion zur Allgemeinanästhesie und 4% ein vergleichbares regionalanästhesiologisches Verfahren benötigten.

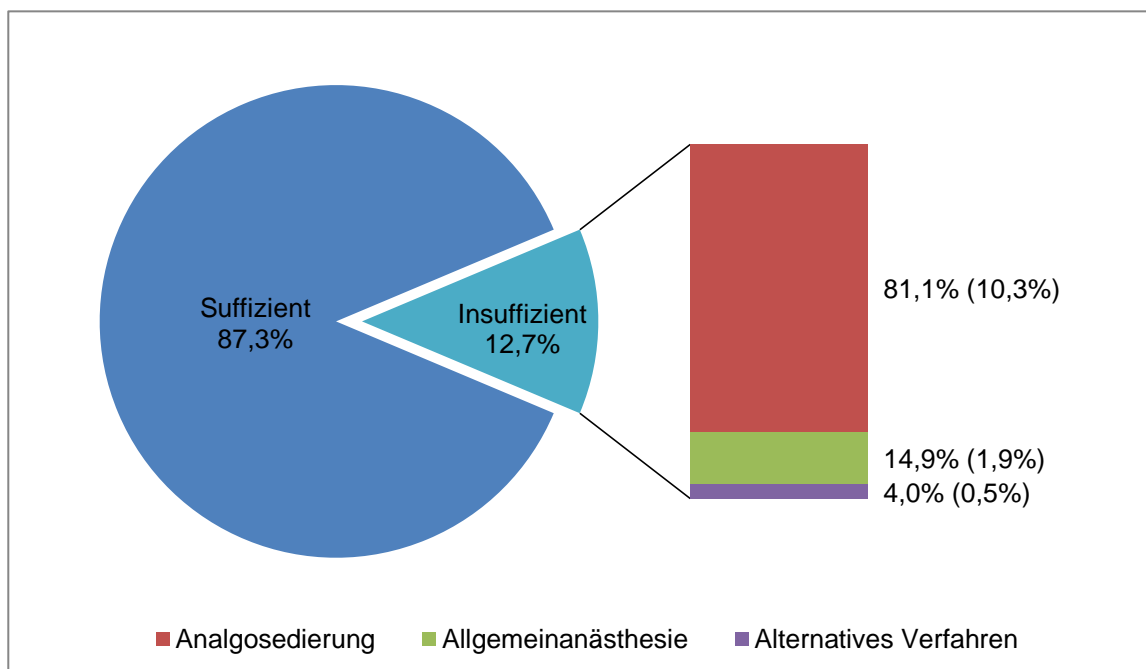


Abbildung 6: Vorgehensweisen bei insuffizienten Plexusblockaden
 Dargestellt ist die prozentuale Verteilung weiterer Vorgehensweisen insuffizienter Blockaden;
 Die Prozentzahlen in Klammern geben die Verteilung bezogen auf das Gesamtkollektiv an

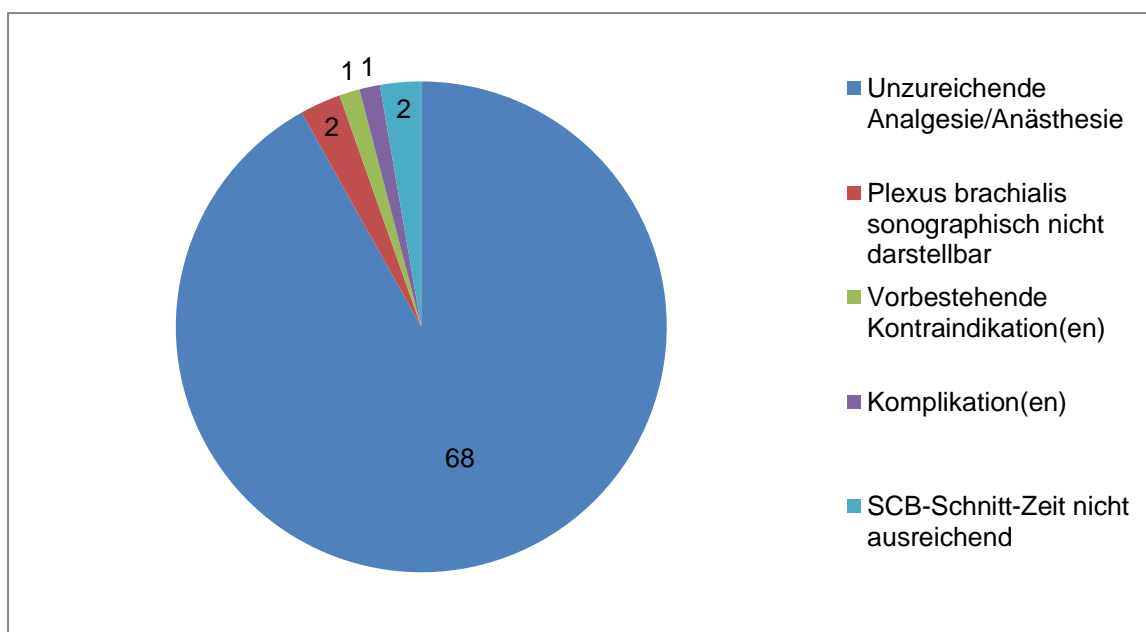


Abbildung 7: Ursachen insuffizienter Plexusblockaden
 Die angegebenen Zahlen sind Absolutwerte; n = 74

Die Ursachen insuffizienter Plexusblockaden zeigt Abbildung 7. Ausgehend von 74 insuffizienten Blockaden (12,7%), erlebten 68 PatientInnen (91,9%) eine unzureichende (partielle) analgetische und/oder anästhetische Wirkung. Zweimalig war der Plexus brachialis supraclaviculär sonographisch nicht eindeutig darstellbar gewesen, sodass von einer Anlage abgesehen wurde. Ein Patient wies eine vorbestehende einseitige kontralaterale Recurrensparese als Kontraindikation für SCB sowie ISB auf, ein weiterer zeigte während der Durchführung einer SCB Anzeichen eines Horner-Syndroms sowie einer Recurrens- und Phrenicusparese, die zu einem sofortigen Abbruch führten. Zwei PatientInnen gaben erst postoperativ an, dass eine vollständige Anästhesie des Zielgebietes vorliegt. Hierbei ist eine nicht ausreichende SCB-Schnitt-Zeit anzunehmen.

4.2.1 Erfolgsrate nach Blockadetechnik

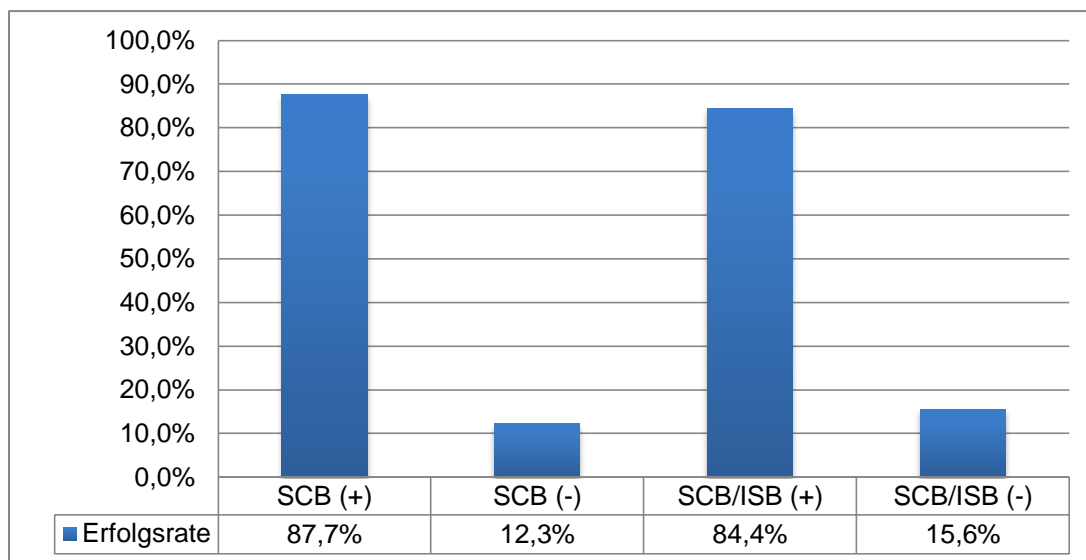


Tabelle 2: Erfolgsrate nach Blockadetechnik

SCB (+): Suffiziente supraclaviculäre Blockaden; SCB/ISB (+): Suffiziente kombinierte supraclaviculäre-interscalenäre Blockaden; SCB (-): Insuffiziente supraclaviculäre Blockaden; SCB/ISB (-): Insuffiziente kombinierte supraclaviculäre-interscalenäre Blockaden

Tabelle 2 stellt die Erfolgsraten in Abhängigkeit von der angewandten Blockadetechnik heraus. Die alleinige SCB wies in Gegenüberstellung zur kombinierten Plexusblockade eine höhere Erfolgsrate auf (87,7% vs. 84,4%), dies stellte jedoch keinen statistisch relevanten Unterschied dar ($p \geq 0,05$).

4.2.2 Erfolgsrate nach patientenspezifischen und fallspezifischen Einflussfaktoren

Hinsichtlich der folgenden Untersuchungsgegenstände wurde keine Unterscheidung zwischen beiden Blockadetechniken (SCB und SCB/ISB) gemacht. Es wurden, separat für jeden spezifischen Einflussfaktor, suffiziente Blockaden mit insuffizienten verglichen und die Ergebnisse graphisch aufgetragen.

Bei Datensätzen, die eine vorher festgelegte Irrtumswahrscheinlichkeit $< 0,05$ aufwiesen, wurde der p-Wert zur Deskription in der Graphik ergänzt.

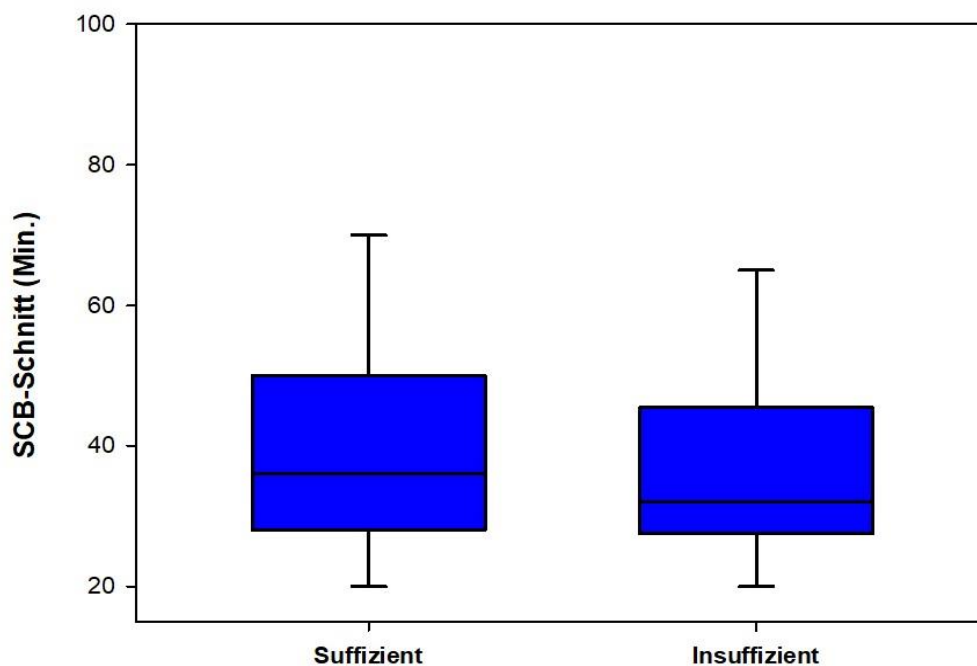


Abbildung 8: Vergleich der SCB-Schnittzeit suffizienter gegenüber insuffizienter Blockaden
Suffizient Median (Interquartilsabstände): **36** (28-50)
Insuffizient Median (Interquartilsabstände): **32** (27,5-45,5)

Abbildung 8 veranschaulicht die SCB-Schnittzeit zwischen den Vergleichsgruppen. Ein relevanter Unterschied wurde nicht generiert, dennoch zeigten sich die Zeitspannen bei suffizienten in Bezug zu insuffizienten Prozeduren in der Auswertung verlängert (Median SCB-Schnittzeit [Min.] 36 vs. 32).

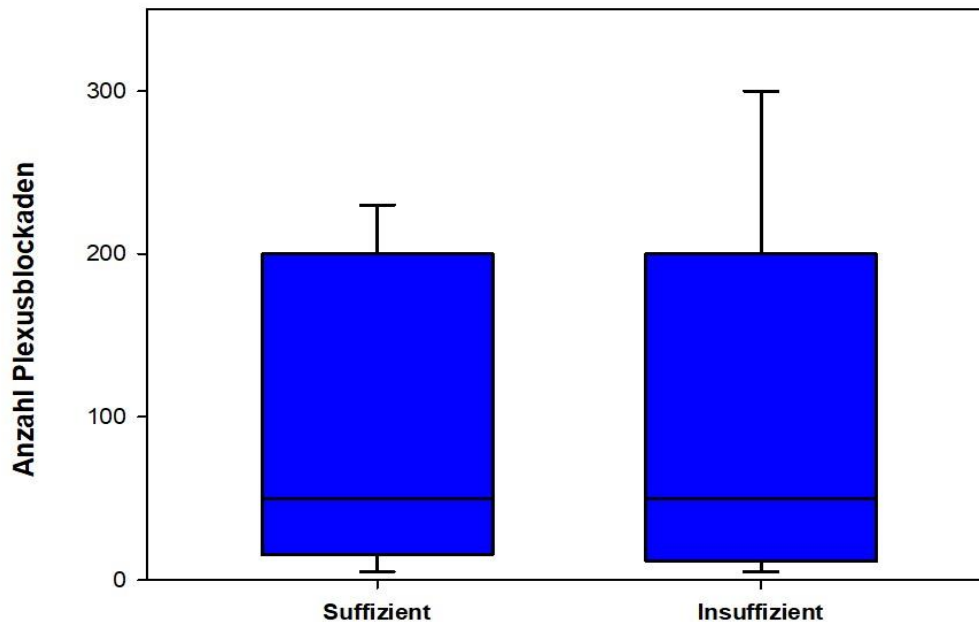


Abbildung 9: Vergleich der Anzahl durchgeführter Plexusblockaden (SCB) suffizienter gegenüber insuffizienter Blockaden
 Suffizient Median (Interquartilsabstände): 50 (15,5-200)
 Insuffizient Median (Interquartilsabstände): 50 (11-200)

Den Erfahrungsgrad (Anzahl durchgeführter SCB) legten wir mit einer von uns definierten Grenze von ≥ 20 Plexusanlagen fest, bei der wir von einer routinierten Handhabung ausgingen.

In der Auswertung zeigte sich, dass der Blockadeerfolg vom Erfahrungsgrad unbeeinflusst blieb – Unterschiede in den Erfolgsraten von ÄrztInnen mit ≤ 20 Plexusblockaden in Bezug zu *erfahrenen* MedizinerInnen waren vernachlässigbar (Unerfahren 87,1% vs. Erfahren 87,8%).

Dieses Ergebnis wird analog in Abbildung 9 demonstriert – der Median ist in beiden Vergleichsgruppen mit 50 dargestellt, die Interquartilsabstände waren nahezu identisch und breit gestreut.

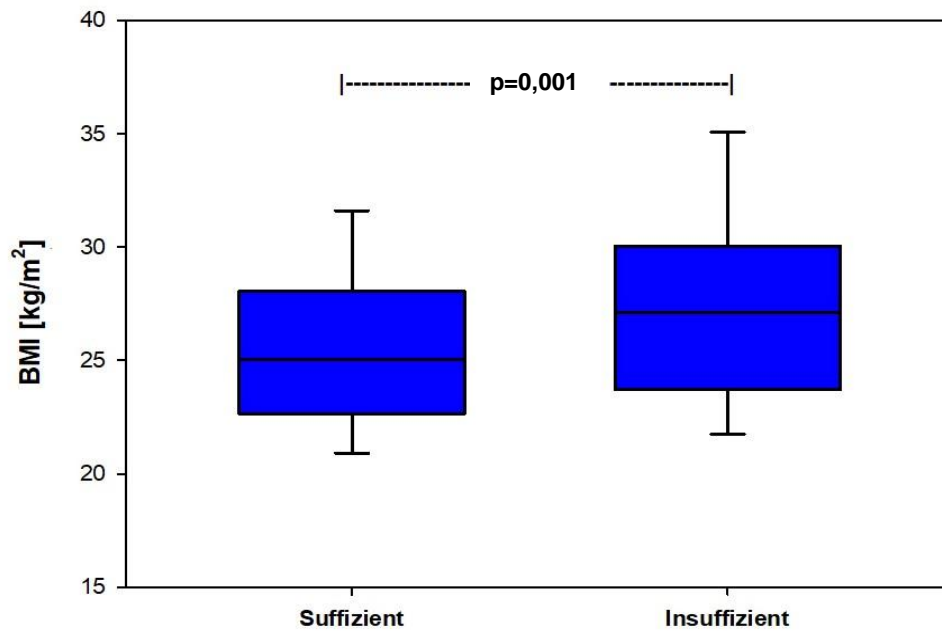


Abbildung 10: Vergleich des BMI suffizienter gegenüber insuffizienter Blockaden
Suffizient Median (Interquartilsabstände): 25,1 (22,7-28,1)
Insuffizient Median (Interquartilsabstände): 27,1 (23,8-30)

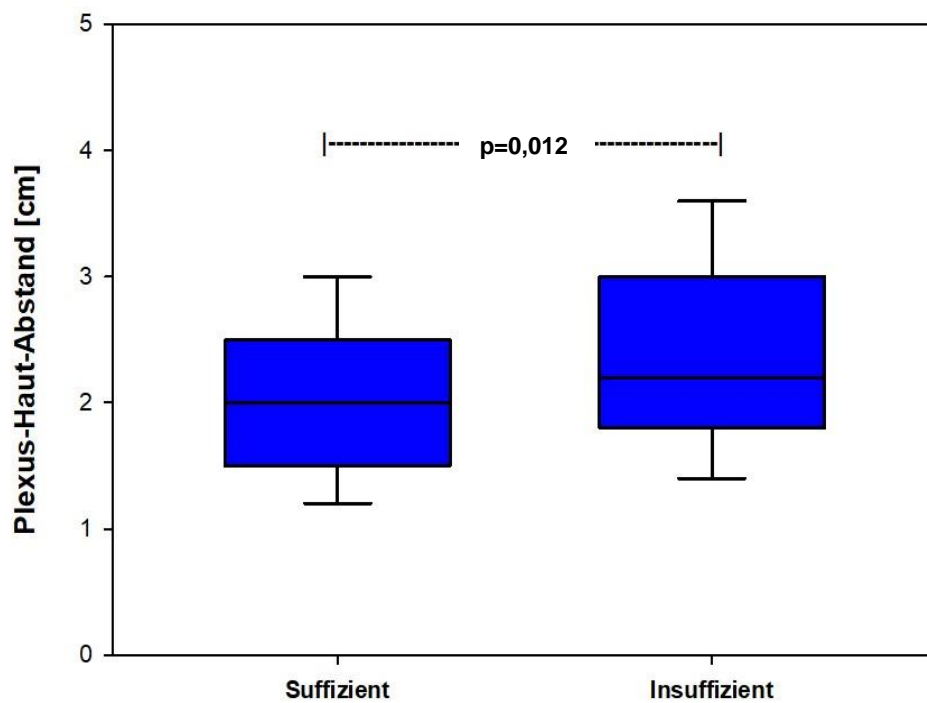


Abbildung 11: Vergleich des Plexus-Haut-Abstandes suffizienter gegenüber insuffizienter Blockaden
Suffizient Median (Interquartilsabstände): 2 (1,5-2,5)
Insuffizient Median (Interquartilsabstände): 2,2 (1,8-3)

Die Abbildungen 10 & 11 verdeutlichen, dass PatientInnen mit einem niedrigeren BMI bzw. einem verringerten Plexus-Haut-Abstand supraclaviculär gemittelt suffizientere Blockaden aufwiesen (Median BMI 25,1 vs. 27,1, $p = 0,001$; Median Plexus-Haut-Abstand [cm] 2,0 vs. 2,2, $p = 0,012$).

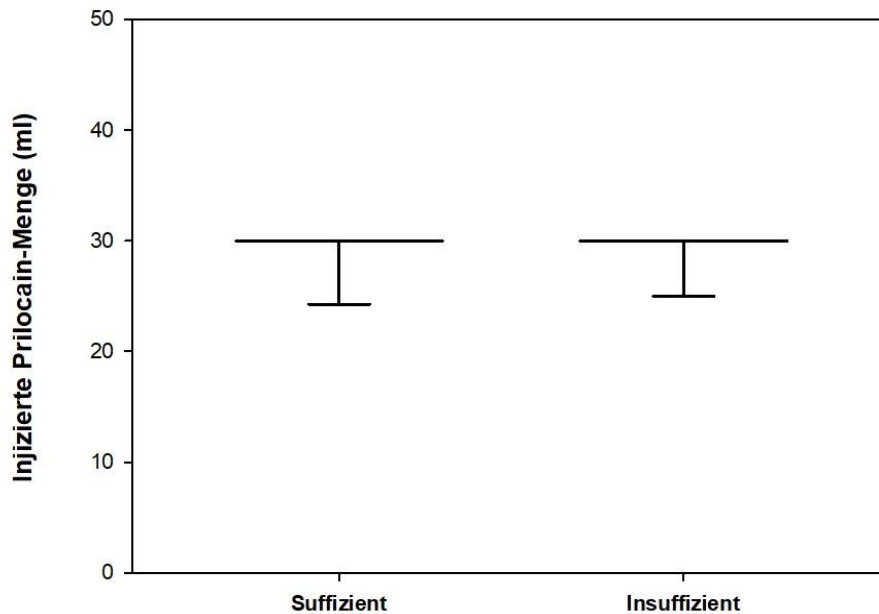


Abbildung 12: Vergleich der injizierten Prilocain-Menge suffizienter gegenüber insuffizienter Blockaden bei SCB
Suffizient/Insuffizient Median (Interquartilsabstände): **30 (30)**

Abbildung 12 führt exemplarisch die applizierten Prilocain-Mengen im Rahmen SCB auf. Wurde eine zusätzliche ISB durchgeführt, sind die Lokalanästhetika-Dosen nicht verwertet worden. Dies ermöglichte uns die Vergleichbarkeit der Datensätze.

Es ist ersichtlich, dass die eingesetzten Volumina der verglichenen Gruppen nahezu identisch waren. Dies begründet sich in den allgemeinen Standards der Universitätsmedizin Mainz in der Handhabung mit Lokalanästhetika bei SCB, sodass das untersuchte Merkmal in diesem Fall keinen Einfluss auf die Blockadequalität hatte.

4.3 Analgosedierung

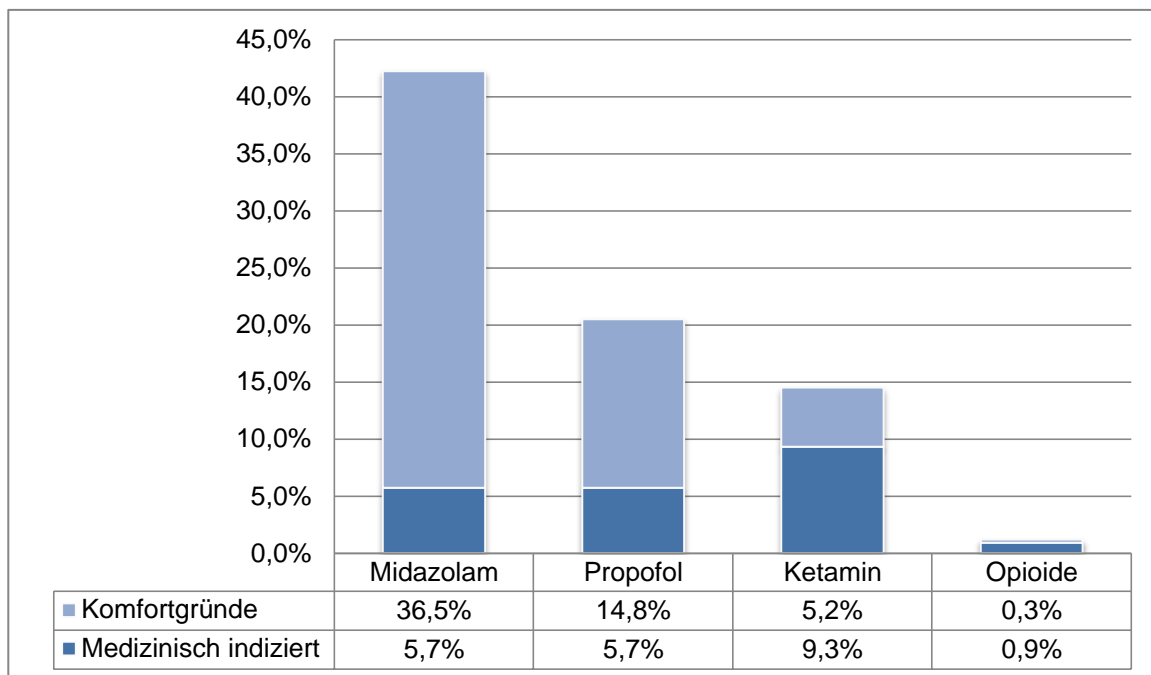


Tabelle 3: (Analgo-)sedativa

Medizinisch indiziert: Gabe von (Analgo-)sedativa unabhängig vom Patientenwunsch bei insuffizienten Blockaden;

Prozentuale Berechnung bezogen auf das Gesamtkollektiv

Kumulativ erhielten 59,7% aller PatientInnen ungeachtet der Indikation und Blockadetechnik eine (Analgo-)sedierung. Hiervon wurden 17,3% im Rahmen einer medizinischen Indikation und 82,7% aus Komfortgründen angewendet. Bezogen auf das Gesamtkollektiv wünschte knapp die Hälfte (49,4%) eine supportive Medikamentengabe.

Tabelle 3 stellt die verwendeten Medikamente entsprechend ihrer Indikation und Anwendungshäufigkeit vor – Wahl und Dosierung oblag hierbei den zuständigen ÄrztInnen. Da häufig eine Kombination zweier Medikamente gewählt wurde, können die angegebenen Prozentzahlen nicht additiv betrachtet werden.

Ketamin als Analgosedativum dominierte bei medizinisch indizierten Gaben, wohingegen reine Sedativa vorrangig aus Komfortgründen eingesetzt wurden. Letztere wurden vor allem durch die Gruppe der Benzodiazepine (Midazolam) repräsentiert.

4.4 Eingriffslokalisation

Unterteilte man alle dokumentierten Plexusanlagen (Gesamtkollektiv) anhand ihrer Eingriffslokalisation, ergaben sich die in Abbildung 13 dargestellten Verteilungen. Von 41 Fällen lagen diesbezüglich keine Informationen vor, sodass 540 Prozeduren berücksichtigt wurden. Eingriffe distal des Ellenbogens überwogen mit 88,9% demonstrativ bei SCB und SCB/ISB, wohingegen proximalere Eingriffe mit 11,1% die Minderheit betrogen.

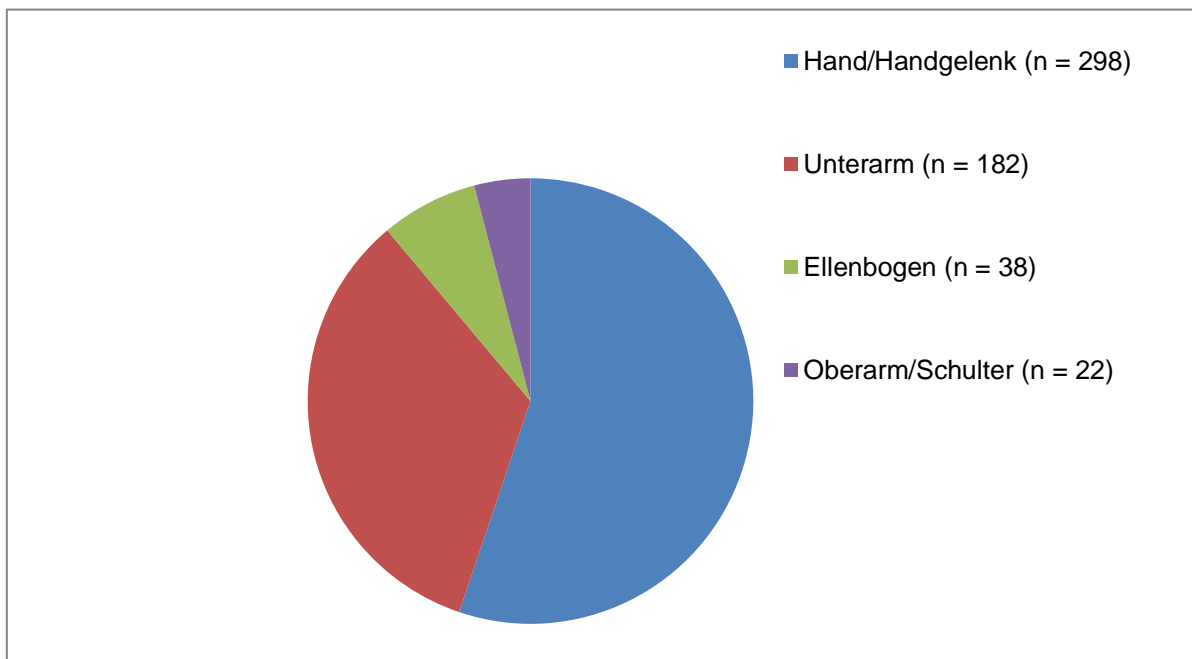


Abbildung 13: Eingriffslokalisationen kumulativ bei SCB und SCB/ISB
Die angegebenen Zahlen sind Absolutwerte; n = 540

Die Tabellen 4 & 5 stellen die Erfolgsraten SCB und kombiniert SCB/ISB bezogen auf die Eingriffslokalisation dar. Die Anzahl an PatientInnen einer Untersuchungsdomäne kann den Graphiken entnommen werden.

Vergleicht man die Erfolgsraten nach Eingriffsort einer Blockadetechnik miteinander, finden sich keine, der jeweiligen Lokalisation geschuldeten, relevanten Unterschiede. Abweichungen in der Erfolgsrate lassen sich mit der variierenden Fallzahl erklären. Analog konnten die Resultate in der Gegenüberstellung SCB und SCB/ISB interpretiert werden.

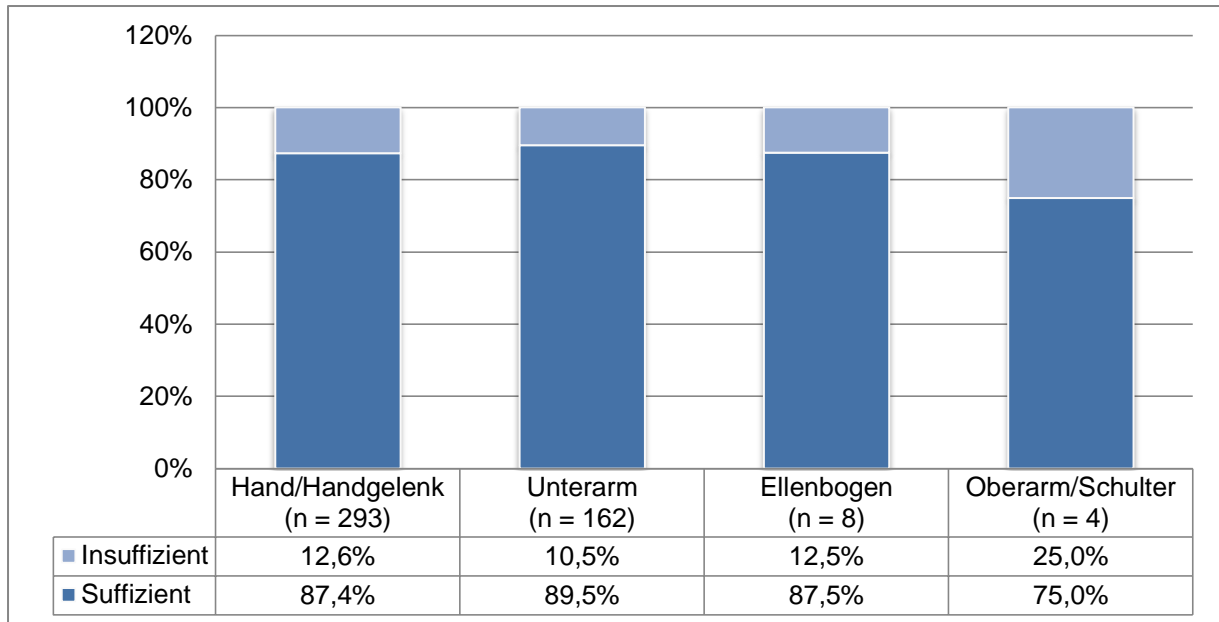


Tabelle 4: Erfolgsraten SCB in Abhängigkeit von ihrer Eingriffslokalisation
n = 467

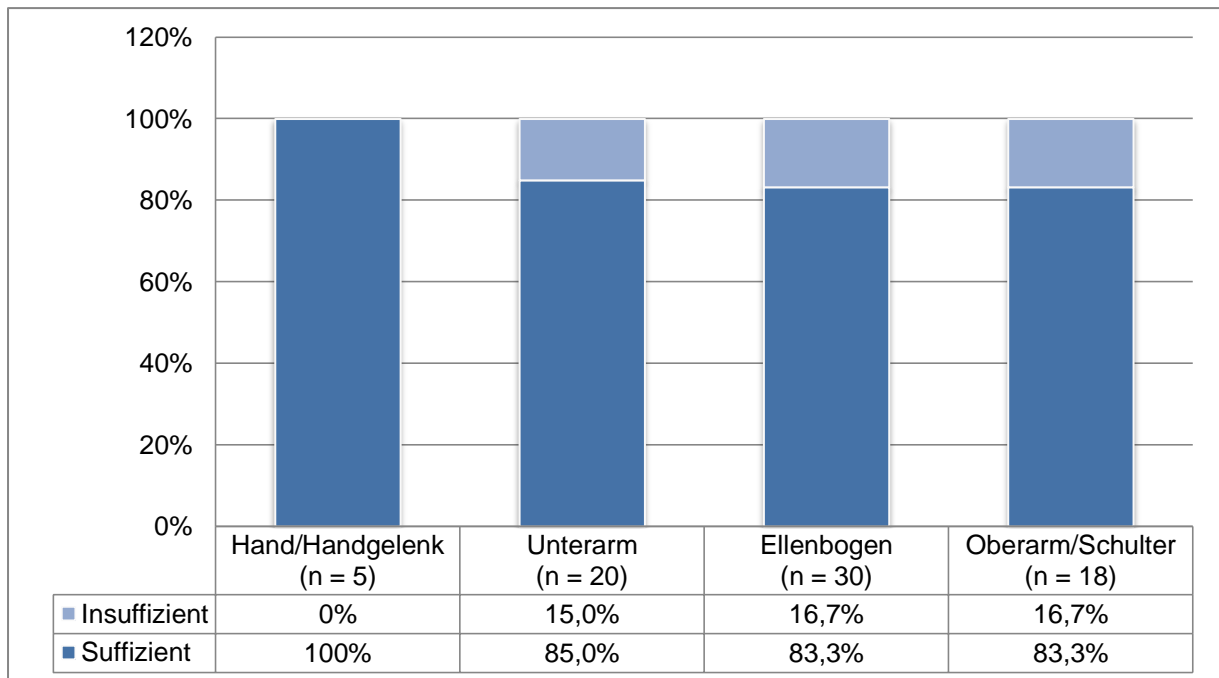


Tabelle 5: Erfolgsraten SCB/ISB in Abhängigkeit von ihrer Eingriffslokalisation
n = 73

4.5 Motorische Blockaden

Nach Durchführung der Plexusanlagen entwickelten grob die Hälfte aller PatientInnen motorische Blockaden (46,8%), hiervon erwiesen sich 96,7% als suffizient. Demgegenüber wiesen 53,2% bis zur Beendigung der operativen Maßnahmen keine motorische Blockade auf, die Mehrheit der Prozeduren (79,2%) war dennoch suffizient.

Tabelle 6 stellt das Vorhandensein einer motorischen Blockade abhängig von der Blockadetechnik (SCB bzw. SCB/ISB) dar. Zusätzlich wird die Erfolgsrate der jeweiligen Kategorie aufgeführt. Zwei PatientInnen wurden aufgrund unzureichender Angaben aus der Wertung genommen.

Unterschiede zwischen den Blockadetechniken hinsichtlich des Auftritts einer motorischen Blockade und der Erfolgsrate erwiesen sich als marginal und sind auf differente Fallzahlen zurückzuführen.

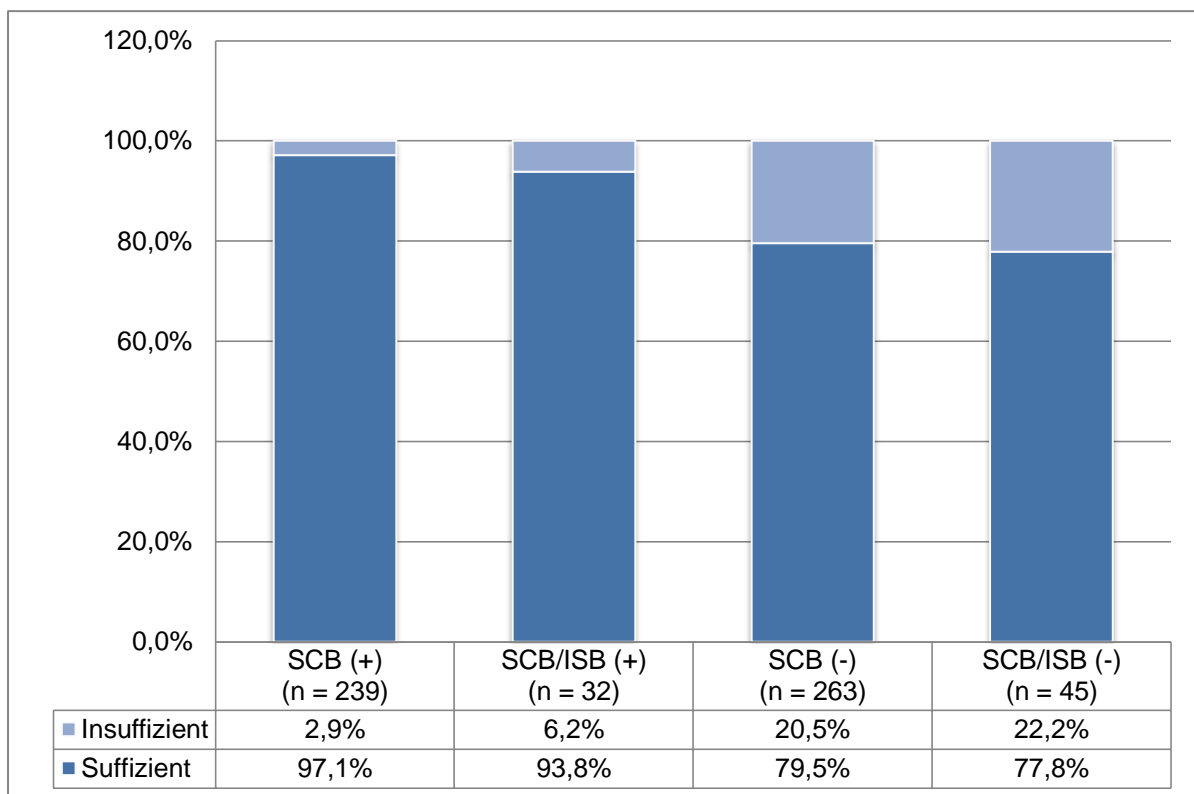


Tabelle 6: Motorische Blockaden in Abhängigkeit von der Blockadetechnik

SCB (+) bzw. SCB/ISB (+): Vorhandene motorische Blockade bei SCB bzw. SCB/ISB; SCB (-) bzw. SCB/ISB (-): Keine motorische Blockade bei SCB bzw. SCB/ISB

n = 579

4.6 Komplikationen

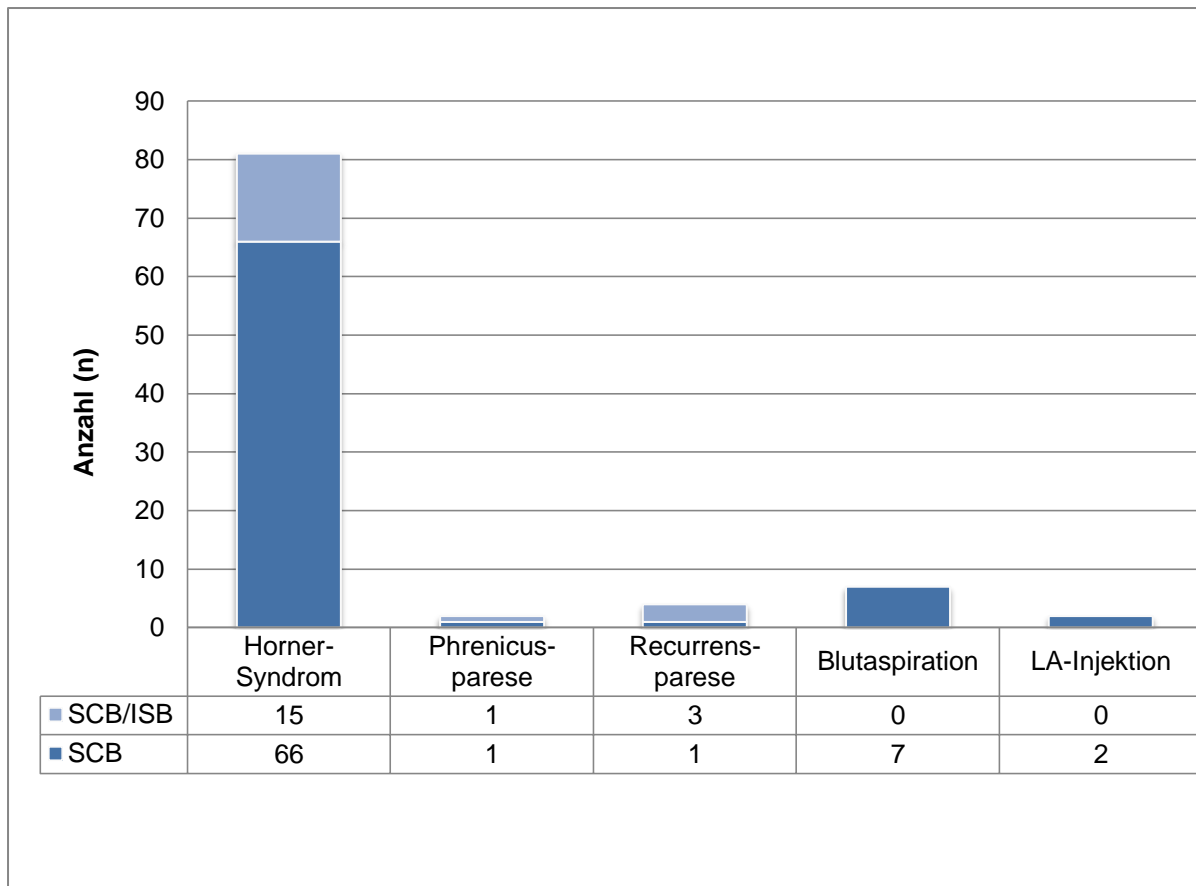


Tabelle 7: Komplikationen unterteilt nach SCB und SCB/ISB

LA-Injektion = Lokalanästhetika-Injektion; Die angegebenen Zahlen sind Absolutwerte

Tabelle 7 visualisiert die aufgetretenen Komplikationen innerhalb unseres Gesamtkollektivs unterteilt nach SCB und SCB/ISB.

Ein temporäres Horner-Syndrom trat bei 81 von 581 (13,9%), eine Blutaspiration bei 7 von 581 Fällen (1,2%) während SCB auf. Weitere Komplikationen lagen unterhalb der 1%-Grenze.

Zudem gaben zwei PatientInnen periinterventionell Parästhesien an, welche sich im Verlauf regredient zeigten und zweimalig wurden Kreislaufdepressionen registriert. Während der ganzen Dokumentationszeit wurde kein Auftritt eines klinisch relevanten Pneumothorax oder eines neurologischen Defizits verzeichnet.

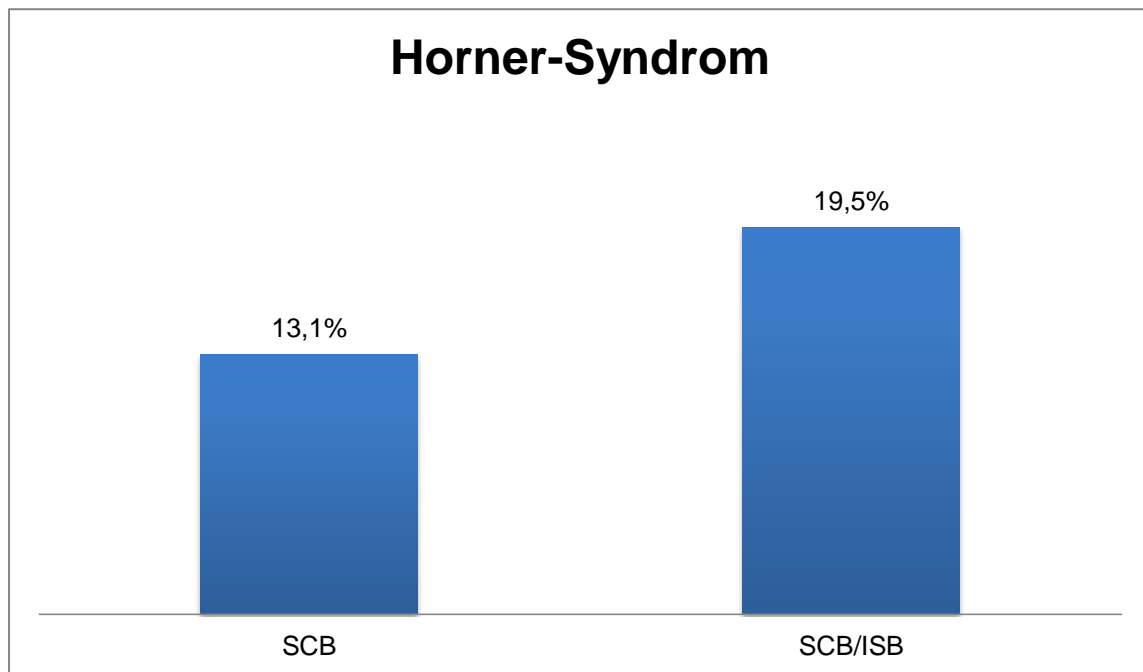


Tabelle 8: Auftritt eines Horner-Syndroms im Vergleich SCB und SCB/ISB

Weiterführend vergleicht Tabelle 8 den Auftritt eines Horner-Syndroms bei SCB und SCB/ISB. Ein Horner-Syndrom trat sichtbar häufiger bei kombinierten im Gegensatz zu alleinigen supraclaviculären Blockaden auf (13,1% vs. 19,5%, $p < 0,05$).

4.7 Patientenzufriedenheit

Kumulativ zeigten sich 95,7% der PatientInnen mit dem primären Regionalanästhesieverfahren zufrieden. PatientInnen, die im Verlauf auf eine Allgemeinanästhesie wechselten oder ein vergleichbares lokoregionales Verfahren erhielten und keine Angabe zu ihrer Zufriedenheit machten, wurden der Patientenunzufriedenheit zugerechnet. Somit sind alle Datensätze mit in die Wertung eingegangen.

Isolierte Betrachtungen von SCB bzw. SCB/ISB sind Tabelle 9 zu entnehmen – es ergab sich hierbei kein wesentlicher Unterschied.

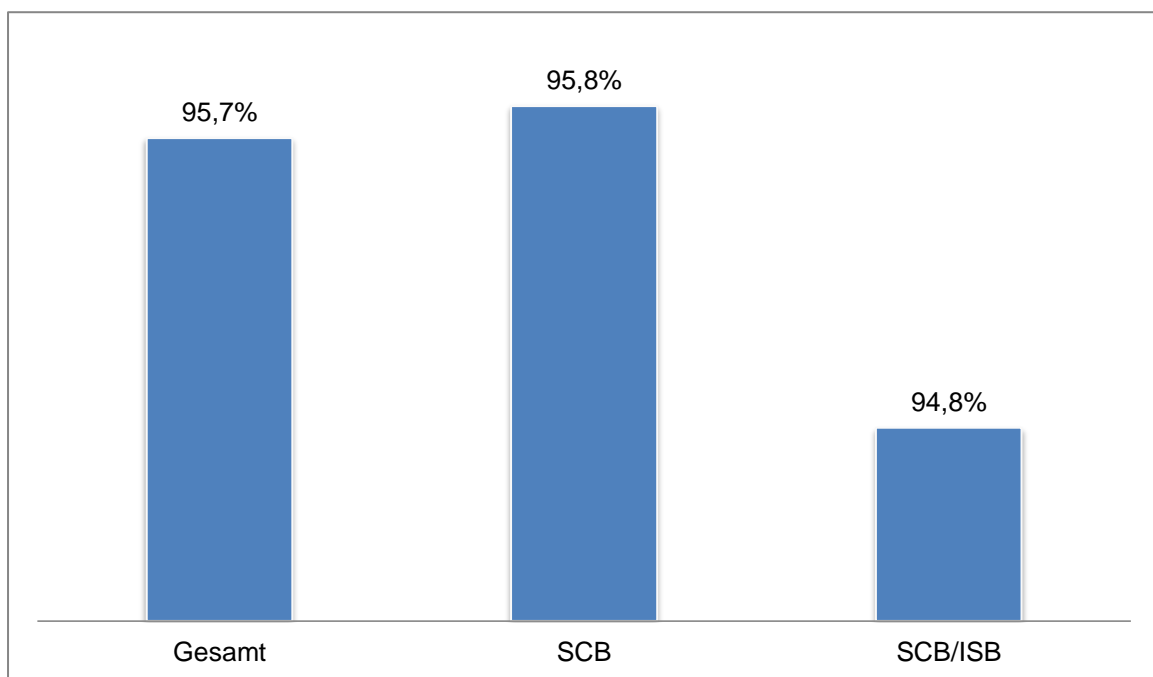


Tabelle 9: Patientenzufriedenheit

V) Diskussion

In der vorliegenden prospektiven Anwendungsstudie erhielten binnen eines Zeitraumes von 19 Monaten 504 PatientInnen nach entsprechender Indikationsstellung eine alleinige supraclaviculäre Plexusblockade. Ein Studienziel war die Evaluation dieses Verfahrens mit Erhebung von Erfolgsraten.

Innerhalb unseres Patientenkollektivs fanden sich 87,7% suffiziente und nur 12,3% insuffiziente Prozeduren bei SCB. Betrachtet man kumulativ die Ursachen insuffizienter Verfahren bei SCB und SCB/ISB, ist mehrheitlich eine unzureichende (partielle) Analgesie oder Anästhesie vor Hautschnitt benannt worden. Vor diesem Hintergrund genügte bei 81,1% insuffizienter Blockaden eine supportive Analgosedierung, lediglich 14,9% benötigten eine Konversion zur Allgemeinanästhesie und 4% erhielten ein alternatives lokoregionales Verfahren.

Wurden hierbei die PatientInnen mit Allgemeinanästhesie auf das Gesamtkollektiv bezogen, zeigte sich, dass diese Gruppe nur 1,9% ausmachte und bei 98,1% der Eingriff mit einer peripheren Regionalanästhesie oder einem gleichwertigen Verfahren durchgeführt werden konnte. Erwähnt werden muss hierbei noch einmal, dass geplante Allgemeinanästhesien aus operativen Gründen (z.B. zusätzliche Entnahme von Beckenkammspongiosa) nicht in diese Wertung mit einbezogen wurden. Dies betraf jedoch nur zwei PatientInnen.

Ein zu Beginn aufgeführtes vergleichbares Studiendesign mit analoger Fallzahl stellten Perlas et al. [46] im Jahre 2009 vor, bei welchem sie 510 PatientInnen einer ultraschallgesteuerten SCB unterzogen und anschließend Erfolgsraten und klinisches outcome erhoben. Hierbei zeigten 94,6% der StudienteilnehmerInnen eine ausreichende Anästhesie nach Durchführung der Blockade und 2,6% erhielten eine ungeplante Allgemeinanästhesie. Bezugnehmend auf die Vorteile einer Regionalanästhesie gegenüber der Allgemeinanästhesie, erscheint die niedrige Konversionsrate hier besonders relevant. Trotz überwiegend gesunder PatientInnen der ASA-Klassen I-II (81,9%) innerhalb unseres Kollektivs und der damit einhergehenden vergleichbar geringen Wahrscheinlichkeit einer erhöhten Morbidität und Mortalität nach Allgemeinanästhesie, stellen die invasive Beatmung und deren Entwöhnung sowie teils gravierende Eingriffe in kardiale und vaskuläre Funktionsprinzipien, einen Risikofaktor für verzögerte Rekonvaleszenzen und

prolongierte Hospitalisierungen dar. Dies setzt ÄrztInnen und PatientInnen vor eine große Herausforderung und erzeugt zudem ein ökonomisches Problem.

Entgegen diesen Darstellungen, erscheint die Kombination von Regional- und Allgemeinanästhesie für Operationen der oberen Extremität in vielen Studien beliebt. Koltka et al. [82] untersuchten bei 50 ASA I-III-PatientInnen, die sich einer arthroskopischen Schulteroperation unterzogen und hierfür entweder eine single-shot-SCB oder -ISB erhielten, gegenüberstellend u.a. Effektivität der Blockaden, postoperativen Analgesiebedarf und Komplikationsraten. Alle Blockaden wurden präoperativ angelegt und anschließend eine Allgemeinanästhesie eingeleitet. Die Erklärung einer Kombination fand sich hierbei weder in der Operationstechnik noch in der Patientenklientel begründet.

Ebenfalls wurde in vielen Studien, ergänzend zur ultraschallgesteuerten Anlage, ein Nervenstimulator verwendet, obwohl sich die Überlegenheit in der Kombination beider Verfahren nicht bestätigen ließ. [83]

Liu et al. [75] untersuchten in ihrer prospektiven Studie insgesamt 654 SCB im Vergleich zu 515 ISB bei ambulanten arthroskopischen Schulteroperationen und generierten hierbei sehr hohe Erfolgsraten (99,8%) und kaum Konversionen zur Allgemeinanästhesie (0% für ISB und 0,3% für SCB). Im Unterschied zu unserer Arbeit erfolgte eine intraoperative Sedierung (meist mit Propofol) nach Ermessen des Anästhesieteams. Auch wurde erst kurz vor Blockade das Verfahren (SCB oder ISB) durch die Durchführenden festgelegt – Gründe hierfür konnten exemplarisch die sonographische Visualisierung, Patienteneigenschaften oder eigene Handfertigkeiten betreffen. [75] Dies mag möglicherweise die höheren Erfolgsraten erklären.

Unser Studiendesign beinhaltete, dass die Gabe von Analgosedativa, sofern medizinisch nicht indiziert, durch unsere durchführenden ÄrztInnen nur auf Wunsch der PatientInnen initiiert wurde und nicht routinemäßig erfolgte. So erhielten lediglich 49,4% eine supportive Medikamentengabe. Unterscheidungen zwischen SCB und SCB/ISB wurden hierbei nicht getroffen. Sedativa der Wahl aus Gründen des Komforts stellten Benzodiazepine (Midazolam), gefolgt von Propofol, dar (36,5% vs. 14,8%). Ketamin dominierte bei medizinisch indizierten Gaben aufgrund seiner analgetischen Kompetenz und Opiode spielten in beiden Gruppen eine eher untergeordnete Rolle.

Wurden unsere PatientInnen anschließend zu ihrem Urteil bzgl. des durchgeführten Verfahrens befragt, zeigte sich gesamtheitlich (95,7%) und unterteilt nach Blockadetechnik eine hohe Zufriedenheit (SCB 95,8%, SCB/ISB 94,8%). Diese zufriedenstellenden Ergebnisse sind mit herangezogenen Studien vergleichbar. [48][84]

5.1 Patienten- und fallspezifische Einflussfaktoren

Um mögliche Einflussgrößen auf den Blockadeerfolg von SCB und SCB/ISB in unserem Kollektiv zu identifizieren, wurden vor Studienbeginn 5 Parameter definiert, die nachweislich oder mutmaßlich auf die Blockadequalität der genannten Techniken einwirken können. Mit Ausnahme der applizierten Prilocain-Dosen, wurde in der Auswertung keine Unterscheidung zwischen einer isolierten (SCB) oder kombinierten (SCB/ISB) Blockade gemacht.

Merkmale, welche hierbei patientenspezifisch variierten, umfassten die sonographisch gemessene Tiefe des Plexus brachialis supraclaviculär und den BMI. Die Korrelation beider Faktoren konnten Mistry et al. [85] in ihrer Arbeit aus dem Jahre 2016 belegen. Sie untersuchten bei 84 PatientInnen, die sich einer ultraschallgesteuerten supraclaviculären Blockade unterzogen, welche körpereigenen Faktoren (z.B. Größe, Alter, Gewicht) die Tiefe des Plexus brachialis beeinflussen. Dafür bestimmten sie sonographisch bei allen KandidatInnen zwei im Vorhinein festgelegte Distanzen: Zum einen den Abstand zwischen der Haut und dem oberflächlichsten (SD, *short distance*), zum anderen den Abstand zwischen der Haut und dem tiefsten (LD, *long distance*) hypoechogenen neuralen Element. Die *mean* SD betrug hierbei $0,60 \pm 0,262$ cm und die *mean* LD $1,34 \pm 0,385$ cm. Dabei ergab sich eine signifikante Korrelation zwischen der ermittelten Plexustiefe (SD sowie LD) und dem Gewicht bzw. dem BMI, sprich je tiefer der Plexus, desto höher der BMI/das Gewicht.

In dieser Arbeit konnte weiterführend anhand eines großen Patientenkollektivs demonstriert werden, dass sowohl PatientInnen mit einem höheren BMI als auch solche mit einem erhöhten Plexus-Haut-Abstand gemittelt insuffizientere Blockaden aufwiesen. So betrug der Median des BMI suffizienter gegenüber insuffizienter Prozeduren 25,1 vs. 27,1 und der des Plexus-Haut-Abstandes 2,0 vs. 2,2 cm. Dabei ist stark anzunehmen, dass auch in diesen Datensätzen beide Merkmale eine positive Korrelation beinhalteten.

Im Einklang dazu untersuchte eine Studie von Franco et al. [86] den Einfluss des Körpergewichtes auf die Erfolgsrate von 2020 supraclaviculären Blockaden. Dabei war Adipositas (definiert als $\text{BMI} \geq 30$) mit einer dezent verminderten Erfolgsrate im Vergleich zu nicht adipösen PatientInnen verbunden, wenngleich sich in beiden Fällen weiterhin hohe Erfolge zeigten (94,3% bei adipösen und 97,3% bei nicht

adipösen PatientInnen). Zwei groß angelegte Arbeiten, die bei > 9000 zentralen, paravertebralen und peripheren Nervenblöcken (SCB und ISB inbegriffen) die Einflussrate von Patientencharakteristika (insbesondere des BMI) auf den Blockadeerfolg untersuchten, stellten sogar weiter heraus, dass ein BMI > 25 mit signifikant höheren Blockademisserfolgen assoziiert war [87] und ein BMI ≥ 30 die höchste Misserfolgsrate darstellte. [88] Allerdings verwendeten alle vorgestellten Studien zur Blockanlage einen Nervenstimulator und sind damit nicht vollständig auf ultraschallgesteuerte Anlagen übertragbar.

Zusammenfassend zeigte sich jedoch, dass BMI und Plexus-Haut-Abstand als miteinander korrelierende Einflussfaktoren auf die Erfolgsrate supraclaviculärer Zugänge fungieren und Adipositas die Erfolge supraclaviculärer und interscalenärer Blockaden beeinflussen kann.

Weitere Variablen, die wir untersuchten, betrafen fallspezifische Faktoren, spezieller die Erfahrung der AnwenderInnen, die SCB-Schnitt-Zeit und die Menge der verabreichten Lokalanästhetika.

Um den individuellen Faktor *Erfahrung* in der Durchführung von Regionalanästhesien miteinander vergleichen zu können, setzten wir ≥ 20 supraclaviculäre Plexusblockaden als Maßstab für *erfahrene* AnwenderInnen fest. Wurden die Anlagen supervidiert, gingen nur die, die Blockade ausführenden ÄrztInnen, in die Wertung mit ein. Unsere Ergebnisse verdeutlichen dabei, dass das Merkmal *Erfahrung* Blockadeerfolge nicht maßgeblich beeinflusste. Dies kann eine leicht zu erlernende Technik suggerieren, da sich sowohl der supraclaviculäre wie auch der interscalenäre Zugang u.a. durch eine oberflächliche Lage der Nervenstrukturen im Bereich der Punktion auszeichnen, welche auch ungeübten AnwenderInnen die sonographische Visualisierung des Plexus erlaubt. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass *unerfahrene* MedizinerInnen in einer Vielzahl von Fällen von einem erfahrenen Supervisor angeleitet bzw. unterstützt wurden, sodass auch hier auf einen höheren Erfahrungsgrad zurückgegriffen wurde.

Gauss et al. [77] konnten kongruent zu unseren Ergebnissen in einer 6366 PatientInnen umfassenden Arbeit herausstellen, dass ultraschallgestützte periclaviculäre Blockaden, die von *unerfahrenen* AnwenderInnen (≤ 20 Anlagen) durchgeführt wurden, keinen signifikanten Risikofaktor für das Auftreten von Komplikationen (speziell Pneumothoraces) darstellten.

Mit der SCB-Schnitt-Zeit definierten wir das Zeitintervall zwischen Beendigung der Plexusblockade(n) [Nadelrückzug] bis zur ersten chirurgischen Intervention an dem Patienten/an der Patientin. Dies bezog sich somit gleichermaßen auf zusätzliche ISB nach Durchführung der zweiten Blockade.

Prinzipiell kann die sonographisch verifizierte Verabreichung einer ausreichenden Lokalanästhetika-Dosis an die Zielstrukturen auf eine unzureichende SCB-Schnitt-Zeit bei insuffizienten Blockaden hindeuten. So ist auf unser Patientenkollektiv bezogen anzunehmen, dass eben solche Fälle, in denen eine ungenügende Anästhesie/Analgesie benannt wurde, von einer längeren SCB-Schnitt-Zeit profitiert hätten. Wenigstens 2 PatientInnen mit isolierter SCB gaben erst zum OP-Ende an, dass eine ausreichende Blockadequalität vorliegt. Obwohl sich kein relevanter Unterschied fand, zeigte die Gegenüberstellung suffizienter vs. insuffizienter Blockaden eine leichte Differenz des SCB-Zeitintervalls (Median [Min.] 36 vs. 32). Vergleichbare Zeitspannen wies eine herangezogene Studie von Gamo et al. [44] auf. Sie definierten für SCB analog zur SCB-Schnitt-Zeit eine *waiting time for surgery* (Def.: Zeitintervall nach Entfernung der Punktionsnadel bis zum Beginn der Operation), welche hier 34,1 Minuten (10-64 Min.) umfasste. An Lokalanästhetika wurden Ropivacain und Lidocain verwendet, kumulative Dosen beinhalteten 25–30 ml. Die Gabe erfolgte in einer Multiinjektionstechnik. Allerdings beschrieben die Autoren, dass 25,4% der PatientInnen (n = 51) zum Hautschnitt eine zusätzliche Lokalanästhesie benötigten, da die Operation oft vor Ausbildung einer vollständigen Analgesie begonnen wurde. Zusätzlich wiesen alle PatientInnen zum OP-Ende eine komplette sensorische und motorische Blockade auf. Dies unterstreicht die vorangestellten Annahmen.

Der Ergebnisteil stellt exemplarisch die injizierten Prilocain-Mengen im Rahmen von SCB vor. Verwendet wurden für beide Blockadetechniken überwiegend Prilocain und Ropivacain - bei SCB standardmäßig in der Dosierung 30:10 (30 ml Prilocain 1% und 10 ml Ropivacain 0,75%). Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden in diesem Fall ausschließlich die Gaben bei SCB berücksichtigt. Aufgrund nur geringfügiger Abweichungen, suggerieren die applizierten Lokalanästhetikavolumina keinen Einfluss auf die Blockadequalität, obgleich herangezogene Studien bei Empfehlungen zu Wahl und Dosis der Medikamente stark differieren. [89][90]

Ihnen gemeinsam bleibt der Versuch, die Menge zu eruieren, bei der sich effektive Blockadequalitäten und niedrige Komplikationsraten zeigen. Erstaunlicherweise konnten jedoch Hussain et al. [73] in ihrer Metaanalyse keine Interaktion zwischen einer postoperativen respiratorischen Dysfunktion und dem Lokalanästhetikavolumen erkennen.

Relevant scheint im Gegensatz hierzu jedoch die Anwendung einer Doppelinjektionstechnik im Vergleich zur Singleinjektionstechnik bei SCB. Bei Ersterer erhöhten sich die Erfolgsraten sowie die Dauer motorischer und sensorischer Blockaden. [91] Analog dazu wurde in unserer Patientenklientel fast ausschließlich die Multiinjektionstechnik verwendet.

Somit erwies sich der Blockadeerfolg größtenteils unbeeinflusst von der Erfahrung der AnwenderInnen. Die SCB-Schnitt-Zeit scheint in einem entscheidenden Maße die Blockadequalität zu prägen, obgleich sich bei uns kein relevanter Unterschied zeigte. Ferner fallen die Volumina der applizierten Lokalanästhetika vermutlich beim Auftritt von Komplikationen weniger, in Bezug auf die Blockadequalität jedoch stärker ins Gewicht. Eine einheitliche Empfehlung zur Dosierung ergab sich hieraus bisher nicht.

5.2 Komplikationen

Komplikationen wurden perioperativ überwacht und anschließend notiert. Eine routinemäßige postoperative Visite erfolgte nicht. Ebenso registrierten wir nur klinisch relevante Komplikationen, sprich es wurden in Abwesenheit klinischer Symptome keine weiterführenden Untersuchungen – z.B. sonographisches Screening hinsichtlich Pneumothorax oder Phrenicusparese – zur Verifizierung durchgeführt.

Unser Patientenkollektiv wies 81 Fälle (13,9%) eines Horner-Syndroms auf. Unterteilt trat diese Komplikation bei 13,1% der PatientInnen mit isolierter SCB und bei knapp einem Fünftel (19,5%) der PatientInnen mit kombinierter Blockade auf. Wie eingangs erwähnt, wird in gängigen Studien die Inzidenz eines Horner-Syndroms bei SCB sehr divers angegeben, findet sich aber meist < 20% wieder und schließt damit unsere Ergebnisse mit ein. [46][49] Ferner zeigte sich, analog zur Literatur, die Auftrittswahrscheinlichkeit eines Horner-Syndroms bei ISB im Vergleich zu SCB erhöht. Gegensätzlich zu unseren Untersuchungen wurden jedoch bisher fast ausschließlich Vergleiche zwischen isolierten SCB und ISB beschrieben – die Datenlage zu kombiniert supraclaviculären-interscalenären Blockaden ist rar. Betrachtet man die Tatsache, dass wir beide Techniken koppelten, trat diese Komplikation im Vergleich zu isolierten SCB nicht bedeutend häufiger auf. Im Gegenteil finden sich des Öfteren Inzidenzen eines Horner-Syndroms bei alleinigen ISB, welche unser Ergebnis einer kombinierten Anlage weit übersteigen. [49][76]

Das Horner-Syndrom kann neben seiner typischen Trias in seltenen Fällen auch hypotone Kreislaufreaktionen verantworten, welche durch die temporäre Blockade sympathischer Nervenfasern des Ganglion stellatum entstehen. In unserer Klientel wies jedoch kein Patient/keine Patientin eine behandlungsbedürftige Kreislaufdepression auf, die in zeitlichen Zusammenhang mit dem Auftritt eines Horner-Syndroms gebracht werden kann.

Gaben PatientInnen nach der Plexusanlage Symptome an, welche auf eine respiratorische Funktionsbeeinträchtigung hinwiesen, wurden weitere diagnostische Maßnahmen veranlasst. Hierbei registrierten wir 2 Fälle mit Phrenicus- und 4 Fälle mit Recurrensparesen. Unterschiede zwischen SCB und SCB/ISB ließen sich aufgrund der geringen Fallzahl nicht beurteilen.

Die Phrenicusblockade stellt bei ISB ein häufiges, ernstzunehmendes Risiko dar. Herangezogene Arbeiten dokumentierten Phrenicuspareesen bei ISB mit 100% [92] oder fassten zumindest die Inzidenz einer ipsilateralen Phrenicusparese mit einer konsekutiven einseitigen Zwerchfellparese mit nicht minder als 20% zusammen. [93] Wiesmann et al. [71] untersuchten in ihrer Studie u.a. die Inzidenz einer partiellen oder kompletten einseitigen Zwerchfellparese nach Erhalt einer ISB oder SCB. Hierfür ermittelten sie vor Blockanlage und an zwei postoperativen Zeitpunkten die Funktion des N. phrenicus mit Hilfe der Sonographie. Zusätzlich wurden die Ergebnisse von Spirometrie und Pulsoxymetrie und der Auftritt einer Dyspnoe registriert. Die Inzidenz kompletter Zwerchfellpareesen stellte sich bei ISB an beiden postoperativen Zeitpunkten im Vergleich zu SCB etwa doppelt so hoch dar (exemplarisch erster postoperativer Tag (POD1): SCB 12% vs. ISB 25%). Zeitgleich zeigten sich an POD1 die FVC (*Forced vital capacity*) und FEV1 (*Forced expiratory volume in 1 second*) bei ISB vs. SCB verringert. Interessanterweise hatten jedoch die meisten PatientInnen mit Dyspnoe (POD1: SCB 10,3%, ISB 8,9%) keine Parese. Vergleichbare Ergebnisse lieferte eine Studie von Kim et al., [84] in welcher sich 30 Minuten nach Plexusanlage bei ISB im Vergleich zu SCB signifikant erhöhte Raten an Zwerchfellpareesen ergaben (SCB 66,7%, ISB 92%), in der PACU (*post-anesthesia care unit*) jedoch nur 6,1% aller PatientInnen eine Dyspnoe beklagten und nur ein Patient von einer Heiserkeit betroffen war.

Eine Recurrensparese trat in unserer Studienpopulation geringfügig häufiger bei SCB/ISB auf, eine persistierende Heiserkeit resultierte hieraus nicht. Diese Ergebnisse können gegebenenfalls analog zur Metaanalyse von Schubert et al. [72] interpretiert werden, in welcher eine Heiserkeit bei SCB zwar seltener auftrat, zwischen SCB und ISB jedoch kein signifikanter Unterschied bestand. Auf der anderen Seite stellte die Metaanalyse von Guo et al. [94] eben diesen Unterschied als statistisch signifikant heraus.

Es wird deutlich, dass das Risiko einer respiratorischen Dysfunktion, welche speziell für PatientInnen mit vorbekannten Lungenerkrankungen nicht ungefährlich ist, insbesondere bei ISB beträchtlich erhöht sein kann. Unter Beachtung der Kontraindikationen ergeben sich hieraus jedoch sehr selten klinisch relevante Konsequenzen, wodurch sowohl bei SCB wie auch bei ISB keine routinemäßige postoperative Diagnostik erforderlich wird, wie unsere Ergebnisse demonstrieren. Ebenso stellte sich die Funktionsbeeinträchtigung immer temporär dar und erlaubt damit weiterhin das ambulante Vorgehen.

Als zweithäufigste Komplikation erfassten wir Blutaspirationen mit 1,2% bei isolierten SCB. Dabei stellt eine arterielle Fehlpunktion bei eingeschränkter Komprimierbarkeit der periclaviculären Region ein zu beachtendes Risiko dar, wenngleich in keinem Fall eine relevante Blutung oder ein Hämatom verzeichnet wurde. Durch Anwendung einer Sonographie konnte diese Komplikation bei ISB und SCB auf ein Minimum reduziert werden. [76] Nichtsdestotrotz müssen Gerinnungsstatus und Antikoagulation im Rahmen der Präevaluation und vor Blockadeanlage evaluiert werden.

Des Weiteren gaben 2 PatientInnen Hinweise auf eine Lokalanästhetikaintoxikation – dokumentierte Symptome waren hierbei ein metallischer Geschmack sowie ein unspezifisches Kribbeln der Zunge im Sinne des Prodromalstadiums. Ernstzunehmende kardiologische oder neurologische Komplikationen traten nicht auf. Die Symptomkomplexe zeigten sich jeweils nach kurzer Zeit reversibel und die angelegten Blockaden dennoch suffizient, sodass auf kein Alternativverfahren gewechselt werden musste.

Über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg wurde kein klinisch relevanter Pneumothorax oder ein neurologisches Defizit notiert.

Somit lässt sich zusammenfassend sagen, dass ISB das Risiko eines temporären Horner-Syndroms sowie einer einseitigen Phrenicus- und Recurrensparese gegenüber SCB sichtbar erhöhen, daraus aber selten ein klinischer Handlungsbedarf resultiert.

Weitere Komplikationen sind aufgrund der ultraschallgestützten Durchführung selten und in den wenigsten Fällen schwerwiegend. Die Kombination aus SCB und ISB erhöhte zudem die Komplikationsraten in keinem bedeutenden Ausmaß.

5.3 Die supraclaviculäre Blockade bei chirurgischen Eingriffen der Schulter

Die ISB gilt bei operativen Eingriffen im Bereich der Schulter schon lange als das regionalanästhesiologische Verfahren der Wahl, [95] nicht zuletzt aufgrund eines erfolgreichen postoperativen Schmerzmanagements - verglichen mit herkömmlichen Maßnahmen zeigten sich ISB in der Eindämmung postoperativer Schmerzen nach arthroskopischen Schulteroperationen am effektivsten. [96]

Genauer, ermöglichte der Erhalt einer SS-ISB bei Schulteroperationen postoperativ einen Opioid-sparenden Effekt bis zu 12 Stunden sowie eine effektive Schmerzkontrolle bis zu 8 Stunden in Ruhe und 6 Stunden bei Bewegung. Allerdings zeigten sich hiernach keine nachweislichen analgetischen Vorteile im Vergleich zu PatientInnen ohne ISB. [97]

Die Effektivität supraclaviculärer Blockaden bei Interventionen der distalen oberen Extremität wird durch unsere Ergebnisse verdeutlicht. Für Eingriffe an Hand/Handgelenk, Unterarm und Ellenbogen stellten sich ähnlich hohe Erfolgsraten ein. Vergleichsweise wenige Eingriffe mit isolierter SCB betrafen Oberarm und Schulter (n = 4). Bezugnehmend auf die anfänglichen Überlegungen, schien die Blockade von Nervenstrukturen, welche ebenfalls an der Innervation der Schulter (-region) eine Rolle spielen, durch isolierte SCB ungewiss und wurde in der Literatur kontrovers beschrieben. Exemplarisch wurde die Kombination aus einer supraclaviculären und suprascapulären Blockade als Alternative zu isolierten ISB dargestellt und zeigte gleichwertige postoperative Analgesieeffekte. [92] Dabei legten die anatomischen Arbeiten von Arad et al. [31] nahe, dass der supraclaviculäre Zugang - durch die enge topographische Nachbarschaft – möglicherweise eine temporäre Blockade des N. suprascapularis mitbewirkt. Immerhin konnten die Autoren belegen, dass dieser in den meisten Fällen aus der *posterioren Division* des Truncus superior entspringt und damit nur unweit vom Punktionsort supraclaviculärer Blockaden lokalisiert ist. Geht der N. suprascapularis bereits früher aus dem Plexus hervor, scheint die kraniale Ausbreitung von Lokalanästhetikum bedeutsam zu sein, bei der vermutlich auch Fasern des Plexus cervicalis erreicht werden.

Sicher bestätigen ließ sich jedoch folgend der klinische Nutzen isolierter SCB bei Eingriffen der Schulter. Guo et al. [94] demonstrierten in ihrer Metaanalyse, dass die SCB im Vergleich zur ISB eine gleichwertige postoperative Analgesie für

Schulteroperationen erzielen konnte. Zudem zeigten zwei involvierte Studien eine gleichwertige sensorische Blockade u.a. der Schulterregion zwischen SCB und ISB. Statistische Unterschiede in der Anlagezeit (*procedural time*) und dem Auftritt einer Dyspnoe fanden sich nicht.

Übereinstimmende Ergebnisse brachte die Metaanalyse von Schubert et al. [72] hervor – die Auswertung von 12 involvierten Studien, welche Interventionen der Schulter untersuchten, zeigte 24 Stunden postoperativ vergleichbare Schmerzscores und einen vergleichbaren Morphinäquivalent-Konsum zwischen SCB und ISB.

5.4 Die kombiniert supraclaviculäre-interscalenäre Blockade

In Abhängigkeit von der Eingriffslokalisation erfolgte die SCB isoliert oder kombiniert mit einer ISB. Dabei fand die kombinierte Blockade hauptsächlich bei Interventionen an Ellenbogen, Oberarm und Schulter Anwendung, wurde teils jedoch auch für distalere Eingriffe verwendet. Analog zu SCB generierten SCB/ISB gesamtheitlich (s.u.) und unterteilt nach Eingriffsort (s. Kapitel 4.4, Tabelle 4 & 5) hohe Erfolgsraten bei der initialen Anlage (SCB 87,7% vs. SCB/ISB 84,4%) und führten zu nicht deutlich erhöhten insuffizienten Blockaden (SCB 12,3% vs. SCB/ISB 15,6%). Die gemeinsame Anwendung beider Zugänge führt zu einer nahezu vollständigen Blockade der oberen Extremität und ermöglicht eine breite chirurgische Indikation. Werden Interventionen in der Axilla oder am medialen Oberarm im Innervationsgebiet des 2. (und 3.) Intercostalnerven notwendig, wird eine zusätzliche Lokalanästhesie des N. intercostobrachialis empfohlen. [34]

Mögliche Aussparungen im sensiblen Versorgungsgebiet des N. ulnaris werden für beide Blockaden (insbesondere ISB) benannt, konnten sich jedoch in unserer Arbeit - vermutlich durch die Verabreichung von Lokalanästhetika in Multiinjektionstechnik - nicht bestätigen. Distale Eingriffe an der Ulna führten sowohl bei SCB wie auch bei SCB/ISB zu suffizienten Ergebnissen. Eine isolierte Betrachtung von ISB war jedoch nicht Ziel dieser Dissertation und bedarf weiterer Studien.

Rekhi et al. [98] verglichen in ihrer Studie aus dem Jahre 2020 SCB (n = 20), *low* ISB (n = 20) und SCB/*low* ISB (n = 20) bei Eingriffen der oberen Extremität miteinander. Trotz Verwendung eines Nervenstimulators bei allen Prozeduren, konnten sie nachweisen, dass die kombinierte Blockade schnelle Anschlagszeiten und im Vergleich zur isolierten SCB und ISB eine verlängerte Wirkdauer motorischer und sensorischer Blockaden aufwies (exemplarisch motorische Blockade [Min.]: SCB: $413,68 \pm 60,01$, ISB: $628,42 \pm 27,13$, SCB/ISB: $782,50 \pm 33,17$). Weiterführend evaluierten Saad et al. [99] die kombinierte SCB/ISB als Alternative zur Allgemeinanästhesie (AA) bei PatientInnen mit chronischer Niereninsuffizienz, die einen *brachioaxillären Graft* erhielten und verzeichneten ebenfalls schnelle Anschlagszeiten und lange Wirkspannen motorischer und sensorischer Blockaden nach Erhalt der Regionalanästhesie (RA). Zugleich forderten PatientInnen in der RA- im Vergleich zur AA-Gruppe postoperativ signifikant verzögert supportive Analgetika ein und gaben innerhalb der ersten 24 Stunden ein niedrigeres Schmerzlevel auf der NRS (Numerische Rating-Skala) an. Drei PatientInnen in der RA-Gruppe zeigten ein

Horner-Syndrom, relevante Komplikationen wurden in beiden Gruppen jedoch nicht verzeichnet.

Betrachtet man die unter Kapitel 4.5 dargestellten motorischen Blockaden, fanden sich hinsichtlich der Ausbildung zwischen beiden Vergleichsgruppen (SCB vs. SCB/ISB) kaum Unterschiede (s. Tabelle 6). Etwa die Hälfte aller PatientInnen (46,8%) entwickelte nach der Plexusanlage (SCB oder SCB/ISB) eine funktionelle motorische Einschränkung und die Prozeduren zeigten sich mehrheitlich suffizient (96,7%). Interessanterweise führte die Gabe vergleichbarer Lokalanästhetikamengen in der anderen Hälfte des Patientenguts (53,2%) zu unvollständigen oder fehlenden motorischen Blockaden, unabhängig davon, ob SCB mit ISB kombiniert oder isoliert angewendet wurden. Ebenfalls fanden sich diese Blockaden vergleichbar erfolgreich (SCB 79,5% vs. SCB/ISB 77,8%).

Die Wirkdauer der Plexusanlagen wurde nach Beendigung der operativen Maßnahmen in unserem Studiendesign nicht weiterführend evaluiert – alle suffizienten Prozeduren zeigten während des Eingriffes durchgehend gute anästhetische und analgetische Effekte. Jedoch wäre in Bezug auf die oben aufgeführten Studien anzunehmen, dass die Wirkdauer unserer kombinierten Blockaden die der isolierten SCB weit überstieg. Möglich wäre auch eine Ausbildung motorischer Blockaden nach Beendigung des Überwachungszeitpunktes und damit eine Korrektur gewonnener Ergebnisse.

Die kombinierte Blockade zeigte sich resümierend vergleichbar erfolgreich zur SCB mit nicht deutlich erhöhten Komplikationsraten. Eine beträchtlich verlängerte motorische (und sensorische) Blockade ist anzunehmen.

5.5 Regionalanästhesiologische Blockaden der oberen Extremität im Vergleich

Ist die Anwendung eines regionalanästhesiologischen Verfahrens der oberen Extremität indiziert, stellt die Wahl des Zuganges eine spezielle Herausforderung dar. Differente Ansichten existieren sowohl zur favorisierten Technik sowie zu Erfolgs- und Komplikationsraten und blockiertem Gebiet der einzelnen Zugänge. Vereinfachte Darstellungen, die ISB für Eingriffe der Schulter und des Oberarmes, SCB für Eingriffe des Ellenbogens und Unterarmes und AXB für Operationen der Hand benennen, [100] bilden bestenfalls grobe Orientierungshilfen ab.

Wie aktuelle Studien präsentieren, ist die isolierte SCB eine gleichwertige Alternative zur ISB für Eingriffe der Schulter. Döffert et al. [62] stellten die SCB mit möglichen chirurgischen Interventionen des gesamten Armes zudem als Zugangsweg mit der breitesten Indikation heraus. Hinsichtlich Operationen der Clavicula äußerten viele Autoren Bedenken bei einer alleinigen Blockade des Plexus brachialis – Gründe hierfür finden sich in ihrer kontrovers beschriebenen sensiblen Innervation. [101] Wird eine isolierte ISB für Eingriffe der lateralen Clavicula bereits empfohlen, [19, S. 78] scheint eine anteilige sensible Versorgung der proximalen Clavicula durch den Plexus cervicalis gewiss. So wurden isolierte Blockaden des Plexus cervicalis sowie dessen Kombination mit Blockaden des Plexus brachialis bei Eingriffen der Clavicula publik. [102][103]

Infraclaviculäre Blockaden bilden durch Aussparung der Schulterregion und des proximalen Oberarmes ein vergleichbares Indikationsfeld zu axillären Blockaden ab. Eine aktuelle Metaanalyse von Park et al. [54] demonstrierte eine signifikant erhöhte Inzidenz inkompletter sensibler Blockaden des N. radialis und eine signifikant verringerte Inzidenz inkompletter sensibler Blockaden des N. ulnaris durch ICB (in Multiinjektionstechnik) im Vergleich zu SCB postinterventionell. Anschlagszeiten, Dauer der analgetischen Wirkung und Erfolgsraten waren ebenbürtig. Im Kontrast dazu verglichen Vazin et al. [104] in ihrer Studie ultraschallgesteuerte SCB, ICB und AXB miteinander und zeigten eine signifikant schnellere Anschlagszeit (Ausbildung sensorischer und motorischer Blockaden) und kürzere *totale anästhesiebezogene Zeit* (Durchführungszeit [Platzierung des Ultraschallkopfes bis zum Nadelrückzug] + Zeitpunkt der sensorischen Blockade) SCB im Vergleich zu ICB. Zeitgleich waren die Erfolgsraten SCB gegenüber AXB signifikant erhöht (AXB: 75%, ICB: 90%, SCB

95%; SCB > AXB, $p = 0,025$) ohne Auftritt früher Komplikationen in allen drei Vergleichsgruppen. Allerdings wies die ICB eine signifikant verlängerte Analgesiezeit im Vergleich zu den beiden anderen Blockaden auf. Die Autoren präsentierten SCB und ICB somit als günstige Alternativen zu AXB.

Ausführlich dargelegt wurde die vergleichsweise geringe klinische Relevanz einer temporären Hemmung des N. phrenicus durch ISB und weniger häufig durch periclaviculäre Blockaden. Werden jedoch Regionalanästhesien an PatientInnen vollzogen, die eine geringe Reduktion der respiratorischen Funktion nicht tolerieren, sind AXB für distale Interventionen präferiert. Auch die einfache Anlage und gute Erreichbarkeit der Plexusanteile axillär, stellen – ähnlich zur SCB - unter Umständen einen Vorteil dieser Blockademöglichkeit gegenüber der ICB dar, deren neurale Elemente durch ihre vergleichsweise tiefe Lage in der infraclaviculären Region teils schwieriger sonographisch zu visualisieren sind. [62]

Im Hinblick auf ein ausreichendes perioperatives Schmerzkonzept, werden häufig kontinuierliche Katheterverfahren in der Patientenversorgung eingesetzt. Hierbei erscheint der axilläre Zugang aus hygienischen Aspekten eher ungeeignet. Demgegenüber wiesen supraclaviculäre und infraclaviculäre kontinuierliche Nervenblockaden in einer Vergleichsstudie von Mariano et al. [105] gute postoperative analgetische Effekte auf, mit einer überlegenen Wirksamkeit der infraclaviculären gegenüber der supraclaviculären Gruppe. Die kontinuierliche ISB zeigte in einer Metaanalyse von Vorobeichik et al. [106] im Vergleich zu einer SS-ISB eine führende Analgesie innerhalb der ersten 48 Stunden und vergleichbare Komplikationsraten nach großen Schulteroperationen.

Zusammenfassend bildet die SCB für beinahe die gesamte obere Extremität ein effizientes regionalanästhesiologisches Verfahren mit niedrigen Komplikationsraten ab. Die kompakte Anordnung der Trunci/Divisiones auf Höhe der ersten Rippe und die Nähe zur A. subclavia führt zu einer einfachen sonographischen Orientierung. [19, S. 86]

Eingriffe an Clavicula und im Innervationsgebiet des 2. (und 3.) Intercostalnerve können unter Umständen eine supportive Blockade der Nn. supraclaviculares oder des N. intercostobrachialis notwendig machen.

ISB sind nach wie vor für Interventionen an der proximalen oberen Extremität beliebt und bieten als kontinuierliche Verfahren überlegene Analgesieeffekte. Alternativ zu SCB können für Eingriffe der distalen oberen Extremität ICB und AXB gewählt werden, wobei sich ICB besonders für ihre hohen Erfolgs- und AXB für ihre niedrigen Komplikationsraten auszeichnen.

VI) Zusammenfassung

Ultraschallgesteuerte supraclaviculäre Blockaden des Plexus brachialis gehören den peripheren Regionalanästhesien der oberen Extremität an. Speziell dieser Anlage zugeordnete ernstzunehmende Komplikationen führten neben vergleichbaren Indikationen alternativer BPBs zu einer wechselnden Popularität seit Beginn ihrer Beschreibung Anfang des 20. Jahrhunderts und stellten lange die klinische Anwendung in Frage. In dieser groß angelegten prospektiven Anwendungsbeobachtungsstudie wurden über 19 Monate 581 unfallchirurgisch-orthopädische PatientInnen nach entsprechender Indikation einer SCB oder SCB/ISB unterzogen und hierbei Effizienz, Komplikationsraten sowie Einflussfaktoren auf den Blockadeerfolg erfasst und statistisch ausgewertet. Das Ziel dieser Arbeit gestaltete sich in einer Evaluation der SCB zur Qualitätssicherung. Zudem wurde die kombinierte SCB/ISB der isolierten SCB gegenübergestellt, um Anwendungsmöglichkeiten aufzuzeigen und Limitationen kritisch herauszustellen. Die Mehrzahl aller 504 durchgeführten SCB und 77 kombinierten Blockaden lieferte suffiziente Ergebnisse (SCB 87,7% vs. SCB/ISB 84,4%) und eine hohe Patientenzufriedenheit (kumulativ 95,7%). Wurden Blockaden als insuffizient bezeichnet (SCB 12,3% vs. SCB/ISB 15,6%), begründete sich dies vorwiegend in einer unzureichenden (partiellen) Anästhesie und/oder Analgesie. So genügte in einer Vielzahl eine supportive (Analgo-)sedierung. Lediglich 1,9% aller Plexusanlagen konvertierten zur Allgemeinanästhesie und beeinflussten somit denkbar günstig die perioperative Morbidität und Mortalität, was sich nicht zuletzt auf ökonomische Aspekte positiv auswirkte. PatientInnen mit einem höheren BMI und einem sonographisch ermittelten tiefer gelegenen Plexus brachialis supraclaviculär wiesen statistisch insuffizientere Blockaden auf und können kongruent zur gegenwärtigen Forschung interpretiert werden, die eine Adipositas als unabhängigen Risikofaktor eines höheren Blockademisserfolgs bei SCB und ISB darstellt. Zudem kann von einer positiven Korrelation zwischen BMI und Plexustiefe bei SCB ausgegangen werden.

Die Erfahrung in der Durchführung SCB oder SCB/ISB beeinflusste die Erfolgsrate nicht maßgeblich. Denkbare Erklärungsansätze finden sich in einer einfach zu erlernenden Technik sowie einem höheren Erfahrungsschatz durch Supervision erfahrener AnästhesistInnen.

Wiesen suffiziente Blockaden im Durchschnitt verlängerte SCB-Schnitt-Zeiten auf, fand sich statistisch doch kein relevanter Unterschied. Eine Empfehlung zur Verlängerung dieser Zeitspanne, um die beleuchteten Verfahren zu optimieren und womöglich insuffiziente Blockaden zu vermeiden, könnte durch künftige Studien weiter verifiziert werden. Interessanterweise hatte das Fehlen motorischer Blockaden bis zur Beendigung der operativen Maßnahmen dennoch mehrheitlich suffiziente Ergebnisse zur Folge (SCB: 79,5% vs. SCB/ISB: 77,8%).

Komplikationen traten selten und in wenigen Fällen ernstzunehmend auf. Sowohl bei isolierten wie auch bei kombinierten Blockaden dominierte das temporäre Horner-Syndrom (SCB 13,1% vs. SCB/ISB 19,5%). Bei ipsilateralen Phrenicus- oder Recurrensparesen konnte aufgrund der niedrigen Inzidenz nicht zwischen beiden Verfahren unterschieden werden. Nichtsdestotrotz muss eine erhöhte Inzidenz einseitiger Phrenicuspareesen bei ISB, im Vergleich zu SCB, insbesondere bei respiratorisch beeinträchtigten PatientInnen, beachtet werden. Blutaspirationen fanden sich mit 1,2% nur bei SCB, weitere Komplikationen waren zu vernachlässigen.

Alternativen BPBs gegenüber erwiesen sich ultraschallgesteuerte SCB durch hohe Erfolgs- und niedrige Komplikationsraten als ebenbürtig. Eine einfache, zügige Anlage und eine schnell zu erlernende Technik zeichnen diese Blockade aus. Das Anwendungsspektrum umfasst nahezu die gesamte obere Extremität, da sich suffiziente Analgesieeffekte auch im ulnaren Innervationsgebiet fanden und diverse neuere Studien die Gleichwertigkeit SCB zu ISB bei Eingriffen der Schulter beschreiben. Hierbei spielt die Erreichbarkeit nervaler Strukturen, welche zusätzlich an der Innervation der Schulter beteiligt sind, eine entscheidende Rolle.

Werden SCB und ISB kombiniert, ist von einer bedeutend verlängerten Wirkdauer motorischer und sensorischer Blockaden, bei nicht wesentlich erhöhten Komplikationsraten, auszugehen. So könnten nach single-shot-Injektionen längere Operationszeiten möglich gemacht werden und PatientInnen von einer angemessenen postoperativen Analgesie profitieren. Allerdings obliegt die Entscheidung über das gewählte Verfahren den Durchführenden, die den Nutzen gegen das spezifische Risiko jeder Blockadetechnik im Einzelfall abwägen müssen.

Literaturverzeichnis

1. Rundgren J, Mellstrand Navarro C, Ponzer S, Regberg A, Serenius S, Enocson A. Regional or general anesthesia in the surgical treatment of distal radial fractures: A randomized clinical trial. *J bone Joint Surg Am.* 2019;101(13):1168–76.
2. Hadzic A, Arliss J, Kerimoglu B, Karaca PE, Yufa M, Claudio RE, Vloka JD, Rosenquist R, Santos AC, Thys DM. A comparison of infraclavicular nerve block versus general anesthesia for hand and wrist day-case surgeries. *Anesthesiology.* 2004;101(1):127–32.
3. López-Valverde A, De Vicente J, Cutando A. The surgeons Halsted and Hall, cocaine and the discovery of dental anaesthesia by nerve blocking. *Br Dent J.* 2011;211(10):485–7.
4. Kulenkampff D. Brachial plexus anaesthesia: Its indications, technique, and dangers. *Ann Surg.* 1928;87(6):883–91.
5. Hirschel G. Anesthesia of the brachial plexus for operations on the upper extremity. *München Med Wochenschr.* 1911;58:1555–6.
6. Williams LM, Singh K, Dua A, Singh A, Cummings A. Infraclavicular nerve block. [Updated 2022 Feb 6] [Internet]. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2022 [cited 2022 Feb 21]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK537016/>
7. Burnham PJ. Simple regional nerve block for surgery of the hand and forearm. *J Am Med Assoc.* 1959;169(9):941–3.
8. Büttner J. Nervenblockaden an den oberen Extremitäten. In: Van Aken H, Wulf H, editors. *Lokalanästhesie, Regionalanästhesie Regionale Schmerztherapie.* 3d ed. Stuttgart: Thieme; 2010. p. 291–306.
9. Winnie AP, Collins VJ. The subclavian perivascular technique of brachial plexus anesthesia. *Anesthesiology.* 1964;25:353–63.
10. Winnie AP. Interscalene brachial plexus block. *Anesth Analg.* 1970;49(3):455–66.
11. Brown DL, Cahill DR, Bridenbaugh LD. Supraclavicular nerve block: Anatomic analysis of a method to prevent pneumothorax. *Anesth Analg.* 1993;76(3):530–4.
12. Meier G, Bauereis C, Heinrich C. Der interskalenäre Plexuskatheter zur Anästhesie und postoperativen Schmerztherapie. Erfahrungen mit einer modifizierten Technik. *Anaesthesist.* 1997;46(8):715–9.
13. Kessler P. Intraneurale Injektion von Lokalanästhetika: Bedeutung für die erfolgreiche Nervenblockade. *Anaesthesist.* 2013;62(3):169–70.
14. Greenblatt GM, Denson JS. Needle nerve stimulator-locator: Nerve blocks with a new instrument for locating nerves. *Anesth Analg.* 1962;41(5):599–602.
15. Perlas A, Niazi A, McCartney CJ, Chan VW, Xu D, Abbas S. The sensitivity of motor response to nerve stimulation and paresthesia for nerve localization as evaluated by ultrasound. *Reg Anesth Pain Med.* 2006;31(5):445–50.
16. La Grange P, Foster PA, Pretorius LK. Application of the doppler ultrasound bloodflow detector in supraclavicular brachial plexus block. *Br J Anaesth.* 1978;50(9):965–7.
17. Kapral S, Krafft P, Eibenberger K, Fitzgerald R, Gosch M, Weinstabl C. Ultrasound-guided supraclavicular approach for regional anesthesia of the brachial plexus. *Anesth Analg.* 1994;78(3):507–13.

18. Lapegue F, Faruch-Bilfeld M, Demondion X, Apredoaei C, Bayol MA, Artico H, Chiavassa-Gandois H, Railhac JJ, Sans N. Ultrasonography of the brachial plexus, normal appearance and practical applications. *Diagn Interv Imaging*. 2014;95(3):259–75.
19. Birnbaum J, Albrecht R. *Ultraschallgestützte Regionalanästhesie*. Heidelberg: Springer; 2008.
20. Liu SS, Zayas VM, Gordon MA, Beathe JC, Maalouf DB, Paroli L, Liguori GA, Ortiz J, Buschiazzo V, Ngeow J, Shetty T, Ya Deau JT. A prospective, randomized, controlled trial comparing ultrasound versus nerve stimulator guidance for interscalene block for ambulatory shoulder surgery for postoperative neurological symptoms. *Anesth Analg*. 2009;109(1):265–71.
21. Sauter AR, Dodgson MS, Stubhaug A, Halstensen AM, Klaastad Ø. Electrical nerve stimulation or ultrasound guidance for lateral sagittal infraclavicular blocks: A randomized, controlled, observer-blinded, comparative study. *Anesth Analg*. 2008;106(6):1910–5; Erratum in: *Anesth Analg*. 2008;107(1):299.
22. Abrahams MS, Aziz MF, Fu RF, Horn J-L. Ultrasound guidance compared with electrical neurostimulation for peripheral nerve block: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Br J Anaesth*. 2009;102(3):408–17.
23. McNaught A, Shastri U, Carmichael N, Awad IT, Columb M, Cheung J, Holtby RM, McCartney CJ. Ultrasound reduces the minimum effective local anaesthetic volume compared with peripheral nerve stimulation for interscalene block. *Br J Anaesth*. 2011;106(1):124–30.
24. Thompson AM, Newman RJ, Semple JC. Brachial plexus anaesthesia for upper limb surgery: A review of eight years' experience. *J Hand Surg Br*. 1988;13(2):195–8.
25. McCartney CJ, Brull R, Chan VW, Katz J, Abbas S, Graham B, Nova H, Rawson R, Anastakis DJ, von Schroeder H. Early but no long-term benefit of regional compared with general anesthesia for ambulatory hand surgery. *Anesthesiology*. 2004;101(2):461–7; Erratum in: *Anesthesiology*. 2004;101(4):1057.
26. Rodgers A, Walker N, Schug S, McKee A, Kehlet H, van Zundert A, Sage D, Futter M, Saville G, Clark T, MacMahon S. Reduction of postoperative mortality and morbidity with epidural or spinal anaesthesia: Results from overview of randomised trials. *BMJ*. 2000;321(7275):1493.
27. Hadzic A, Williams BA, Karaca PE, Hobeika P, Unis G, Dermksian J, Yufa M, Thys DM, Santos AC. For outpatient rotator cuff surgery, nerve block anesthesia provides superior same-day recovery over general anesthesia. *Anesthesiology*. 2005;102(5):1001–7.
28. Kreutziger J, Hirschi D, Fischer S, Herzog RF, Zbinden S, Honigmann P. Comparison of interscalene block, general anesthesia, and intravenous analgesia for out-patient shoulder reduction. *J Anesth*. 2019;33(2):279–86.
29. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. *Prometheus Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. 2nd ed. Stuttgart: Thieme; 2007.
30. Bogusch G. Plexus brachialis. In: Birnbaum J, Albrecht R, editors. *Ultraschallgestützte Regionalanästhesie*. Heidelberg: Springer; 2008. p. 74–5.
31. Arad E, Li Z, Sitzman TJ, Agur AM, Clarke HM. Anatomic sites of origin of the suprascapular and lateral pectoral nerves within the brachial plexus. *Plast Reconstr Surg*. 2014;133(1):20e-27e.

32. Pester JM, Varacallo M. Brachial Plexus Block Techniques. [Updated 2022 Feb 12] [Internet]. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2022 [cited 2022 Feb 21]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470213/>
33. Brown DL. Brachial plexus anesthesia: An analysis of options. *Yale J Biol Med.* 1993;66(5):415–31.
34. Neal JM, Gerancher JC, Hebl JR, Ilfeld BM, McCartney CJ, Franco CD, Hogan QH. Upper extremity regional anesthesia: Essentials of our current understanding, 2008. *Reg Anesth Pain Med.* 2009;34(2):134–70; Erratum in: *Reg Anesth Pain Med.* 2010;35(4):407.
35. Jeng CL, Rosenblatt MA. Upper extremity nerve blocks: Techniques [Updated 2021 Apr 26] [Internet]. In: UpToDate. 2022 [cited 2022 Jan 30]. Available from: https://www.uptodate.com/contents/upper-extremity-nerve-blocks-techniques?search=peripheral-nerve-block-techniques&source=search_result&selectedTitle=3~150&usage_type=default&display_rank=3#H1413149736
36. Zisquit J, Nedeff N. Interscalene Block. [Updated 2021 Sep 20]. [Internet]. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 [cited 2022 Jan 28]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519491/>
37. Mian A, Chaudhry I, Huang R, Rizk E, Tubbs RS, Loukas M. Brachial plexus anesthesia: A review of the relevant anatomy, complications, and anatomical variations. *Clin Anat.* 2014;27(2):210–21.
38. Bishop JY, Sprague M, Gelber J, Krol M, Rosenblatt MA, Gladstone JN, Flatow EL. Interscalene regional anesthesia for arthroscopic shoulder surgery: A safe and effective technique. *J Shoulder Elbow Surg.* 2006;15(5):567–70.
39. Yan S, Zhao Y, Zhang H. Efficacy and safety of interscalene block combined with general anesthesia for arthroscopic shoulder surgery: A meta-analysis. *J Clin Anesth.* 2018;47:74–9.
40. Koyyalamudi VB, Arulkumar S, Yost BR, Fox CJ, Urman RD, Kaye AD. Supraclavicular and paravertebral blocks: Are we underutilizing these regional techniques in perioperative analgesia? *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2014;28(2):127–38.
41. Tran DQ, Clemente A, Doan J, Finlayson RJ. Brachial plexus blocks: A review of approaches and techniques. *Can J Anaesth.* 2007;54(8):662–74.
42. Kim DH, Lin Y, Beathe JC, Liu J, Oxendine JA, Haskins SC, Ho MC, Wetmore DS, Allen AA, Wilson L, Garnett C, Memtsoudis SG. Superior trunk block: A phrenic-sparing alternative to the interscalene block: A randomized controlled trial. *Anesthesiology.* 2019;131(3):521–33.
43. Kang R, Jeong JS, Chin KJ, Yoo JC, Lee JH, Choi SJ, Gwak MS, Hahm TS, Ko JS. Superior trunk block provides noninferior analgesia compared with interscalene brachial plexus block in arthroscopic shoulder surgery. *Anesthesiology.* 2019;131(6):1316–26.
44. Gamo K, Kuriyama K, Higuchi H, Uesugi A, Nakase T, Hamada M, Kawai H. Ultrasound-guided supraclavicular brachial plexus block in upper limb surgery: Outcomes and patient satisfaction. *Bone Joint J.* 2014;96 B(6):795–9.
45. Sadowski M, Tualza B, Łysenko L. Renaissance of supraclavicular brachial plexus block. *Anaesthesiol Intensive Ther.* 2014;46(1):37–41.
46. Perlas A, Lobo G, Lo N, Brull R, Chan VW, Karkhanis R. Ultrasound-guided supraclavicular block: Outcome of 510 consecutive cases. *Reg Anesth Pain Med.* 2009;34(2):171–6.

47. D'Souza RS, Johnson RL. Supraclavicular Block. [Updated 2021 Jul 31] [Internet]. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2022 [cited 2022 Jan 28]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519056/>
48. Cabaton J, Nové-Josserand L, Mercadal L, Vaudelin T. Analgesic efficacy of ultrasound-guided interscalene block vs. supraclavicular block for ambulatory arthroscopic rotator cuff repair: A randomised noninferiority study. *Eur J Anaesthesiol.* 2019;36(10):778–86.
49. Ryu T, Kil BT, Kim JH. Comparison between ultrasound-guided supraclavicular and interscalene brachial plexus blocks in patients undergoing arthroscopic shoulder surgery: A prospective, randomized, parallel study. *Medicine (Baltimore).* 2015;94(40):e1726.
50. Hsu A-C, Tai Y-T, Lin K-H, Yao H-Y, Chiang H-L, Ho B-Y, Yang S-F, Lin J-A, Ko C-L. Infraclavicular brachial plexus block in adults: A comprehensive review based on a unified nomenclature system. *J Anesth.* 2019;33(3):463–77.
51. Mirza F, Brown AR. Ultrasound-guided regional anesthesia for procedures of the upper extremity. *Anesthesiol Res Pract.* 2011;2011:579824.
52. Ruíz A, Sala X, Bargalló X, Hurtado P, Arguis MJ, Carrera A. The influence of arm abduction on the anatomic relations of infraclavicular brachial plexus: An ultrasound study. *Anesth Analg.* 2009;108(1):364–6.
53. Chin KJ, Alakkad H, Adhikary SD, Singh M. Infraclavicular brachial plexus block for regional anaesthesia of the lower arm. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013;(8):CD005487.
54. Park S-K, Lee S-Y, Kim WH, Park H-S, Lim Y-J, Bahk J-H. Comparison of supraclavicular and infraclavicular brachial plexus block: A systemic review of randomized controlled trials. *Anesth Analg.* 2017;124(2):636–44.
55. Albrecht E, Mermoud J, Fournier N, Kern C, Kirkham KR. A systematic review of ultrasound-guided methods for brachial plexus blockade. *Anaesthesia.* 2016;71(2):213–27.
56. Abhinaya R, Venkatraman R, Matheswaran P, Sivarajan G. A randomised comparative evaluation of supraclavicular and infraclavicular approaches to brachial plexus block for upper limb surgeries using both ultrasound and nerve stimulator. *Indian J Anaesth.* 2017;61(7):581–6.
57. Tran DQ, Russo G, Muñoz L, Zaouter C, Finlayson RJ. A prospective, randomized comparison between ultrasound-guided supraclavicular, infraclavicular, and axillary brachial plexus blocks. *Reg Anesth Pain Med.* 2009;34(4):366–71.
58. Stav A, Reytman L, Stav M-Y, Portnoy I, Kantarovsky A, Galili O, Luboshitz S, Sevi R, Sternberg A. Comparison of the supraclavicular, infraclavicular and axillary approaches for ultrasound-guided brachial plexus block for surgical anesthesia. *Rambam Maimonides Med J.* 2016;7(2):e0013.
59. Nowakowski P, Bieryło A. Ultrasound guided axillary brachial plexus block. Part 1--basic sonoanatomy. *Anesthesiol Intensive Ther.* 2015;47(4):409–16.
60. Ranganath A, Srinivasan KK, Iohom G. Ultrasound guided axillary brachial plexus block. *Med Ultrason.* 2014;16(3):246–51.
61. Kapral S, Marhofer P. Ultraschall in der Regionalanästhesie. Teil II: Ultraschallunterstützte Blockaden der peripheren Nervenbahnen. *Anaesthesist.* 2002;51(12):1006–14.
62. Döffert J, Steinfeldt T. Anästhesie in der Orthopädie/Unfallchirurgie - Regionalanästhesie bei Verletzungen der oberen Extremität. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* 2015;50(4):270–7.

63. Kathirgamanathan A, French J, Foxall GL, Hardman JG, Bedforth NM. Delineation of distal ulnar nerve anatomy using ultrasound in volunteers to identify an optimum approach for neural blockade. *Eur J Anaesthesiol.* 2009;26(1):43–6.
64. Foxall GL, Skinner D, Hardman JG, Bedforth NM. Ultrasound anatomy of the radial nerve in the distal upper arm. *Reg Anesth Pain Med.* 2007;32(3):217–20.
65. McCartney CJ, Xu D, Constantinescu C, Abbas S, Chan VW. Ultrasound examination of peripheral nerves in the forearm. *Reg Anesth Pain Med.* 2007;32(5):434–9; Erratum in: *Reg Anesth Pain Med.* 2008;33(2):188.
66. Sehmbi H, Madjdpour C, Shah UJ, Chin KJ. Ultrasound guided distal peripheral nerve block of the upper limb: A technical review. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2015;31(3):296–307.
67. Fredrickson MJ, Ting FS, Chinchawala S, Boland MR. Concomitant infraclavicular plus distal median, radial, and ulnar nerve blockade accelerates upper extremity anaesthesia and improves block consistency compared with infraclavicular block alone. *Br J Anaesth.* 2011;107(2):236–42.
68. Steinfeldt T. Periphere Blockaden der oberen Extremität – Vorgehensweise Landmarkengestützter und Ultraschall-gesteuerter Verfahren. *Anästh Intensivmed.* 2015;56:244–52.
69. Soares LG, Brull R, Lai J, Chan VW. Eight ball, corner pocket: The optimal needle position for ultrasound-guided supraclavicular block. *Reg Anesth Pain Med.* 2007;32(1):94–5.
70. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. *Prometheus Kopf, Hals und Neuroanatomie.* 2nd ed. Stuttgart: Thieme; 2009. 123 p.
71. Wiesmann T, Feldmann C, Müller HH, Nentwig L, Beermann A, El-Zayat BF, Zoremba M, Wulf H, Steinfeldt T. Phrenic palsy and analgesic quality of continuous supraclavicular vs. interscalene plexus blocks after shoulder surgery. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2016;60(8):1142–51.
72. Schubert A-K, Dinges H-C, Wulf H, Wiesmann T. Interscalene versus supraclavicular plexus block for the prevention of postoperative pain after shoulder surgery: A systematic review and meta-analysis. *Eur J Anaesthesiol.* 2019;36(6):427–35.
73. Hussain N, Costache I, Kumar N, Essandoh M, Weaver T, Wong P, Tierney S, Rose P, McCartney CJ, Abdallah FW. Is supraclavicular block as good as interscalene block for acute pain control following shoulder surgery? A systematic review and meta-analysis. *Anesth Analg.* 2020;130(5):1304–19.
74. Aliste J, Bravo D, Fernández D, Laya S, Finlayson RJ, Tran DQ. A randomized comparison between interscalene and small-volume supraclavicular blocks for arthroscopic shoulder surgery. *Reg Anesth Pain Med.* 2018;43(6):590–5.
75. Liu SS, Gordon MA, Shaw PM, Wilfred S, Shetty T, YaDeau JT. A prospective clinical registry of ultrasound-guided regional anesthesia for ambulatory shoulder surgery. *Anesth Analg.* 2010;111(3):617–23.
76. Karaman T, Karaman S, Aşçı M, Tapar H, Şahin A, Dogru S, Suren M. Comparison of ultrasound-guided supraclavicular and interscalene brachial plexus blocks in postoperative pain management after arthroscopic shoulder surgery. *Pain Pract.* 2019;19(2):196–203.
77. Gauss A, Tugtekin I, Georgieff M, Dinse-Lambracht A, Keipke D, Gorsewski G. Incidence of clinically symptomatic pneumothorax in ultrasound-guided infraclavicular and supraclavicular brachial plexus block. *Anaesthesia.* 2014;69(4):327–36.

78. Gorsewski G, Dinse-Lambracht A, Tugtekin I, Gauss A. Ultraschallgesteuerte periphere Regionalanästhesie: Applikationsort und Dosierung des Lokalanästhetikums. *Anaesthesist*. 2012;61(8):711–21.
79. Barrington MJ, Watts SA, Gledhill SR, Thomas RD, Said SA, Snyder GL, Tay VS, Jamrozik K. Preliminary results of the Australasian Regional Anaesthesia Collaboration: A prospective audit of more than 7000 peripheral nerve and plexus blocks for neurologic and other complications. *Reg Anesth Pain Med*. 2009;34(6):534–41.
80. Brull R, McCartney CJ, Chan VW, El-Beheiry H. Neurological complications after regional anesthesia: Contemporary estimates of risk. *Anesth Analg*. 2007;104(4):965–74.
81. Idehen HO, Imarengiaye CA. The effect of combining axillary brachial plexus block with interscalene or supraclavicular block for upper limb surgeries using neurostimulation technique. *J West Afr Coll Surg*. 2016;6(2):78–94.
82. Koltka AK, Büget M, Bingül ES, Ersen A, Küçükay S, Atalar AC, Sentürk M. Postoperative analgesia after arthroscopic shoulder surgery: A comparison between single-shot interscalene block and single-shot supraclavicular block. *Agri*. 2017;29(3):127–31.
83. Beach ML, Sites BD, Gallagher JD. Use of a nerve stimulator does not improve the efficacy of ultrasound-guided supraclavicular nerve blocks. *J Clin Anesth*. 2006;18(8):580–4.
84. Kim BG, Han JU, Song JH, Yang C, Lee BW, Baek JS. A comparison of ultrasound-guided interscalene and supraclavicular blocks for post-operative analgesia after shoulder surgery. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2017;61(4):427–35.
85. Mistry T, Mangal V, Sharma G, Agrawal A. Assessment of variation in depth of brachial plexus using ultrasound for supraclavicular brachial plexus block in patients undergoing elective upper limb surgery. *Indian J Anaesth*. 2016;60(6):393–7.
86. Franco CD, Gloss FJ, Voronov G, Tyler SG, Stojilkovic LS. Supraclavicular block in the obese population: An analysis of 2020 blocks. *Anesth Analg*. 2006;102(4):1252–4.
87. Cotter JT, Nielsen KC, Guller U, Steele SM, Klein SM, Greengrass RA, Pietrobon R. Increased body mass index and ASA physical status IV are risk factors for block failure in ambulatory surgery — An analysis of 9,342 blocks. *Can J Anesth*. 2004;51(8):810–6.
88. Nielsen KC, Guller U, Steele SM, Klein SM, Greengrass RA, Pietrobon R. Influence of obesity on surgical regional anesthesia in the ambulatory setting: An analysis of 9,038 blocks. *Anesthesiology*. 2005;102(1):181–7.
89. Jeon DG, Kim SK, Kang BJ, Kwon MA, Song JG, Jeon SM. Comparison of ultrasound-guided supraclavicular block according to the various volumes of local anesthetic. *Korean J Anesthesiol*. 2013;64(6):494–9.
90. Bao X, Huang J, Feng H, Qian Y, Wang Y, Zhang Q, Hu H, Wang X. Effect of local anesthetic volume (20 mL vs 30 mL ropivacaine) on electromyography of the diaphragm and pulmonary function after ultrasound-guided supraclavicular brachial plexus block: A randomized controlled trial. *Reg Anesth Pain Med*. 2019;44(1):69–75.
91. Choudhary N, Kumar A, Kohli A, Wadhawan S, Siddiqui T, Bhadoria P, Kamat H. Single-point versus double-point injection technique of ultrasound-guided supraclavicular block: A randomized controlled study. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*. 2019;35(3):373–8.

92. Trabelsi W, Ben Gabsia A, Lebbi A, Sammoud W, Labbène I, Ferjani M. Suprascapular block associated with supraclavicular block: An alternative to isolated interscalene block for analgesia in shoulder instability surgery? *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103(1):77–83.
93. Tran DQ, Elgueta MF, Aliste J, Finlayson RJ. Diaphragm-sparing nerve blocks for shoulder surgery. *Reg Anesth Pain Med.* 2017;42(1):32–8.
94. Guo CW, Ma JX, Ma XL, Lu B, Wang Y, Tian AX, Sun L, Wang Y, Dong BC, Teng YB. Supraclavicular block versus interscalene brachial plexus block for shoulder surgery: A meta-analysis of clinical control trials. *Int J Surg.* 2017;45:85–91.
95. Nadeau MJ, Lévesque S, Dion N. Ultrasound-guided regional anesthesia for upper limb surgery. *Can J Anesth.* 2013;60(3):304–20.
96. Warrender WJ, Syed UA, Hammoud S, Emper W, Ciccotti MG, Abboud JA, Freedman KB. Pain management after outpatient shoulder arthroscopy: A systematic review of randomized controlled trials. *Am J Sports Med.* 2017;45(7):1676–86.
97. Abdallah FW, Halpern SH, Aoyama K, Brull R. Will the real benefits of single-shot interscalene block please stand up? A systematic review and meta-analysis. *Anesth Analg.* 2015;120(5):1114–29.
98. Rekhi BK, Bindra TK, Khera R, Kaur M. A comparative study of supraclavicular block, interscalene block, and combination of supraclavicular with interscalene block using 0.5% ropivacaine and dexmedetomidine as adjuvant by nerve stimulation technique in upper limb surgery. *Indian J Pain.* 2020;34(2):124–7.
99. Saad HA, Hashish MA, Diab DG, Abdel Ghaffar NA. Combined interscalene and supraclavicular brachial plexus block using ultrasound guidance versus general anaesthesia for brachioaxillary graft in patients with chronic renal failure. *Sri Lankan J Anaesthesiol.* 2020;28(2):74–9.
100. Shanthanna H. Ultrasound guided selective cervical nerve root block and superficial cervical plexus block for surgeries on the clavicle. *Indian J Anaesth.* 2014;58(3):327–9.
101. Tran DQ, Tiyaprasertkul W, González AP. Analgesia for clavicular fracture and surgery: A call for evidence. *Reg Anesth Pain Med.* 2013;38(6):539–43.
102. Abdelghany MS, Ahmed SA, Afandy ME. Superficial cervical plexus block alone or combined with interscalene brachial plexus block in surgery for clavicle fractures: A randomized clinical trial. *Minerva Anesthesiol.* 2021;87(5):523–32.
103. Ryan DJ, Iofin N, Furgiuele D, Johnson J, Egol K. Regional anesthesia for clavicle fracture surgery is safe and effective. *J Shoulder Elbow Surg.* 2021;30(7):e356–60.
104. Vazin M, Jensen K, Kristensen DL, Hjort M, Tanggaard K, Karmakar MK, Bendtsen TF, Børghlum J. Low-volume brachial plexus block providing surgical anesthesia for distal arm surgery comparing supraclavicular, infraclavicular, and axillary approach: A randomized observer blind trial. *Biomed Res Int.* 2016;2016:7094121.
105. Mariano ER, Sandhu NS, Loland VJ, Bishop ML, Madison SJ, Abrams RA, Meunier MJ, Ferguson EJ, Ilfeld BM. A randomized comparison of infraclavicular and supraclavicular continuous peripheral nerve blocks for postoperative analgesia. *Reg Anesth Pain Med.* 2011;36(1):26–31.
106. Vorobeichik L, Brull R, Bowry R, Laffey JG, Abdallah FW. Should continuous rather than single-injection interscalene block be routinely offered for major shoulder surgery? A meta-analysis of the analgesic and side-effects profiles. *Br J Anaesth.* 2018;120(4):679–92.

107. Wiesmann T, Schubert A-K, Volk T, Kubulus C, Zausig Y, Graf BM, Steinfeldt T. S1- Leitlinie (AWMF-Registernummer 001-044) Prävention & Therapie der systemischen Lokalanästhetika-Intoxikation (LAST) [Internet]. 2020 [cited 2022 Mar 16]. Available from: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/001-044l_S1Praevention-Therapie-systemischen-Lokalanaesthetika-Intoxikation-LAST_2020-01.pdf
108. Garrow JS, Webster J. Quetelet's index (W/H²) as a measure of fatness. *Int J Obes.* 1985;9(2):147–53.
109. Doyle DJ, Goyal A, Garmon EH. American Society of Anesthesiologists Classification. [Updated 2021 Oct 9] [Internet]. In: StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. 2022 [cited 2022 Mar 16]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441940/>

Anhang

1.)

Lokalanästhetikaintoxikation	Symptome
ZNS	1. Prodromalstadium: Schwindel, Tinnitus, metallischer Geschmack, periorale Taubheit, Konzentrationsstörungen 2. Präkonvulsives Stadium: Tremor, Myoklonien 3. Konvulsives Stadium: Generalisiert tonisch-klonischer Krampfanfall 4. ZNS-Depression: Atemdepression, Kreislaufdysregulation
Kardial	1. Exzitatorisch: Blutdruckanstieg, Tachykardie 2. Kardiodepression: Negative Inotropie, Bradykardie, Asystolie, Blockbilder, ektope Rhythmen

Quelle: [107]

2.)

Body-Mass-Index (Quetelet-Index) in kg/m ²	Definition
< 18,5	Untergewicht
18,5-24,9	Normalgewicht
25-29,9	Präadipositas
30-34,9	Adipositas Grad I
35-39,9	Adipositas Grad II
≥ 40	Adipositas Grad III

Quelle: [108]

3.)

American Society of Anesthesiologists (ASA)	Definition
ASA I	Normaler, gesunder Patient
ASA II	Patient mit leichter Allgemeinerkrankung
ASA III	Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung
ASA IV	Patient mit schwerer Allgemeinerkrankung, die eine ständige Lebensbedrohung darstellt
ASA V	Moribunder Patient, der ohne Operation die nächsten 24h voraussichtlich nicht überleben wird
ASA VI	Hirntoter Patient, dessen Organe zur Organspende entnommen werden

Quelle: [109]