

„Beurteilung der Lungenventilation nach ultraschallgestützter
anteriorer Nervus suprascapularis Blockade im Vergleich zur Interscalenären Blockade
mittels Elektrischer Impedanz-Tomographie (EIT) bei
arthroskopischen Schulteroperationen“

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Dr. med.

an der Medizinischen Fakultät
der Universität Leipzig

eingereicht von:
Annett Virginia Pech

geboren am 20.11.1990 in Dresden

angefertigt in:
MIO Sportklinik Leipzig, Abteilung Anästhesie
ACQUA Klinik Leipzig, Abteilung Anästhesie

Betreuer:
Professor Dr. med. Tobias Piegeler

Beschluss über die Verleihung des Doktorgrades vom: 14.12.2021

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
1 Einleitung	3
1.1 Anatomie.....	4
1.1.1 Schultergelenk.....	4
1.1.2 Plexus brachialis.....	5
1.1.3 Nervus suprascapularis.....	9
1.1.4 Innervation der Schulter.....	10
1.2 Regionalanästhesie.....	11
1.2.1 Geschichte der Regionalanästhesie.....	11
1.2.2 Verfahren der Regionalanästhesie.....	12
1.2.3 Periphere Nervenblockaden des Plexus brachialis.....	15
1.3 Die Elektrische Impedanz-Tomographie (EIT).....	25
1.3.1 Technisches Prinzip.....	26
1.3.2 Einsatzmöglichkeiten der EIT im klinischen Alltag.....	27
1.4 Ambulante Operationen.....	28
1.4.1 Entwicklung des tagesklinischen Bereiches.....	28
1.4.2 Vorteile ambulanter Operationen.....	30
1.4.3 Voraussetzungen für einen ambulanten Eingriff.....	30
1.4.4 Anforderungen an das Anästhesieverfahren.....	31
2. Zielsetzung der Doktorarbeit	33
3. Material und Methoden	34
3.1 Studie.....	34
3.1.1 Stichprobenberechnung, Gruppeneinteilung und Randomisierung.....	34
3.1.2 Einschluss- und Ausschlusskriterien.....	35
3.2 Punktionsprozedere und -technik.....	36
3.2.1 Durchführung der Interscalenären Blockade.....	37
3.2.2 Durchführung der anterioren N. suprascapularis Blockade.....	38
3.2.3 Rescue-Medikation, Prozedere bei unzureichender Analgesie sowie Verfahrensweise bei Verdacht auf neurologische Schäden.....	40
3.3 EIT-Messung und sonographischen Darstellung des Zwerchfells.....	41
3.3.1 Durchführung der EIT-Messung.....	41
3.3.2 Sonographie des Zwerchfells.....	42
3.4 Datenerhebung.....	44
3.5 Studienendpunkte.....	46
3.6 Statistik.....	47

4. Ergebnisse	48
4.1 Demographische Daten	48
4.2 OP-Indikationen und Nebendiagnosen.....	51
4.2.1 OP-Indikationen.....	51
4.2.2 Komorbiditäten.....	51
4.3 OP-Daten, Anästhesieverfahren und Punktionsdaten	53
4.3.1 OP-Daten.....	53
4.3.2 Anästhesieverfahren und intraoperativer Medikamentenverbrauch	54
4.3.3 Punktionsdaten	54
4.4 EIT-Messung und Zwerchfellsonographie	56
4.5 Evaluation der Schmerzintensität und postoperativer Schmerzmittelverbrauch	60
4.5.1 Schmerzintensität.....	60
4.5.2 Postoperativer Analgetikaverbrauch	61
4.6 Daten zur Handkraftmessung, Blockadequalität, Blockadedauer, Nebenwirkung und Komplikationen sowie Patientenzufriedenheit	63
4.6.1 Bestimmung der Handkraft, sensorische Blockadequalität und Blockadedauer.....	63
4.6.2 Nebenwirkungen und Komplikationen.....	65
4.6.3 Patientenzufriedenheit	66
5 Diskussion	68
5.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse.....	68
5.2 Diskussion der Ergebnisse	69
5.2.1 EIT und Sonographie zur Detektion der N. phrenicus Parese	69
5.2.2 Parese des N. phrenicus und Zwerchfellparese	71
5.2.3 Schmerztherapie und periphere Nervenblockaden bei ambulanten Operationen.....	73
5.2.4 Sensomotorische Blockadequalität.....	75
5.2.5 Blockadedauer	76
5.2.6 Methodenimmanente Nebenwirkungen und Komplikationen.....	77
5.2.7 Patientenzufriedenheit und erneute Entscheidung.....	77
5.2.8 Limitationen	77
5.2.9 Ausblick.....	78
Zusammenfassung	80
Literaturverzeichnis	82
Abbildungsverzeichnis	93
Tabellenverzeichnis	95

Anhang	96
Eigenständigkeitserklärung	98
Lebenslauf	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Publikationen	100
Danksagung	101

Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
ANOVA	one-way analysis of variance
ANCOVA	analysis of covariance
AOP	ambulantes Operieren
ARDS	Acute Respiratory Distress Syndrome
Art.	Articulatio
ASA	American Society of Anesthesiologists
ATS Skala	American Thoracic Society Scale
AWR	Aufwachraum
B-Mode	Brightness-Modulation-Mode
b.B.	bei Bedarf
BMI	Body Mass Index
C	Cervikalsegment
CRF	Case Report Form
CT	Computertomographie
d.h.	das heißt
DGAI	Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin
DKG	Deutsche Krankenhausgesellschaft
EIT	Elektrische Impedanz-Tomographie
EKG	Elektrokardiogramm
G	Gauge
ggf.	gegebenenfalls
GKV	gesetzliche Krankenversicherung
h	Stunde
HNO	Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
HWK	Halswirbelkörper
i.v.	intravenös
ICD	implantierbarer Kardioverter-Defibrillator
ICR	Intercostalraum
ISB	Interscalenäre Plexusblockade
KBV	Kassenärztliche Bundesvereinigung
KG	Körpergewicht
KHK	Koronare Herzkrankheit
KI	Konfidenzintervall
LA	Lokalanästhetikum
Lig./Ligg.	Ligament/Ligamenta
M-Mode	Time-Motion-Mode
M./Mm.	Musculus/Musculi

mA	Milliampere
MHz	Megahertz
min	Minute
MRT	Magnetresonanztomographie
N./Nn.	Nervus/Nervi
n.d.	nicht datiert
n.n.b.	nicht näher bezeichnet
NRS	Numerische Rating Skala
NSAR	nicht-steroidales Antirheumatikum
NSS	Nervus suprascapularis
NSSB	Nervus suprascapularis Blockade
OP	Operation
OPS Code	Operationen- und Prozedurenschlüssel
p.o.	per os
PACU	Post Anaesthesia Care Unit
paVK	periphere arterielle Verschlusskrankheit
PEEP	positiver endexpiratorischer Druck
PNS	periphere Nervenstimulation
PONV	Postoperative Nausea and Vomiting
R./Rr.	Ramus/Rami
s.c.	subcutan
SNZ	Schnitt-Naht-Zeit
SpO ₂	pulsoxymetrisch gemessene periphere Sauerstoffsättigung
Tab.	Tabelle
Th	Thorakalsegment
TIVA	totale intravenöse Anästhesie
TLS	Transport Layer Security
TOF	Train of four
u.a.	unter anderem
V.	Vena
v.a.	vor allem
VIP	Vertikale Infraclaviculäre Plexusblockade
vs.	versus
Z.n.	Zustand nach

1 Einleitung

Vorteile peripherer Nervenblockaden als „single shot“ oder Katheter-Verfahren, auch in Kombination mit Allgemeinanästhesien, sind seit vielen Jahren bekannt (1). Blockadetechniken sind daher feste Bestandteile einer modernen postoperativen schmerztherapeutischen Behandlung im stationären Bereich (2). In den letzten Jahren ist allerdings ein stetig wachsender Anteil von tagesklinisch durchgeführten Operationen zu verzeichnen (3, 4). Gerade operative Eingriffe im Bereich des Schultergelenks werden zunehmend unter bestimmten Indikationsstellungen tagesklinisch durchgeführt, stellen aber im postoperativen Schmerzmanagement eine besondere Herausforderung dar (5, 6). Der Umgang mit Nebenwirkungen und eventuellen Komplikationen von Blockadetechniken bei ambulanten Eingriffen erfordert eine effiziente Planung des perioperativen Vorgehens, da die Patienten regelhaft nach 2 bis 4 Stunden (h) die OP- und Aufwachbereiche nach Hause verlassen und eine vergleichbare Überwachung wie unter stationären Bedingungen entfällt. Daher ist es von besonderer Bedeutung, bei tagesklinischen Operationen adaptierte Verfahrensweisen zu etablieren, um eine hohe Patientensicherheit zu gewährleisten. Zum Beispiel können durch den Einsatz bestimmter peripherer Nervenblockaden, insbesondere in Ergänzung mit einer Allgemeinanästhesie, bereits der intraoperative Bedarf an Opioiden gesenkt und die damit verbundenen Nebenwirkungen im Aufwachraum reduziert werden (7). Hinsichtlich der Nebenwirkungsprofile verschiedener Blockadetechniken sollte jeder Patient die für ihn bestmögliche und risikoärmste Behandlung erhalten.

Eine dieser etablierten Blockadetechniken in der Schulterchirurgie ist die Interscalenäre Blockade des Plexus brachialis (ISB). Trotz exzellenter postoperativer Schmerzkontrolle geht die ISB nahezu zu hundert Prozent mit einer akzessorischen Blockade des Nervus (N.) phrenicus und nachfolgender Lähmung des Zwerchfells einher (8). Auch die Einhaltung einer konsequenten sonographischen Punktionsorientierung kann das Auftreten einer ipsilateralen Parese nicht vollständig verhindern (9). Diese methodenimmanente Nebenwirkung kann besonders bei Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen oder starker Adipositas, die nach dem Eingriff in die Häuslichkeit entlassen werden, ein potenzielles Risiko darstellen, da sich durch die paradoxe Zwerchfellbewegung die betroffene Lungenhälfte nicht adäquat ausdehnen und somit eine bereits bestehende Luftnot verstärkt werden kann (10).

Eine Alternative ist die ultraschallgestützte anteriore Blockade des N. suprascapularis (NSSB), welche eine vergleichbare sensorischen Blockade und somit suffiziente Analgesie im Bereich der Schulter bei arthroskopischen Operationen bietet (11, 12). Ob auch bei dieser Blockadetechnik der N. phrenicus iatrogen mit blockiert wird, stellt eine wichtige zusätzliche Information hinsichtlich des Nebenwirkungsprofils dieser speziellen Technik dar. Um eine Validierung dieses Effektes zu

ermöglichen, sollen die Elektrische Impedanz-Tomographie (EIT) sowie die Sonographie des Zwerchfells als nichtinvasive Messverfahren zur Beurteilung der Ventilation der Lunge genutzt werden.

1.1 Anatomie

1.1.1 Schultergelenk

Das Articulatio (Art.) glenohumerale ist das Gelenk mit dem größten Bewegungsumfang im menschlichen Körper. Diese Bewegungsfreiheit resultiert aus der unterschiedlichen Größe der beteiligten knöchernen Strukturen und der relativ schlaffen Gelenkkapsel. Der Gelenkkopf ist circa viermal größer als die Gelenkpfanne. Zur Vergrößerung der Gelenkfläche dient das aus Faserknorpel bestehende Labrum glenoidale. Durch eine fehlende knöcherne Führung besteht jedoch auch eine gewisse Instabilität im Schultergelenk. Die Sicherung des Gelenks erfolgt zum einen durch einen eher schwachen Kapsel- und Bandapparat, am effektivsten jedoch durch die Muskeln, welche die sogenannte Rotatorenmanschette bilden. Dazu gehören der Musculus (M.) supraspinatus, M. infraspinatus, M. subscapularis, M. teres minor sowie der M. deltoideus, welcher der Rotatorenmanschette als schützende Kappe aufsitzt. Die Sehnen der Muskeln umschließen den Humeruskopf von allen Seiten und ziehen diesen in die Gelenkpfanne, um somit eine Luxation zu verhindern (13, 14). In Abbildung (Abb.) 1 ist die Anatomie des Schultergelenks dargestellt. Die Anfälligkeit des Schultergelenks für Verletzungen und Luxationen ist nicht zuletzt der alleinigen muskulären Absicherung zu zuschreiben. Auch die enorme Beanspruchung des Muskelapparates ist ein häufiger Grund für Operationen im Bereich der Schulter (15).

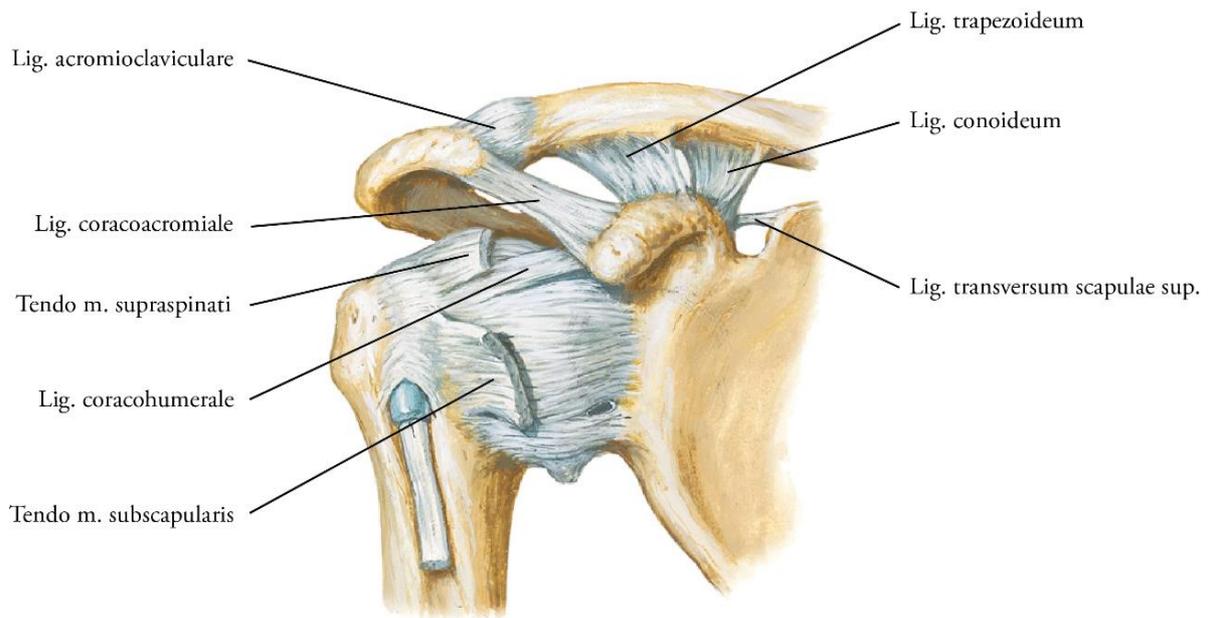


Abbildung 1: Anatomie des Schultergelenks, Ansicht von ventral (mod. nach Netter 2011(16)).

1.1.2 Plexus brachialis

Sowohl die motorische als auch die sensible Innervation der Hautareale der oberen Extremität erfolgt durch den Plexus brachialis. Dabei handelt es sich um ein Nervengeflecht, bestehend aus den Rami (Rr.) ventrales der Spinalnerven des fünften Cervikalsegments bis ersten Thorakalsegments (C5 bis Th1). Gelegentlich sind auch die Segmente C4 und Th2 an der Formierung beteiligt (17). Nach dem Austritt der Spinalnerven aus den Foramina intervertebralia der Wirbelsäule verlaufen diese gemeinsam mit der Arteria (A.) subclavia durch die Scalenuslücke, welche durch den M. scalenus anterior et medius und die erste Rippe begrenzt wird.

Supraclaviculär bilden sich durch die Zusammenlagerung der Nerven insgesamt drei Trunci: der Truncus superior (aus [C4], C5 und C6), der Truncus medius (C7) und der Truncus inferior (C8 und Th1, [Th2]). Die Trunci teilen sich je in einen ventralen und einen dorsalen Ast (Divisiones ventrales et dorsales). Kaudal der Clavicula, in Nachbarschaft zur A. axillaris, gehen nun aus den Trunci die Fasciculi hervor (14):

- der Fasciculus posterior, bestehend aus den dorsalen Ästen aller drei Trunci,
- der Fasciculus lateralis, welcher von je einem ventralen Ast des Truncus superior und der Truncus medius gebildet wird,
- und der Fasciculus medialis, welcher allein aus dem ventralen Ast des Trucus inferior hervorgeht.

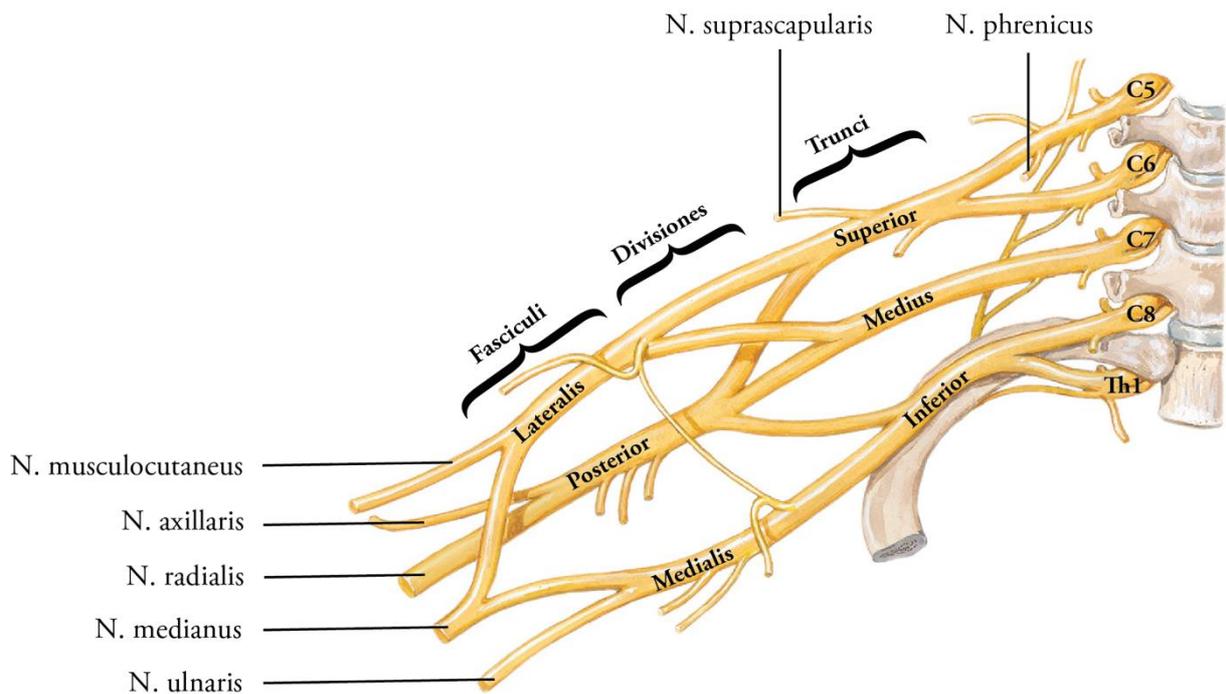


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Plexus brachialis dextra (mod. nach Netter 2011 (16)).

Die Bezeichnung der Fasciculi beruht auf der Lage zur A. axillaris. Topographisch wird der Plexus brachialis bezüglich seiner Lage zur Clavicula in eine Pars supraclavicularis und eine Pars infraclavicularis eingeteilt (die Zuordnung der Nerven ist im Schrifttum uneinheitlich):

Pars supraclavicularis:

Sie ist ausschließlich für die motorische Innervation der Muskulatur im umliegenden Schulter- und Halsbereich zuständig. Alle Nervenanteile, welche supraclaviculär direkt aus den Rr. ventrales der Spinalnerven oder aus den daraus entstehenden Trunci hervorgehen, werden zur Pars supraclavicularis gezählt. Tabelle (Tab.) 1 zeigt alle Nerven der Pars supraclavicularis und deren zugehörige Innervationsgebiete.

Tabelle 1: Nerven der Pars supraclavicularis (13)

Nerv	Ursprung	Innervationsgebiet
N. dorsalis scapulae	C3 bis C5	M. scalenus medius M. levator scapulae Mm. rhomboideus major et minor
N. thoracicus longus	C5 bis C7	M. serratus anterior
N. suprascapularis	C5 bis C6	M. supraspinatus et infraspinatus
N. subclavius	C4 bis C6	M. subclavius
N. thoracodorsalis	C6 bis C8	M. latissimus dorsi
Nn. subscapulares	C4 bis C6	Mm. subscapularis et teres major
Nn. pectorales medialis et lateralis	C5 bis Th1	Mm. pectorales major et minor

Pars infraclavicularis:

Hierzu zählen alle Nerven des Plexus brachialis, die distal der Clavicula aus den Faszikeln hervorgehen. Sie enthalten sowohl motorische als auch sensible Qualitäten zur Versorgung der oberen Extremität, insbesondere des Ober- und Unterarmes sowie der Hand. Tab. 2 zeigt alle Nerven der Pars infraclavicularis und deren Innervationsgebiete.

Tabelle 2: Nerven der Pars infraclavicularis (13)

Nerv	Ursprung	Innervationsgebiet
N. axillaris	C5 bis C6	Mm. deltoideus
	Fasciculus posterior	M. teres minor
N. radialis	C5 bis Th8 Fasciculus posterior	Mm. triceps brachii
		M. anconeus
		M. brachioradialis
		Mm. extensor carpi radialis longus et brevis
		M. supinator
		M. extensor carpi ulnaris
		M. extensor digitorum
		M. extensor digiti minimi
		M. adductor pollicis longus
		M. extensor pollicis longus et brevis
N. musculocutaneus	C6 bis Th1 Fasciculus lateralis	M. extensor indicis
		Mm. biceps brachii
		M. coracobrachialis
N. ulnaris	C8 bis Th1 Fasciculus medialis	M. brachialis
		Mm. flexor carpi ulnaris
		M. flexor digitorum profundus (IV, V)
		M. abductor digiti minimi
		M. opponens digiti minimi
		M. flexor digiti minimi brevis
		Mm. lumbricales (III, IV)
Mm. interossei palmares et dorsalis		
		M. adductor pollicis
		M. flexor pollicis brevis (Caput profundum)

		Mm. pronator teres
		M. flexor carpi radialis
		M. flexor digitorum superficialis
		M. flexor digitorum profundus (II, III)
		M. flexor pollicis longus
		Mm. lumbricales (I, II)
		M. opponens pollicis
		M. flexor pollicis brevis (Caput superficiale)
		M. abductor pollicis brevis
N. medianus	C6 bis Th1 Fasciculus lateralis et medialis	

1.1.3 Nervus suprascapularis

Der N. suprascapularis entspringt aus dem Truncus superior des Plexus brachialis. Hauptsächlich führt er Fasern aus den Spinalnervenzwurzeln C5 und C6, zum Teil wird eine Beteiligung der Wurzel C4 beschrieben (18). Nach seinem Ursprung aus dem Plexus verläuft der Nerv durch die Fossa supraclavicularis nach posterolateral, zusammen mit der A. supraclavicularis entlang des Venter inferior des M. omohyoideus zur Incisura scapulae. Anschließend durchtritt er die Incisura unterhalb des Ligamentums (Lig.) transversum scapulae superius.

In der Fossa suprascapularis gibt der Nerv zwei Äste ab, einen motorischen Ast, welcher den M. supraspinatus innerviert sowie einen zweiten Ast, der R. articularis superior, welcher das Art. acromioclaviculare, die posterioren und superioren Anteile des Art. glenohumerale, die Bursa subacromiale und die Ligamenta (Ligg.) coracoclaviculare und coracohumerale mit sensorischen und propriozeptiven Fasern versorgt (19).

Im weiteren Verlauf zieht der N. suprascapularis um das Collum scapulae unter dem Lig. transversum scapulae inferius durch die Incisura spinoglenoidalis in die Fossa infraspinata. Dort gibt er zunächst den R. articularis inferior ab, welcher vor allem die dorsalen Anteile der Schultergelenkkapsel sensibel versorgt. Mit seinem Endast innerviert er schließlich den M. infraspinatus motorisch.

Damit zählt der N. suprascapularis zu einem der wichtigsten Nerven des Art. glenohumerale. Er innerviert mit dem M. supraspinatus nicht nur einen der wesentlichen Stabilisatoren des Schultergelenkes, sondern ist auch für circa 70 % der sensiblen Versorgung der Gelenkkapsel verantwortlich (20, 21).

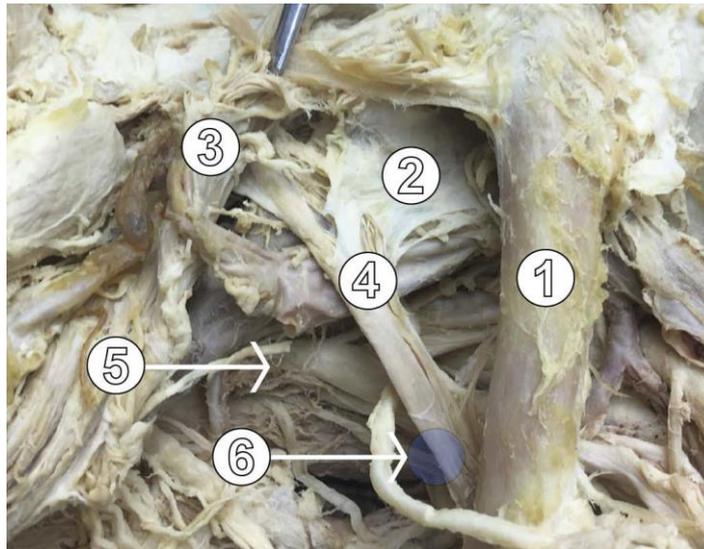


Abbildung 3: Anatomisches Präparat der Regio colli dextra. 1. Clavicula; 2. Cervicale Halsfaszie (prätrachealer Anteil); 3. M. sternocleidomastoideus (hochgeklappt); 4. M. omohyoideus; 5. Plexus brachialis; 6. N. suprascapularis (Punktionsstelle); mit freundlicher Genehmigung durch Dr. med. Martin Wiegel und PD Dr. med. Sabine Löffler.

1.1.4 Innervation der Schulter

Innervation des Hautareals der Schulter

Für die sensible Innervation der Schulter sind verschiedene Nerven zuständig. Das Hautareal lateral des Acromions wird durch einen Ast des N. axillaris, dem N. cutaneus brachii lateralis superior und zum Teil durch die Nervi (Nn.) supraclaviculares, welche dem Plexus cervicalis entstammen (C3 - C4), versorgt. Von medial sind die Rr. cutanei anteriores et laterales der Intercostalnerven beteiligt, die Haut im Bereich der Axilla wird durch den N. cutaneus brachii medialis (Th1 - Th2) innerviert (22, 23).

Innervation der Schultergelenkscapsel

Die Innervation des Schultergelenks erfolgt nach dem Hilton'schen Gesetz von allen Nerven, welche auch jene Muskeln versorgen, die das Schultergelenk bewegen (24). Für die sensible Versorgung des Schultergelenks geben die entsprechenden Muskeläste Rr. articulares ab, welche Schmerzfasern sowie propriozeptive Fasern enthalten. Dazu zählen die Rr. articulares folgender Nerven:

- N. suprascapularis
- N. subscapularis
- N. axillaris
- Nn. pectorales
- N. musculocutaneus
- N. radialis
- direkte Äste aus dem Fasciculus posterior und sympathische Fasern aus dem Ganglion stellatum

Für die motorische Innervation der Schulter sind der N. axillaris und der N. suprascapularis von entscheidender Bedeutung (25). Der N. axillaris entstammt aus dem Fasciculus posterior des Plexus brachialis (C5 und C6). Er zieht durch die laterale Achsellücke nach dorsal. Begleitet von der A. und Vena (V.) circumflexa humeri posterior windet er sich um das Collum chirurgicum des Humerus. Für die Innervation des M. deltoideus teilt sich der Nerv in drei Äste. Der N. axillaris ist außerdem für die Innervation des M. teres minor zuständig. Sein Endast, der N. cutaneus brachii lateralis superior, versorgt die Haut der seitlichen Schulter sensibel. Der Verlauf und die Funktion des N. suprascapularis sind bereits in 1.1.3 beschrieben.

1.2 Regionalanästhesie

1.2.1 Geschichte der Regionalanästhesie

Mit der Extrahierung des Alkaloids Kokain aus den Blättern des südamerikanischen Kokastrauches durch Albert Niemann im Jahre 1860 wurde der Grundstein zur Regionalanästhesie gelegt (26). Die betäubenden Eigenschaften des neu entdeckten Stoffes blieben jedoch viele Jahre unbeachtet, bis 1884 der Augenarzt Carl Koller die erste lokale Betäubung der Augen mit Kokain durchführte (27). Nach der öffentlichen Bekanntmachung seiner Ergebnisse wurde die neue Substanz rasch auch in anderen Fachrichtungen erfolgreich zur lokalen Schmerzausschaltung angewendet. Im selben Jahr wie Koller führte der New Yorker Chirurg William Stewart Halsted mit seinem Kollegen Richard John Hall erste Injektionen von Kokain am N. mandibularis durch und gilt seitdem als der Begründer der Leitungsanästhesie (28). Da es jedoch auf Grund der Verwendung von hochkonzentrierten Lösungen wiederholt zu Intoxikationsfällen kam, entwickelten verschiedene Ärzte Methoden, um die Resorption von Kokain zu verzögern. James Leonhard Corning beschrieb 1885 eine Technik, bei der das zu anästhesierende Gewebe zunächst mit einer Esmarch-Binde blutleer gemacht wurde. Durch die Abschnürung mit einer Gummibinde sollte

zugleich die Blutzirkulation unterbrochen und somit die Wirkung des Kokains verstärkt werden. 1887 stellte Heinrich Braun fest, dass durch den Zusatz von Adrenalin die Absorptionsrate von Kokain verringert und somit auch die Dauer der Anästhesie verlängert werden konnte (29).

Die erste Spinalanästhesie am Menschen führte August Bier im Selbstversuch mit seinem Kollegen August Hildebrandt im Jahr 1889 durch. 1905 etablierte Heinrich Braun ein neues Lokalanästhetikum in der klinischen Praxis: Novocain, dessen Vorteile in der geringeren Toxizität und der potenteren Wirkung lagen, fand schnell Anwendung in den verschiedensten Fachgebieten. So wurden 1911 erste Methoden zur Blockade des Plexus brachialis beschrieben. Georg Hirschel favorisierte einen axillären Zugangsweg (30), Dietrich Kulenkampff schilderte eine supraclaviculäre Technik (31).

1.2.2 Verfahren der Regionalanästhesie

Ziel der Regionalanästhesie ist die Schmerzausschaltung in einer bestimmten Körperregion. Durch verschiedenste Verfahren besteht die Möglichkeit, den Schmerz lokal am Entstehungsort zu blockieren, oder aber auch die Weiterleitung ins Rückenmark durch sensible Afferenzen peripherer Nerven zu unterbinden. Aus der Möglichkeit den Schmerz auf unterschiedlichen Ebenen auszuschalten, leiten sich die Verfahren der Regionalanästhesie ab. Folgende Methoden sind die gängigsten Verfahren der Regionalanästhesie:

1) Oberflächenanästhesie

Bei der Oberflächenanästhesie erfolgt die Betäubung von sensiblen Nervenendungen direkt auf der Haut oder Schleimhaut. Angewendet wird dieses Verfahren z.B. für diagnostische Eingriffe in der Ophthalmologie oder HNO.

2) Infiltrationsanästhesie

Ausschaltung von sensiblen Nervenendungen der Subcutis in einem umschriebenem Hautareal, vorwiegend bei oberflächlichen chirurgischen Eingriffen oder in der Zahnheilkunde.

3) Periphere Nervenblockaden

Blockaden sensibler oder motorischer Fasern peripherer Nerven oder Nervenplexus, bei denen der zu anästhesierende Bereich distal der Injektionsstelle liegt (bei chirurgischen Eingriffen an den Extremitäten oder bei Zahnbehandlungen).

4) Rückenmarksnahe Verfahren

Bei diesen Verfahren kommt es zur Blockade jener Nerven, die vom zu betäubenden Bereich zum Rückenmark ziehen.

Man unterscheidet:

- **Spinalanästhesie:** Hierbei wird das Lokalanästhetikum auf Höhe der Lendenwirbelsäule in den Liquorraum eingebracht und somit eine sensible und motorische Blockade der Spinalnervenwurzeln erzielt, z. B. bei chirurgischen Eingriffen an der unteren Extremität oder in der Geburtshilfe.
- **Periduralanästhesie:** Durch Einbringen des Lokalanästhetikums in den Periduralraum kommt es ebenfalls zu einer Unterbrechung der neuralen Erregungsleitung, im Gegensatz zur Spinalanästhesie tritt die Wirkung jedoch verzögert und in einer verminderten Qualität ein (v.a. die motorische Blockade), da die Spinalnervenwurzeln im Periduralraum noch von Dura, Arachnoidea und Pia mater umgeben sind. Einsatzgebiete sind vor allem die perioperative Schmerztherapie oder die Geburtshilfe.

5) Intravenöse Regionalanästhesie

Bei diesem Verfahren, welches vor allem in der Handchirurgie Anwendung findet, wird an einer Extremität zunächst eine „Blutleere“ erzeugt und im Anschluss ein Lokalanästhetikum venös appliziert. Mit Hilfe einer pneumatischen Doppelkammermanschette (Tourniquet) wird für die Dauer des Eingriffs die gewünschte Blutsperre aufrechterhalten und eine Verteilung des Lokalanästhetikums im Blutkreislauf vermieden. So kann eine selektive Analgesie der Extremität erreicht werden (32, 33).

6) Möglichkeiten zur Lokalisation von Nerven

Die Lokalisation der zu betäubenden Nervenfasern erfolgte ursprünglich durch gezieltes Auslösen von Parästhesien gemäß dem Leitsatz „no paresthesia - no anesthesia“ (34). Es wurden jedoch sicherere und für den Patienten deutlich angenehmere Methoden zur genauen Lokalisation der Nervenstrukturen entwickelt.

- **Periphere Nervenstimulation (PNS):** Die erste Verwendung der peripheren elektrischen Nervenstimulation wurde bereits 1912 durch den Tübinger Chirurgen Georg Perthes beschrieben (35). Mit Hilfe eines Induktionsapparates als Stromquelle und einer mit nichtleitendem Lack überzogenen Kanüle führte er erfolgreiche periphere Nervenblockaden durch. Ziel von Perthes war die Entwicklung einer zuverlässigen Technik zum Aufsuchen von Nervensträngen, welche unabhängig von der Auskunft des Patienten und dessen Mitarbeit war. Nachdem verschiedene Studien zeigten, dass das Auslösen von Parästhesien zu irreversiblen Nervenschädigungen führen kann (36, 37) und der parallelen Entwicklung von modernen Stimulationsgeräten, etablierte sich die periphere Nervenstimulation in der Regionalanästhesie. Prinzip dieser Methode ist die Depolarisation des gesuchten Nerven, die durch elektrische Impulse mittels Stimulationskanüle ausgelöst wird, wenn sich diese nah genug am Nerv befindet. Die Kontraktionen der Kennmuskeln bei schrittweiser Reduktion der Stromstärke auf ca. 0,2 - 0,5 mA signalisieren die gewünschte Position der Kanüle.
- **Sonographie:** Eine sichere Methode zur Lokalisation von Nerven bietet die Sonographie. Fornage identifizierte 1988 erstmals Nerven durch Verwendung eines modernen hochauflösenden Ultraschallsystems (38). Nerven zeigen im Ultraschall ein typisches Schallmuster, entsprechend ihres histologischen Aufbaus (39). Axone und Faszikel stellen sich im Ultraschallbild schwarz dar, da sie nur eine geringe Echogenität besitzen. Das epineurale Gewebe, welches die Nervenfasern umgibt, reflektiert stärker und stellt sich somit im Bild heller dar. Im Querschnitt zeigt der Nerv sein typisch „wabenartiges“ Muster, im Längsschnitt stellt er sich schlauchförmig dar.

In Tab. 3 sind die wichtigsten Vor- und Nachteile der Lokalisationsverfahren für Nerven gegenübergestellt.

Tabelle 3: Vergleich der Nervenlokalisationsverfahren

	Periphere Nervenstimulation	Sonographie
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeit und Auskunft des Patienten wird nicht benötigt • durch Verhinderung des direkten Nadel-Nerven-Kontakts keine mechanischen Nervenläsionen • Auslösen von schmerzhaften Parästhesien nicht notwendig • günstig in der Anschaffung und durch kleine Geräte flexibel einsetzbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Sichtbarkeit von Ziel- und Begleitstrukturen (Gefäße, Pleura, Trachea) • Verteilung des Lokalanästhetikums während der Injektion nachvollziehbar • zielgerichtetes Vorschieben der Kanüle möglich, wenn notwendig sofortige Korrektur und somit Verhinderung von mechanischen Nervenläsionen • schmerzfreies Verfahren mit hoher Patientenakzeptanz
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz bei Neuropathien oder Verwendung von Muskelrelaxantien nicht möglich • in einigen Fällen keine Reizantwort trotz engem Nadel-Nerv-Kontakt auslösbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfolg der Blockade ist stark abhängig von der Erfahrung des Anästhesisten • Artefakte möglich, zum Teil schwierige Identifikation der Kanüle • im Gegensatz zur Nervenstimulation höhere Kosten

1.2.3 Periphere Nervenblockaden des Plexus brachialis

Die ersten Blockaden des Plexus brachialis erfolgten 1911 durch Hirschel und Kulenkampff (30, 31). Mittlerweile wurden in der Literatur zahlreiche Zugangswege und Techniken publiziert, die zur Analgesie im Bereich der oberen Extremität regelhaft angewendet werden.

1.2.3.1 Axilläre Plexusblockade

Bei der Axillären Plexusblockade wird die motorische und sensorische Ausschaltung des N. medianus, N. ulnaris und des N. musculocutaneus genutzt, um operative Eingriffe im Bereich der Hand, des Unterarms sowie des Ellenbogens durchzuführen. Dabei ist zu beachten, dass der N. radialis nicht immer vollständig mitbetäubt wird und es so zu Aussparungen im Bereich des Innervationsgebietes kommen kann. Kontinuierliche Katheterverfahren können zur postoperativen Schmerztherapie, Sympathikolyse oder zur Erleichterung der physiotherapeutischen Mobilisation genutzt werden.

Da die Nerven im Gegensatz zur supra- und infraclaviculären Region nicht mehr so kompakt in Faszikeln zusammen liegen, treten längere Anschlagzeiten und teilweise inkomplette Blockaden auf. Der entscheidende Vorteil gegenüber den claviculanahen Blockaden ergibt sich aus dem deutlich geringeren Risiko für schwere Komplikationen, wie zum Beispiel Verletzungen der Pleura. Die Blockade kann als perivaskuläre „Single-Injection-Technik“ (hier dient die A. axillaris als Leitstruktur), als „Multiple-Injection-Technik“ (unter Zuhilfenahme eines Nervenstimulators werden die zu betäubenden Nerven einzeln aufgesucht) oder ultraschallgestützt durchgeführt werden (40).

1.2.3.2 Supra- und infraclaviculäre Blockaden

Supraclaviculäre Blockaden

Wie bereits oben beschrieben liegen die Faszikel des Plexus brachialis im Bereich der Clavicula dicht gebündelt beieinander und können mit verschiedenen Techniken zur Analgesie und Sympathikolyse im Bereich des distalen Oberarms sowie des Ellenbogens und der Hand genutzt werden. Aufgrund der erhöhten Gefahr der Entstehung eines Pneumothorax bei der klassischen Technik nach Kulenkampff (31), wird die Punktion in der Regel sonographisch durchgeführt und sollte nur nach vorheriger Abklärung etwaiger Kontraindikationen erfolgen (41).

Bei der supraclaviculären Technik dienen Clavicula, A. subclavia und erste Rippe als anatomische Leitstrukturen. Auch die Pleura sollte mittels Ultraschalles identifiziert werden, um iatrogene Verletzungen zu vermeiden. Bei der Anlage peripherer Schmerzkatheter ist diese Technik jedoch der infraclaviculären Blockadetechnik unterlegen (42).

Infraclaviculäre Blockaden

Vor allem die Vertikale Infraclaviculäre Plexusblockade (VIP), welche erstmals durch Kilka und Kollegen (43) im Jahr 1995 beschrieben wurde, hat sich in der klinischen Routine etabliert. Zur Lokalisation der Punktionsstelle wird die Strecke zwischen Fossa jugularis und dem ventralen Anteil des Acromions halbiert. Die Punktion erfolgt nun unmittelbar unterhalb der Clavicula, hierbei ist auf eine streng vertikale Stichrichtung zu achten. Bei der Verwendung der elektrischen Nervenstimulation resultiert eine motorische Antwort in Form von Finger- oder Handbeugung oder einer Streckung im Ellenbogengelenk. Mit Hilfe dieser Technik kann ein hoher Blockadeerfolg bei gleichzeitig geringerer Komplikationsrate erzielt werden (44).

1.2.3.3 Interscalenäre Plexusblockade

Die ISB wird hauptsächlich zur suffizienten Schmerztherapie durch die potente Ausschaltung des Plexus brachialis im Rahmen von Schulteroperationen eingesetzt. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Zugangswege und Techniken erläutert.

Anteriorer Zugang nach Winnie

Bei der landmarkenorientierten Technik nach Winnie (45) liegt der Patient auf dem Rücken, der Kopf wird leicht zur Gegenseite geneigt. Durch Anheben des Kopfes kann der Hinterrand des M. sternocleidomastoideus getastet werden, welcher lateral vom M. scalenus anterior begrenzt wird. Mit rollenden Fingern sollte nun die Lücke zwischen den Mm. scaleni ertastet werden. Da die A. subclavia das distale Ende der Scalenuslücke markiert, kann deren Pulsieren als Orientierungshilfe genutzt werden. Im Anschluss wird eine Verbindungslinie zwischen Scalenuslücke und Schildknorpel des Kehlkopfs gezogen. Die Punktion erfolgt nun in der Scalenuslücke auf Höhe des Schildknorpels senkrecht zur Haut, die Nadel wird anschließend in einem Winkel von 45 Grad in Richtung Processus transversus des 6. Halswirbelkörpers (HWK) (medial, kaudal, gering dorsal) vorgeschoben. Das Auslösen von Parästhesien signalisiert die korrekte Position der Kanüle. Bei dieser Technik ist der Plexus brachialis in der Regel nicht tiefer als 2,5 cm zu erwarten. Anschließend wird das Lokalanästhetikum nach negativer Aspirationsprobe injiziert (46). Die Anlage von Kathetern zur kontinuierlichen Schmerztherapie ist durch die rechtwinkelige Stichrichtung jedoch nicht möglich. Bedingt durch die Nadelführung birgt diese Technik potenzielle Komplikationen, u.a. die Möglichkeit einer hohen Spinalanästhesie, intraarterielle Injektionen oder die Entstehung eines Pneumothorax.

Anteriorer Zugang nach Meier

Um die Risiken der Interscalenären Blockade nach Winnie zu minimieren und die Anlage von Kathetern zu ermöglichen, wurde 1997 eine modifizierte Technik von Meier und Kollegen publiziert (47). Die Lagerung des Patienten sowie die anatomischen Landmarken entsprechen der Technik nach Winnie. Die Punktion erfolgt allerdings weiter kranial in der Scalenuslücke, ca. 2 - 3 cm oberhalb des Ringknorpels in Höhe der Incisura thyroidea superior, in einem Winkel von 30 Grad zur Haut. Die Verwendung eines Nervenstimulators ist obligat. Nach einer positiven Reizantwort des M. deltoideus und des M. triceps brachii bei einer Stromstärke von 0,6 - 0,2 mA und einer negativen Aspirationsprobe kann das Lokalanästhetikum injiziert werden (48). Ein großer Vorteil gegenüber der Punktionsorientierung nach Winnie liegt in der flacheren Stichrichtung und erlaubt somit die Anlage von Kathetern mit der Möglichkeit von Nachinjektionen oder kontinuierlicher Applikation von Lokalanästhetika.

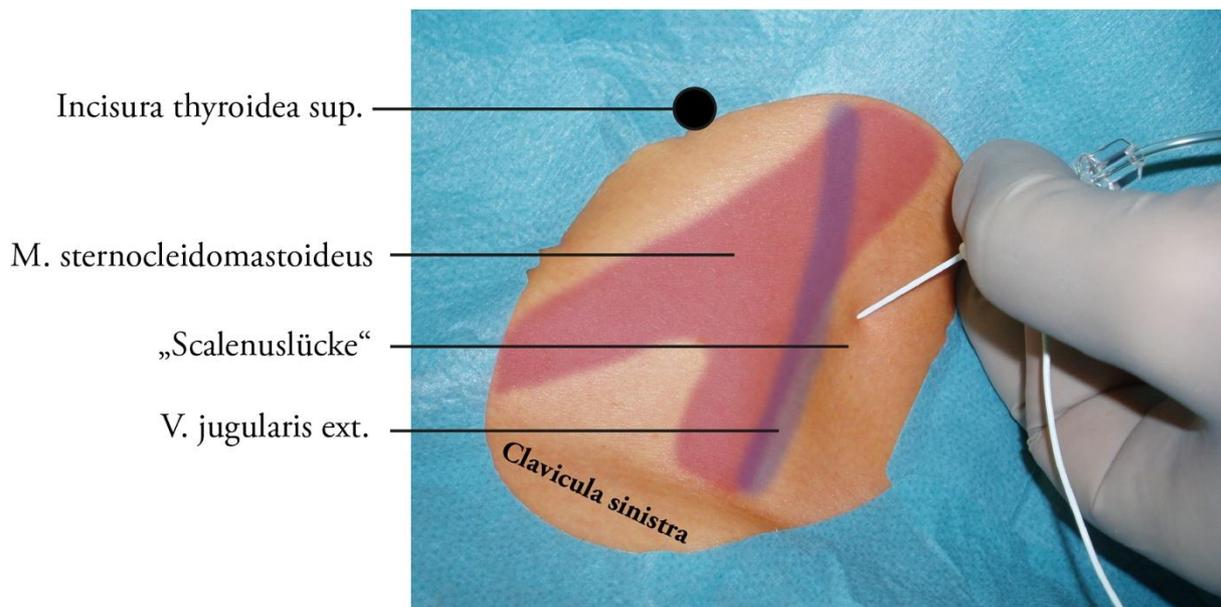


Abbildung 4: Landmarkenorientierte Blockadetechnik nach Meier, Nadelführung und Punktionsstelle im Bereich der Scalenuslücke (mod. nach Meier et al. 2013 (49)).

Posteriorer Zugang

Der posteriore Zugang zum Plexus brachialis wurde erstmals 1990 von Pippa und Kollegen veröffentlicht (50). Bei dieser Technik liegt der Patient auf der Seite, der Kopf ist so gelagert, dass in der Halswirbelsäule eine maximale Kyphosierung entsteht. Als anatomische Leitstruktur dient der 7. HWK, welcher in der Regel gut zu tasten ist. Nach Aufsuchen der Mitte zwischen HWK 6 und 7 wird eine 3 cm lange Linie nach lateral gezogen. Die Punktion erfolgt an dieser Stelle mit einer 10 cm langen Kanüle senkrecht zur Haut in Richtung Krikoid, in der Regel besteht nach 4 -

7 cm Kontakt zum Processus transversus des 7. HWK. Die Stichrichtung sollte nie nach medial abweichen, um eine Punktion der A. vertebralis oder A. carotis zu vermeiden. Um den Plexus brachialis zu erreichen, muss die Kanüle leicht nach kranial korrigiert und noch ca. 2 cm in die gleiche Richtung vorgeschoben werden, bis via Nervenstimulator eine Reizantwort des M. biceps brachii ausgelöst wird. Nach negativer Aspiration ist nun die Injektion des Lokalanästhetikums möglich (34).

Indikationen für die Interscalenäre Plexusblockade

- intra- und postoperative Schmerztherapie bei Operationen im Bereich der Schulter (arthroskopisch oder offene Techniken)
- Therapie von Schultergelenksluxationen
- physiotherapeutische Übungen nach Schulteroperationen
- Behandlung der Schultersteife („frozen shoulder“)
- Therapie von chronischen Schmerzsyndromen (46)

Da der Truncus inferior des Plexus brachialis durch eine ISB nicht vollständig ausgeschaltet wird, kommt es im Versorgungsgebiet des N. ulnaris zu Aussparungen der Analgesie. Daher ist die ISB nicht bei Eingriffen am distalen Oberarm, Unterarm sowie der Hand geeignet.

Kontraindikationen

absolute:

- klinisch manifeste hämorrhagische Diathesen
- lokale Infektionen im Bereich der Einstichstelle
- bekannte kontralaterale Phrenicus- oder Recurrensparese
- akute respiratorische Insuffizienz
- Ablehnung durch den Patienten

relative:

- schwere chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), nicht exazerbiert
- schweres Asthma bronchiale, nicht exazerbiert

Durch Modifizierungen der Technik und Verwendung der genannten Lokalisationsmöglichkeiten (PNS und Sonographie), gilt die ISB als ein sicheres und effizientes Verfahren (51). Dennoch sind Nebenwirkungen und Komplikationen möglich. Im Folgenden werden methodenimmanente Nebenwirkungen von Komplikationen der Blockadetechnik abgegrenzt.

Methodenimmanente Nebenwirkungen

Bei der ISB treten technikbedingte Nebenwirkungen auf, die auch bei sorgfältigster Anwendung nicht immer vermeidbar sind.

Diese Nebenwirkungen gelten als *regredient* und sollten bei jedem Aufklärungsgespräch mit dem Patienten besprochen werden.

Phrenicusparesse: Der N. phrenicus entspringt aus dem Plexus cervicalis und führt Fasern aus den Segmenten C3 bis C5. Nach seinem Ursprung zieht er zwischen der A. und V. subclavia auf dem M. scalenus anterior in enger Nachbarschaft zum Plexus brachialis nach kaudal. Mit seinen motorischen Endästen innerviert er die Zwerchfellmuskulatur (15). Urmey und Mitarbeiter zeigten 1991 in ihrer Studie, dass die Inzidenz der Phrenicusparesse nach der ISB bei 100 % liegt (8). Selten wird diese Nebenwirkung vom Patienten direkt bemerkt, manchmal ist eine tiefe Inspiration behindert.

Recurrensparesse: Durch seine topographische Beziehung zum Plexus brachialis besteht die Möglichkeit einer Mitblockade des N. laryngeus recurrens mit konsekutiver reversibler Heiserkeit. Bei einer bereits vorbestehenden einseitigen Recurrensparesse kann eine Blockade des kontralateralen N. laryngeus recurrens eine schwere Atemnotsymptomatik auslösen (52).

Horner-Syndrom: Die sympathischen Halsganglien liegen in unmittelbarer Nähe zum Plexus brachialis. Vor allem das Ganglion cervicale medium, welches sich auf Höhe des 6. Halswirbels befindet, sowie das Ganglion stellatum im Bereich des Caput costae der ersten Rippe, können durch die Ausbreitung des Lokalanästhetikums ebenfalls blockiert werden. Dies fällt klinisch durch die Ausbildung eines Horner-Syndroms mit vorübergehender Miosis, Ptosis und Enophthalmus auf.

Komplikationen

Komplikationen sind punktionsbedingte Ereignisse, die ggf. zu einer Änderung des Verfahrens oder zu möglichen bleibenden Schädigungen des Patienten führen können und unter Umständen eine erweiterte intensivtherapeutische Behandlung bedingen. Auch diese möglichen Komplikationen sind ausführlich mit dem Patienten zu besprechen und von in der Regel nur transienten Nebenwirkungen (siehe oben) klar abzugrenzen.

Hohe Spinalanästhesie: Durch eine akzidentielle Punktion des cervikalen Epidural- und Subarachnoidalraums kann es zu einer hohen Spinalanästhesie kommen. Klinisch treten durch die Blockade des Sympathikus eine ausgeprägte Bradykardie und Hypotonie auf, welche äußerst selten zu einem Herzkreislaufstillstand führen können. Eine zusätzliche Lähmung der intercostalen Atemmuskulatur kann einen Atemstillstand auslösen (53, 54).

Intravasale Injektionen: Die A. vertebralis verläuft als erster Ast der A. subclavia entlang der Foramina transversaria der Halswirbelsäule und gibt auf der Höhe jedes Wirbelkörpers Äste für die Versorgung des Rückenmarks ab. Durch die Lagebeziehung ist eine versehentliche arterielle Injektion des Lokalanästhetikums möglich, welche rasch (und dosisabhängig) zu einer cerebralen Krampfsymptomatik führen kann, da das Anästhetikum auf diesem Weg direkt in das Gehirn gelangt. Im Anschluss folgt eine sogenannte ZNS-Depression, welche zusätzlich noch durch einen Atem- sowie Herzkreislaufstillstand verkompliziert werden kann (55).

Pneumothorax: Die Pleurakuppel reicht bis oberhalb der ersten Rippe und kann bei falscher Stichrichtung punktiert werden und somit klinisch in der Ausbildung eines Pneumothorax mit konsekutiv notwendiger Anlage einer Thoraxsaugdrainage resultieren. Borgeat und Kollegen zeigten jedoch, dass die Inzidenz der Pneumothoraces bei der ISB mit 0,2 % insgesamt sehr gering ist (56).

Neurologische Komplikationen: Vorübergehende Symptome, wie Parästhesien, Schmerzen oder Dysästhesien sind möglich. Bishop und Kollegen zeigten 2005 in einer retrospektiven Studie, dass 2,3 % der Patienten unter temporären „minor neurological complications“ litten, welche im Durchschnitt innerhalb von 6 Monaten rückläufig waren (57). Bleibende neurologische Schäden sind äußerst selten und eine Abgrenzung zu intraoperativen Lagerungsschäden schwierig (56, 58).

1.2.3.4 Blockade des Nervus suprascapularis

Die erste Blockade des N. suprascapularis erfolgte 1941 durch Wertheim (59). Zahlreiche Modifikationen der ursprünglichen Technik und verschiedene Zugangswege werden heute im klinischen Alltag angewendet.

Posteriore Punktionsorientierung

Zugangsweg nach Wertheim

Bei dem direkten Zugangsweg nach Wertheim erfolgt die Punktion von posterior. Der Patient befindet sich in sitzender Position, der Kopf wird leicht nach vorn geneigt. Die Linie zwischen dem medialen Rand der Spina scapulae und dem lateralem Hinterrand des Acromions wird halbiert und eine Parallele zur Wirbelsäule gezogen. Die Injektionsstelle liegt 2,5 bis 3 cm kranial dieser Schnittstelle. Die Punktion erfolgt senkrecht zur Haut in Richtung Incisura scapulae, nach ca. 3 cm besteht Knochenkontakt und die Incisura sollte durch vorsichtiges Tasten mit der Punktionsnadel aufgesucht werden. Wenn der Patient zu diesem Zeitpunkt Parästhesien angibt, besteht Kontakt zum N. suprascapularis. Nach negativer Aspirationsprobe wird das Lokalanästhetikum appliziert. Zur Lokalisation des N. suprascapularis wurde ab der klinischen Etablierung des Nervenstimulators in den 1960er Jahren (60) zunehmend auf das Auslösen von Parästhesien verzichtet.

Da bei dieser landmarkenorientierten Punktionstechnik grundsätzlich eine erhöhte Gefahr einer Pleuraverletzung besteht, empfiehlt es sich die Hand der zu blockierenden Seite auf die kontralaterale Schulter zu legen, um somit den Abstand zwischen Scapula und Pleura zu vergrößern (61). Prinzipiell besteht die Möglichkeit, eine kontinuierliche Blockade durch Einführen eines Verweilkatheters durchzuführen, jedoch birgt dies die Gefahr der Entstehung eines Engpasssyndroms, da die Incisura scapulae in diesem Bereich vom Lig. transversus scapulae superius überspannt wird.

Modifizierte Technik nach Meier

Um das Risiko eines iatrogenen Pneumothorax zu minimieren und um eine Katheteranlage zu ermöglichen, wurde die ursprüngliche Technik nach Wertheim im Jahr 2002 durch Meier und Bauereis modifiziert (21). Grundlage dieses Verfahrens ist der Umstand, dass die Fossa supraspinata eine V-förmige Wanne bildet, an deren Boden der N. suprascapularis nach lateral zieht. Studien an anatomischen Präparaten zeigten, dass Farbstoff, welcher in diese „Wanne“ appliziert wird, durch die Incisura scapulae abfließt und somit den N. suprascapularis umspült. Der

Patient befindet sich in sitzender Position, die Hand wird auf die kontralaterale Schulter aufgelegt. Die Verbindungslinie vom lateralen Hinterrand des Acromions und dem medialen Ende der Spina scapulae wird halbiert, 2 cm medial und 2 cm kranial davon befindet sich die Punktionsstelle. Die Punktion erfolgt mit einer Stimulationskanüle in einem Winkel von 75° zur Haut, die Nadel wird nach lateral, in Richtung Humeruskopf vorgeschoben. Nach erfolgreicher Identifikation mittels Nervenstimulator kann das Lokalanästhetikum appliziert werden. Auch die Anlage eines Schmerzkatheters ist problemlos möglich.

In Ergänzung und Verbesserung dieser klassischen posterioren Punktionsorientierungen werden alternativ auch weitere superiore Punktionsorientierungen beschrieben, bei denen die Incisura scapulae nicht aufgesucht werden muss. Verschiedene Autoren (62, 63) publizierten eine Methode, bei der die Nadel an den lateralen Boden der Fossa supraspinata geführt und dort das Lokalanästhetikum appliziert wird. Die Gefahr einer versehentlichen Pleuraverletzung wird so reduziert.

Anteriore Punktionsorientierung

Erstmalig wurde der anteriore Zugangsweg 1992 von Wassef und Kollegen zur Schmerztherapie der „frozen shoulder“ beschrieben (64). Der Patient wird in eine sitzende Position gebracht. Als anatomische Landmarken dienen der Processus coracoideus, der M. trapezius und die Clavicula. Die Punktionsstelle befindet sich an der Schnittstelle des medialen Randes des M. trapezius und des lateralen Drittels der Clavicula. Die Stichrichtung ist dorsal, kaudal und leicht nach medial gerichtet. Der N. suprascapularis wird mit einem Nervenstimulator identifiziert, nach negativer Aspirationsprobe wird das Lokalanästhetikum injiziert. Da für diesen Zugangsweg nur der vordere Teil der Schulter und des Nackens sichtbar sein muss, kann die Blockade auch beim liegenden Patienten durchgeführt werden. Im Jahr 2012 beschrieben Siegenthaler und Kollegen die Visualisierung des N. suprascapularis mittels Sonographie bei einem anterioren Zugang (65). Vorteilhaft zeigte sich hier die oberflächliche Lage des Nerven und die damit verbundene einfache Punktionsmöglichkeit.

M. omohyoideus
(Venter sup. & Venter inf.)

N. suprascapularis

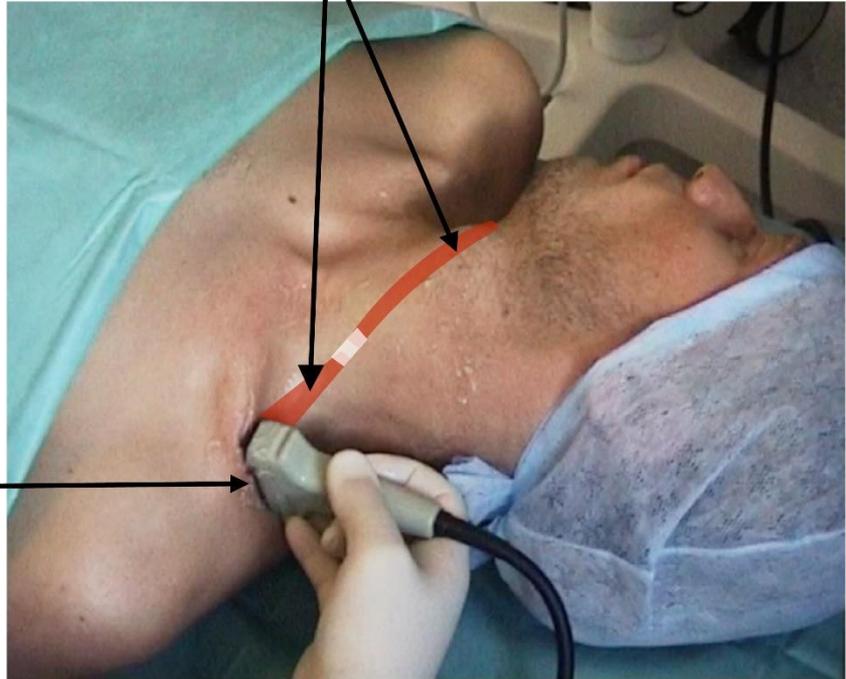


Abbildung 5: Anteriore Punktionsorientierung nach Siegenthaler und Kollegen, Punktionsstelle in der Mitte des Schallkopfes, mit freundlicher Genehmigung durch Dr.med. Martin Wiegel.

Indikationen für die Blockade des N. suprascapularis

Die Blockade des N. suprascapularis ist für die Therapie von Schmerzen im Bereich der Schulter unterschiedlicher Genese sehr gut geeignet. Bereits 1949 zeigten Milowsky und Mitarbeiter (66), dass die Blockade zur Schmerztherapie bei Bursitiden im Bereich des Schultergelenks erfolgversprechend ist. In Tab. 4. werden die gängigsten Anwendungsgebiete ausgeführt.

Tabelle 4: Indikationen für die NSSB

Indikation	Beispiel
intra- oder postoperative Schmerztherapie	bei offenen oder arthroskopischen Schulteroperationen in Kombination mit einer Allgemeinanästhesie oder als Ergänzung zur ISB
Schmerztherapie	Bursitis, Tendinitis „frozen shoulder“ Rotatorenmanschettenruptur Arthritis Hemiparese
diagnostisch	Schulerschmerzen unklarer Genese

Kontraindikationen

Für die Blockade des N. suprascapularis gelten die allgemeinen Kontraindikationen für periphere Nervenblockaden.

Komplikationen und Nebenwirkungen

Bei der NSSB handelt es sich um eine sehr komplikationsarme Technik. Beim direkten posterioren Zugangsweg besteht ein erhöhtes Risiko für eine akzidentielle Pleurapunktion, wenn die Nadel tiefer als 5 cm eingeführt wird. Die Inzidenz für die Entstehung eines Pneumothorax liegt jedoch unter 1 % (19). Bei der alleinigen Verwendung eines Nervenstimulators zur Identifikation des N. suprascapularis besteht die Gefahr einer Gefäßpunktion mit anschließender Intoxikation. Am ehesten können hier A. und V. suprascapularis verletzt werden, die über dem Lig. transversum scapulae superius verlaufen. Bleibende motorische Schwächen der vom N. suprascapularis innervierten Muskeln sind eine Rarität und werden in der Literatur kaum beschrieben (62).

1.3 Die Elektrische Impedanz-Tomographie (EIT)

Bei der EIT handelt es sich um ein nicht-invasives Monitoringverfahren, welches am Patientenbett, ohne jegliche Strahlenbelastung, eine Beurteilung von dynamischen Lungenparametern erlaubt (67). Änderungen von end-inspiratorischen und end-expiratorischen Lungenvolumina pro Atemzug können mit Hilfe dieses Verfahrens dargestellt und Aussagen über die regionale

Ventilationsverteilung getroffen werden. Barber und Brown beschrieben 1984 erstmalig die Nutzung der EIT (68).

1.3.1 Technisches Prinzip

Entsprechend des Ohm'schen Gesetzes fließt elektrischer Strom immer entlang des geringsten Widerstandes. Dieses physikalische Prinzip bildet die Grundlage für die EIT. Die Luft in den Lungen besitzt einen höheren bio-elektrischen Widerstand, auch elektrische Impedanz genannt, als die umgebenden Strukturen des Thorax. Bei jeder Inspiration dehnen sich die Wände der Alveolen. Dadurch wird das elektrisch leitende Gewebe durch Luft verdrängt. Dies hat zur Folge, dass der Widerstand gegenüber dem elektrischen Strom zunimmt. Die durch die Inspiration entstehenden Impedanzschwankungen können mittels Messelektroden aufgezeichnet und visualisiert werden.

Die Grundlage für die Bilderzeugung bildet ein Wechselstrom, welcher zwischen zwei auf der Körperoberfläche angebrachten Elektroden angelegt wird. Weitere, zirkulär um den Thorax angeordnete Elektroden zeichnen die entstandenen elektrischen Potentiale auf. Um ein einziges Schnittbild zu erzeugen, muss jedes Elektrodenpaar mindestens einmal für die Stromspeisung verwendet werden. Die übrigen Elektroden müssen zeitgleich die entstandenen Oberflächenpotentiale aufgezeichnet haben (69). In Abb. 6 ist beispielhaft die Bildschirmanzeige des verwendeten EIT-Gerätes dargestellt. In der sogenannten „ScoutView“ werden dem Anwender alle einstellbaren Patientenparameter, die Signalqualität sowie der Hautkontakt der Elektroden angezeigt. Vor Aufzeichnung der Daten wurden diese regelhaft überprüft. Ebenfalls kann direkt am Patientenbett eine erste Aussage über die Belüftung (blau) beider Lungenflügel getroffen werden.



Abbildung 6: Screenshot des EIT-Bildschirms: Patientendaten, gewählte Gurtgröße, Aufzeichnungsqualität sowie Ventilation beider Lungenflügel (blau), eigene Aufnahme.

1.3.2 Einsatzmöglichkeiten der EIT im klinischen Alltag

Aus der einfachen Handhabung, der schnellen Verfügbarkeit in unmittelbarer Patientennähe und dem direkten Informationsgewinn, ergeben sich zahlreiche Einsatzmöglichkeiten der EIT. In Tab. 5. werden die Vorteile und Einschränkungen gegenüber der Computertomographie (CT), welche aktuell als Goldstandard zur Diagnostik von Lungenerkrankungen zählt, aufgezeigt.

Die EIT wird u.a. genutzt zur:

- Detektion von Pneumothoraces
- Überwachung einer lungenprotektiven Beatmung bei ARDS durch Integration der EIT-Technologie in das Beatmungsgerät
- Diagnostik von minderbelüfteten Lungenarealen
- Identifizierung von Lungenkollapsen und -überdehnung (70)

Tabelle 5: Vorteile und Einschränkungen der EIT

Vorteile gegenüber der CT	Einschränkungen und Fehlerquellen
keine Strahlenbelastung	ungenauere Messwerte durch Schwankungen des Herzzeitvolumens oder des intrathorakalen Blutvolumens
Quantifizierung der Ventilation durch die dynamische Abbildung der Lungenfunktion	Messfehler durch unzureichenden Hautkontakt der Messelektroden
durch kleine Geräte direkt und kontinuierlich am Patientenbett einsetzbar	kein Einsatz bei großen Wunden im Bereich des Thorax möglich
Integration der EIT-Technologie in Beatmungsgeräte und somit gezielte lungenprotektive Beatmung möglich	eingeschränkter Einsatz bei Patienten mit Herzschrittmachern oder Pulmonalarterienkathetern

1.4 Ambulante Operationen

1.4.1 Entwicklung des tagesklinischen Bereiches

Die Anzahl der ambulant durchgeführten Operationen in Deutschland ist vor allem in den letzten 20 Jahren stark angestiegen, nicht zuletzt durch die Öffnung der Krankenhäuser für ambulante Eingriffe basierend auf dem Gesundheitsstrukturgesetz von 1992 (71). Die tagesklinischen Operationen werden in Krankenhäusern, in Praxisräumen oder in ambulanten Operationszentren durchgeführt. Gründe für diesen rapiden Anstieg sind zum einen ökonomischer Natur, andererseits sind durch strukturierte Abläufe, minimal-invasive Chirurgie sowie moderne Anästhesieverfahren mittlerweile auch größere elektive Eingriffe mit einer hohen Patientensicherheit ambulant durchführbar (72). Dazu zählen beispielsweise, wie Lemos und Kollegen 2006 publizierten, die Leistenhernienreparation, die plastische Rekonstruktion des Nasenseptums, verschiedene gynäkologische Operationen und die arthroskopische Versorgung des Kapsel- und Bandapparates der Schulter (73). Eine Studie der Kassenärztlichen Vereinigung Bayern konnte eine sehr hohe Patientenzufriedenheit und Versorgungsqualität bei ambulanten Eingriffen in den oben genannten Fachbereichen sowie einen sehr geringen Anteil von unerwünschten Ereignissen und Komplikationen zeigen (74). Nach ausführlicher Anamnese, körperlicher und ggf. apparativer Voruntersuchung können auch Patienten der ASA-Klasse (siehe

Tab. 8) III ohne erhöhtes Risiko ambulant operiert werden (75).

Im internationalen Vergleich werden in Deutschland nur rund 37 % der Operationen ambulant durchgeführt, hingegen fanden Jahr 2006 in den USA 83,5 % der Eingriffe tagesklinisch statt, in Schweden 50 %, in den Niederlanden 49,6 % (73).

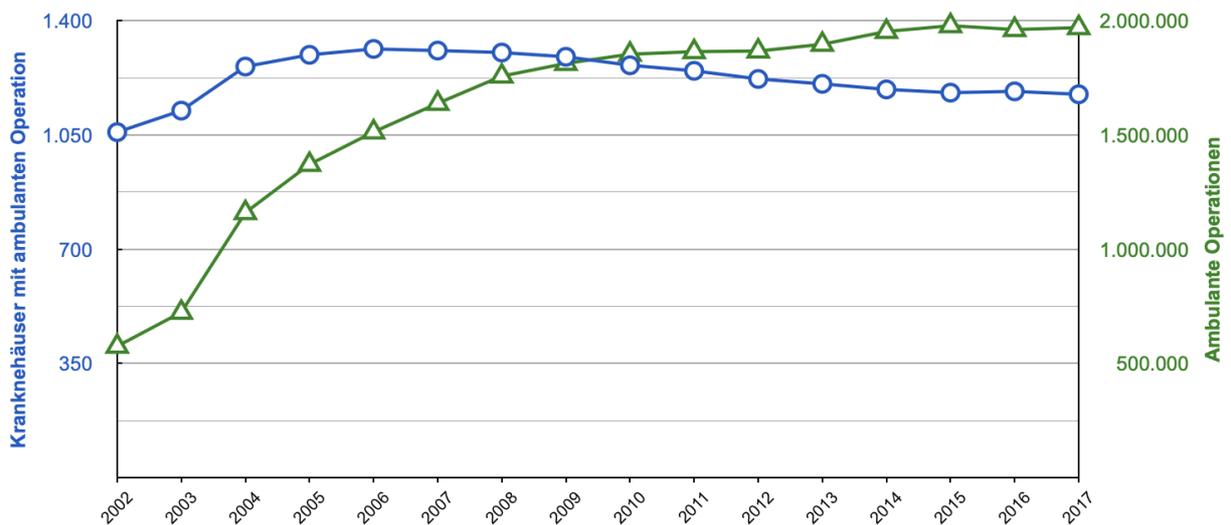


Abbildung 7: Entwicklung ambulant durchgeführter Eingriffe. Trend von 2002 bis 2017 nach Gesundheitsberichterstattung des Bundes (4).

Eine Operation wird als ambulant definiert, wenn der Patient die Nacht vor der Operation sowie die nachfolgende Nacht nicht im Krankenhaus verbringt. Sollte eine stationäre Aufnahme erforderlich werden, spricht man von einem vollstationären Behandlungsfall (76). Der AOP-Vertrag zwischen der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV), den Spitzenverbänden der gesetzlichen Krankenversicherung (GKV) und der Deutschen Krankenhausgesellschaft (DKG) regelt die gesetzlichen Grundlagen für das ambulante Operieren (77). Für tagesklinische und stationäre Eingriffe gelten die gleichen Qualitätsmaßstäbe.

1.4.2 Vorteile ambulanter Operationen

Durch das multimodale Organisationskonzept ergeben sich u.a. folgende Vorteile von tagesklinischen Eingriffen (3):

- Realisierung von Indikationsstellung, Durchführung der Operation und Nachsorge durch eine Praxis möglich
- optimale Auslastung von OP-Kapazitäten und somit Kostenersparnis und gesteigerte Wirtschaftlichkeit
- keine Abhängigkeit von verfügbaren Betten
- Vermeidung von Trennung aus dem häuslichen Umfeld, insbesondere für Kinder und ältere Patienten
- schnelle Rückkehr in den häuslichen Alltag
- verringertes Risiko für nosokomiale Infektionen (78)
- Anreiz für die Entwicklung neuer und effizienterer OP- Techniken

1.4.3 Voraussetzungen für einen ambulanten Eingriff

Nach erfolgter Indikationsstellung für den operativen Eingriff durch den Chirurgen muss der Anästhesist anhand der Krankengeschichte des Patienten und den vorliegenden Befunden prüfen, ob eine ambulante Operation unter gegebenen Umständen zum geplanten Zeitpunkt stattfinden kann (79), die Entscheidung erfolgt stets interdisziplinär. Ein Urteil des Bundesgerichtshofs vom 14.06.1994 (Aktenzeichen VI ZR 178/93) erlaubt bei normalen ambulanten Eingriffen eine Aufklärung am OP-Tag, vorausgesetzt, dem Patienten wird genügend Bedenkzeit eingeräumt (80). Bei größeren Eingriffen mit erhöhtem Risiko sollte der Patient stets in einer anästhesiologischen Sprechstunde vorgestellt werden. Tab. 6 fasst die grundlegenden Voraussetzungen für eine ambulante Operation zusammen (3, 79).

Tabelle 6: Voraussetzungen für eine ambulante Operation

anästhesiologisch	chirurgisch	sozial
keine akuten, fieberhaften Infekte	max. OP-Dauer unter 3 h	Einwilligung (-sfähigkeit) des Patienten
ASA I-III (alle Patienten müssen zuvor eine anästhesiologische Sprechstunde besucht haben sowie alle relevanten Befunde zu Voruntersuchungen vorliegen)	ASA III keine Eingriffe, welche zur Verlegung von Atemwegen führen können	ausreichende Compliance des Patienten
keine akute Exazerbation von Grunderkrankungen	keine intrakraniellen oder intrathorakale Eingriffe, keine offenen Laparotomien	Betreuung durch eine gewissenhafte Person für die ersten 24 h nach dem Eingriff
	keine Operationen, die zu absehbaren Einschränkungen der Vitalfunktionen führen	telefonische Erreichbarkeit des Patienten sowie sicherer Heimtransport, ggf. durch eine Begleitperson, Fahrzeit unter 2 h

1.4.4 Anforderungen an das Anästhesieverfahren

Um einen operativen Eingriff in einem ambulanten Setting durchführen zu können, ist die Wahl eines geeigneten Anästhesieverfahrens von entscheidender Bedeutung. Dabei sollten gut steuerbare Anästhetika eingesetzt werden, die gleichzeitig ein minimales Nebenwirkungsprofil besitzen, eine hohe Sicherheit gewährleisten und zu einer schnellen Erholung des Patienten führen. Ebenso sollten ideale Bedingungen für den Operateur existieren (81). Zur Vermeidung einer verzögerten Entlassung durch anhaltende postoperative Schmerzen oder Übelkeit/Erbrechen (Postoperative Nausea and Vomiting, PONV), sollten bereits prä- und intraoperativ gegensteuernde Maßnahmen ergriffen werden (82). Eine Kombination von Allgemeinanästhesie und regionalanästhesiologischen Verfahren bietet den Vorteil einer langanhaltenden Analgesie und

eines reduzierten Opioid-Bedarfs (83). Die Betreuung des Patienten nach dem Eingriff erfolgt durch den Anästhesisten und den Chirurgen. In der Regel findet die unmittelbare postoperative Überwachung in einem von anästhesiologischem Personal geführten Aufwachraum statt, der Operateur hingegen ist für die Organisation der weiterführenden Behandlung zuständig.

2. Zielsetzung der Doktorarbeit

Ziel dieser Doktorarbeit war die Detektion von Ventilationseinschränkungen aufgrund von akzessorischen Paresen des N. phrenicus bei der Anwendung zweier ultraschallgestützter regionalanästhesiologischer Verfahren im Rahmen von ambulanten Schulterarthroskopien. Hierfür wurden an ausgewählten Probanden eine ISB oder eine anteriore NSSB durchgeführt und die Ventilation der jeweiligen Lungenhälfte prä- und postoperativ mittels EIT-Technologie ermittelt. Parallel hierzu wurde die Zwerchfellbeweglichkeit zur direkten Diagnostik einer Phrenicusparese sonographisch gemessen.

Die methodenimmanenten Nebenwirkungen der ISB sind in der Literatur hinreichend beschrieben, hinsichtlich der vorübergehenden einseitigen Lähmung des Zwerchfells bei einer anterioren NSSB existieren bisher keine klinischen Studien.

Die Elektrische Impedanz-Tomographie ist zur Eruiierung dieser Problematik hilfreich, da sie als ein dynamisches bildgebendes Verfahren, welches ohne Belastung durch ionisierende Strahlen, die regionale Ventilationsverteilung in der Lunge erfasst und Änderungen der lokalen end-inspiratorischen wie auch end-expiratorischen Lungenvolumina pro Atemzug direkt am Krankenbett dargestellt (84).

Vorteile der Technik der anterioren NSSB sind bereits bekannt (11, 12), in Bezug auf das Nebenwirkungsprofil bedarf es aber einer systematischen Evaluierung und verlässlichen Validierung.

Als primärer Endpunkt dieser Studie wurde die mittels EIT gemessene prozentuale Verteilung der Lungenventilation nach ISB bzw. NSSB festgelegt. Als sekundärer Endpunkt wurde die Häufigkeit einer N. phrenicus Blockade nach ISB bzw. NSSB ermittelt. Die Ergebnisse sind bezüglich der Entwicklung einer individuell adaptierten Schmerztherapie nach arthroskopischen Schulteroperationen im tagesklinischen Bereich hoch relevant.

3. Material und Methoden

3.1 Studie

In der vorliegenden Arbeit handelt sich um eine prospektive, randomisierte, monozentrische Studie. Die Patienten wurden in der MIO Sportklinik Leipzig untersucht und operiert. Nach zustimmender Beratung durch die Ethikkommission der Sächsischen Landesärztekammer (EK-BR-23/16-1) und der Studienregistrierung im Deutschen Register Klinischer Studien (DRKS00011787) erfolgte die Untersuchung im Zeitraum von 29.06.2017 bis 24.01.2018. Alle Patienten räumten nach einem ärztlichen Aufklärungsgespräch schriftlich ihr Einverständnis zur Teilnahme an der Studie ein.

3.1.1 Stichprobenberechnung, Gruppeneinteilung und Randomisierung

Die Berechnungen der Stichprobengröße basierten auf Fallserien, die zeigten, dass die ISB mit einer sehr hohen Inzidenz von Phrenicuspareesen einher geht (8, 85). Obwohl veröffentlichte Daten zum Zeitpunkt des Studiendesigns nicht verfügbar waren, führten anatomische Überlegungen zu der Hypothese, dass bei einer NSSB deutlich seltener mit einer Zwerchfellparese zu rechnen ist. Unter der Annahme, dass die Rate der Phrenicuspareesen in der ISB-Gruppe bei 80 % und in der NSSB-Gruppe bei 30 % liegt, wurde pro Studienarm mit jeweils 23 Patienten im Fisher-Test (PASS 11) eine Power von 90 % erreicht. Bei der Primäranalyse unter Verwendung kontinuierlicher Parameter und einer Kovarianzanalyse (ANCOVA) wurde eine noch höhere Aussagekraft erwartet. Unter Berücksichtigung von 2 Ausfällen pro Studienarm sollten insgesamt 50 Patienten randomisiert werden. Die Nervenblockaden wurden durch 6 erfahrene Anästhesisten durchgeführt. Die Patienten sowie das übrige Studienpersonal wurden verblindet, die verwendete Technik war nur dem Anästhesisten bekannt.

Zum Vergleich beider regionalanästhesiologischer Verfahren wurden die Patienten in 2 Gruppen eingeteilt, siehe Tab. 7. Die Randomisierung erfolgte mit Hilfe eines webbasierten Systems, welches speziell für klinische Studien vom Institut für Medizinische Informatik der Medizinischen Universität Graz in Österreich entwickelt wurde (86, 87). Die Randomisierungsliste kann jederzeit eingesehen werden. Der Netzwerkverkehr zwischen Web-Browser und dem Randomizer wird mittels Transport Layer Security (TLS) verschlüsselt.

Tabelle 7: Einteilung der Patientengruppen

Gruppe I	Gruppe II
Interscalenärer Block (ISB)	Nervus suprascapularis Block (NSSB)
10 ml Ropivacain 1%	10 ml Ropivacain 1%

3.1.2 Einschluss- und Ausschlusskriterien

Vor Beginn der Studie wurden folgende Einschlusskriterien definiert:

- arthroskopische Schulteroperationen
- Patienten der ASA-Klassen I bis III (siehe Tab. 8)
- Zustimmung des Patienten
- Operation unter Allgemeinanästhesie
- Übereinstimmung mit den Richtlinien perioperativer Gerinnung (88)
- Messung der Ventilationsverteilung mittels EIT
- Alter ≥ 18 Jahre

Bei Zutreffen folgender Punkte erfolgte der Ausschluss aus der Studie:

- Ablehnung durch den Patienten
- Allergien gegen Lokalanästhetika
- Schwangerschaft
- vorbestehende anatomische Deformitäten (z.B. Z.n. Fraktur der Clavicula)
- Adipositas per magna (BMI ≥ 35 kg/m²)
- Neuropathie (primär: vererbt; sekundär: entzündlich, autoimmun, metabolisch, toxisch)
- offene Operationen der Schulter (osteosynthetische Versorgungen)
- bekannte Zwerchfellerkrankungen
- Patienten mit Herzschrittmacher- oder implantierbarem Cardioverter-Defibrillator (ICD)

Tabelle 8: ASA Physical Status Classification System (89)

ASA-Klasse	Definition	Beispiel
I	gesunder Patient	keine Allgemeinerkrankungen, kein Alkohol- oder Nikotinabusus
II	Patient mit geringfügiger systemischer Erkrankung ohne Einschränkungen	gut eingestellte Allgemeinerkrankungen, Raucher, moderates Übergewicht (BMI \leq 40 kg/m ²)
III	Patient mit schwerer systemischer Erkrankung und ausgeprägten Beeinträchtigungen	schlecht eingestellter Diabetes mellitus, COPD, Adipositas per magna, reduzierte kardiale Pumpfunktion, schwere Niereninsuffizienz
IV	Patient mit schwerer lebensbedrohlicher systemischer Erkrankung	Sepsis, ARDS, Z.n. schwerem Apoplex oder Myokardinfarkt mit stark eingeschränkter Pumpfunktion
V	moribunder Patient, Tod innerhalb von 24 Std. mit und ohne Operation	rupturiertes Aortenaneurysma, massives Trauma, intrakranielle Blutung, Multiorganversagen
VI	hirntoter Patient, Organ- spender	

3.2 Punktionsprozedere und -technik

Die Punktion des Plexus brachialis bzw. des N. suprascapularis wurde standardisiert präoperativ unter sterilen Kautelen in einem anästhesiologischen Vorbereitungsraum durchgeführt.

Anatomische Landmarken dienten zur Orientierung im Bereich der Punktionsstelle, die Punktion erfolgte ausschließlich unter sonographischer Kontrolle. Hierfür wurde ein Ultraschallgerät der Firma BK Ultrasound (Flex Focus 500, linearer Schallkopf 12 bis 18 MHz) verwendet.

Die Patienten waren zum Zeitpunkt der Punktion wach, ansprechbar und kooperativ. Die Sedierung erfolgte intravenös mit Sufentanil (5 bis 10 μ g). Das Monitoring entsprach den Anforderungen der DGAI (Sauerstoffsättigung, EKG, Blutdruckmessung) (90). Nach Identifizierung der Zielstrukturen und Ausschluss von Gefäßstrukturen im unmittelbaren Punktionsbereich durch Anwendung eines Farbdopplers, wurde die Studienmedikation

(10 ml 1 %iges Ropivacain) mittels einer Punktionsnadel (SonoBlock NanoLine 22Gx50 mm) der Firma Pajunk (Geisingen, Deutschland) injiziert.

Im Anschluss an die Nervenblockade erhielten die Patienten eine Allgemeinanästhesie mit Propofol (Einleitungs-dosis 1,5 bis 2 mg/kg Körpergewicht [KG]), Sufentanil (0,2 µg/kg [KG] als Bolus zur Einleitung, ggf. 5 bis 10 µg als Bolus intraoperativ - balancierte Anästhesie), Rocuronium (0,6 mg/kg [KG]) und Desfluran (end-expiratorische Konzentration, 3,5 bis 6 Vol. %). In einigen Fällen wurde auf Grund einer positiven PONV-Anamnese eine totale intravenöse Anästhesie (TIVA) mit Propofol (5 bis 8 mg/kg [KG]/h) durchgeführt. Im Anschluss an die Operation wurden die Patienten im Aufwachraum (AWR) für 2 h überwacht. Bei einer peripheren Sauerstoffsättigung < 90 %, erhielten die Patienten eine zusätzliche Sauerstoffinsufflation via Nasenbrille.

3.2.1 Durchführung der Interscalenären Blockade

Für die ISB wurde der anteriore Zugang in Anlehnung an die Punktionsorientierung nach Meier (47) gewählt. Der Kopf des flach auf dem Rücken liegenden Patienten war zur Gegenseite geneigt. Nach Desinfektion der Punktionsstelle und Abdeckung mit sterilen Tüchern erfolgte eine subkutane Lokalanästhesie. Der Schallkopf wurde in Höhe des Kehlkopfes, am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus in transversaler Ebene aufgesetzt und zunächst die Mm. scalenus anterior et medius aufgesucht. Um sensible umliegende Strukturen ausreichend visualisieren zu können, wurde eine Eindringtiefe zwischen 2,5 bis 4,5 cm eingestellt. Die Spinalnervenwurzeln C5 bis C7 stellten sich in der kurzen Achse zentral im Bereich der Scalenuslücke als hypodense Strukturen dar. Zur Vermeidung einer akzidentiellen Gefäßpunktion, etwa der A. vertebralis, A. cervicalis superficialis, A. dorsalis scapulae oder der A. suprascapularis, wurde ein Gefäßdoppler verwendet (91).

Die Führung der Punktionsnadel erfolgte in der „Out-of-Plane-Technik“, bei der die Kanüle quer zum Schallkopf vorgeschoben wird. Die Nadel kann als runde hyperdense Struktur im Bild identifiziert werden. Die „In-Plane-Technik“, bei der die Punktionskanüle im Längsschnitt in Stichrichtung dargestellt wird, wurde bewusst nicht verwendet. Im Fall der ISB wird die Nadel direkt durch den M. scalenus medius vorgeschoben, eine akzessorische Verletzung des N. dorsalis scapulae und des N. thoracicus longus, welche durch diesen Muskel verlaufen, können deshalb nicht sicher ausgeschlossen werden (91).

Nach eindeutiger sonographischer Darstellung der Spinalnerven der Wurzeln C5 und C6 erfolgte die Punktion durch die Halsfaszie. Die Punktionsnadel wurde möglichst lateral und dorsal

vorgeschoben, um die Diffusionsstrecke des Lokalanästhetikums in Richtung N. phrenicus, welcher anatomisch auf dem M. scalenus anterior verläuft, zu maximieren und somit das Risiko einer konsekutiven Mitblockade zu verringern. Nach negativer Aspirationsprobe und unter wenig Injektionsdruck wurden einmalig 10 ml 1 %iges Ropivacain appliziert.

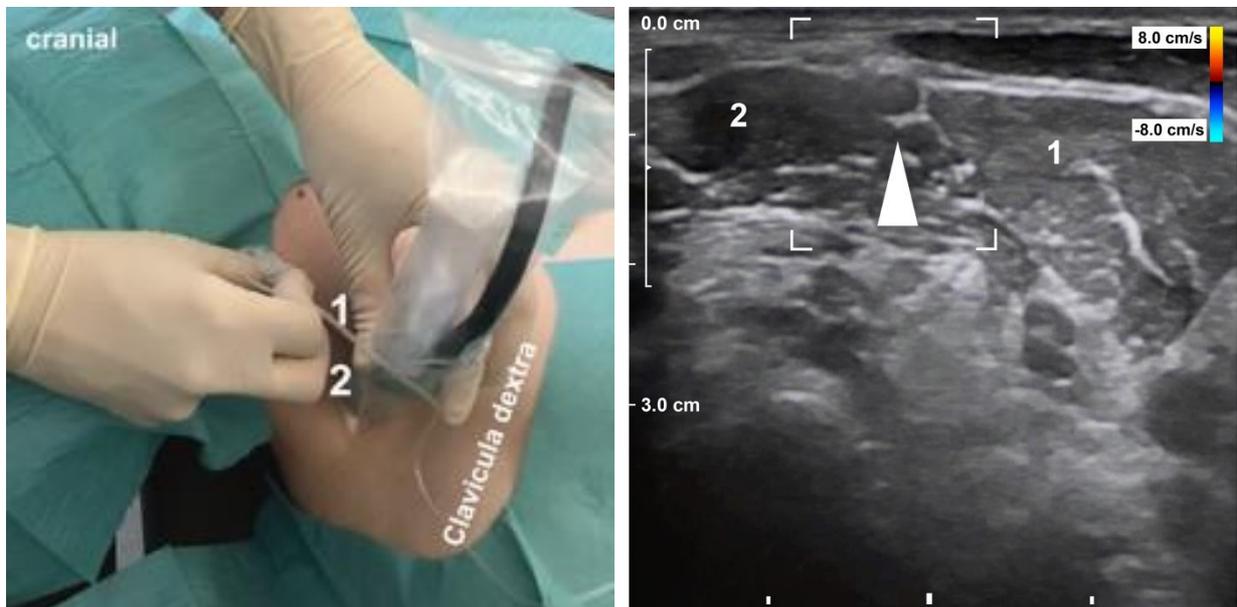


Abbildung 8: Punktionsprozedere ISB während der Studie mit sonographischem Korrelat (links: 1: M. scalenus anterior, 2: M. scalenus medius; rechts: Pfeil: Spinalnerven der Wurzel C5 und C6), eigene Aufnahme.

3.2.2 Durchführung der anterioren N. suprascapularis Blockade

Der anteriore, sonographisch gestützte Zugangsweg orientiert sich an der Publikation von Siegenthaler und Kollegen (65). Als wichtigste Landmarke bei dieser Technik dient der M. omohyoideus. Nach dem Austritt aus dem Plexus brachialis (Höhe C5-C6) verläuft der NSS durch die Fossa supraclavicularis entlang des Venter inferior des M. omohyoideus zur Incisura scapulae. In der Regio supraclavicularis liegt der Nerv sehr oberflächlich und kann somit leicht anästhesiert werden.

Der NSS wurde sonographisch, mit Hilfe einer der folgenden Vorgehensweisen dargestellt:

- Zunächst identifizierte man den Abgang des NSS aus dem Truncus superior des Plexus brachialis. Dafür wurde der Schallkopf in der Regio cervicalis lateralis am Hinterrand des M. sternocleidomastoideus in transversaler Ebene aufgesetzt nach kranial bewegt, um die Nervenwurzel C5 aufzusuchen. Diese befindet sich zwischen dem Tuberculum anterius et posterius des 5. Halswirbels. Danach wurde die Nervenwurzel in dorso-lateraler Richtung nach peripher weiterverfolgt, bis zum Übergang in den Truncus superior. Der Abgang des NSS aus dem Truncus kann in dieser Höhe sonographisch dargestellt werden. Anschließend wurde der Nerv soweit nach peripher verfolgt, bis er den M. omohyoideus unterkreuzte, da sich hier das definierte Punktionsfenster befand.
- Eine zweite Möglichkeit zum Lokalisieren des Nervs besteht in der sonographischen Darstellung des Verlaufs des M. omohyoideus. Hier wurde zunächst der Ansatz des M. omohyoideus am Os hyoideum mit dem Schallkopf aufgesucht und der Venter superior des Muskels bis zum Übergang zum Venter inferior nach kaudal verfolgt, bis der NSS den Muskelbauch unterkreuzte.

Die Herangehensweise zum Auffinden des NSS wurde in jedem Fall individuell gewählt, abhängig davon, mit welcher Technik der Nerv eindeutig dargestellt werden konnte.

Die Blockade wurde unter den gleichen Bedingungen, wie die ISB durchgeführt. Die Punktion erfolgte in der „Out-of-Plane-Technik“, lateral der Schallkopfmitte in der kurzen Achse. Dabei sollte die Punktion so weit entfernt vom Plexus brachialis wie möglich erfolgen, um dessen akzidentelle Mitblockade zu vermeiden. Nach negativer Aspirationsprobe wurden einmalig 10 ml 1 %iges Ropivacain appliziert.

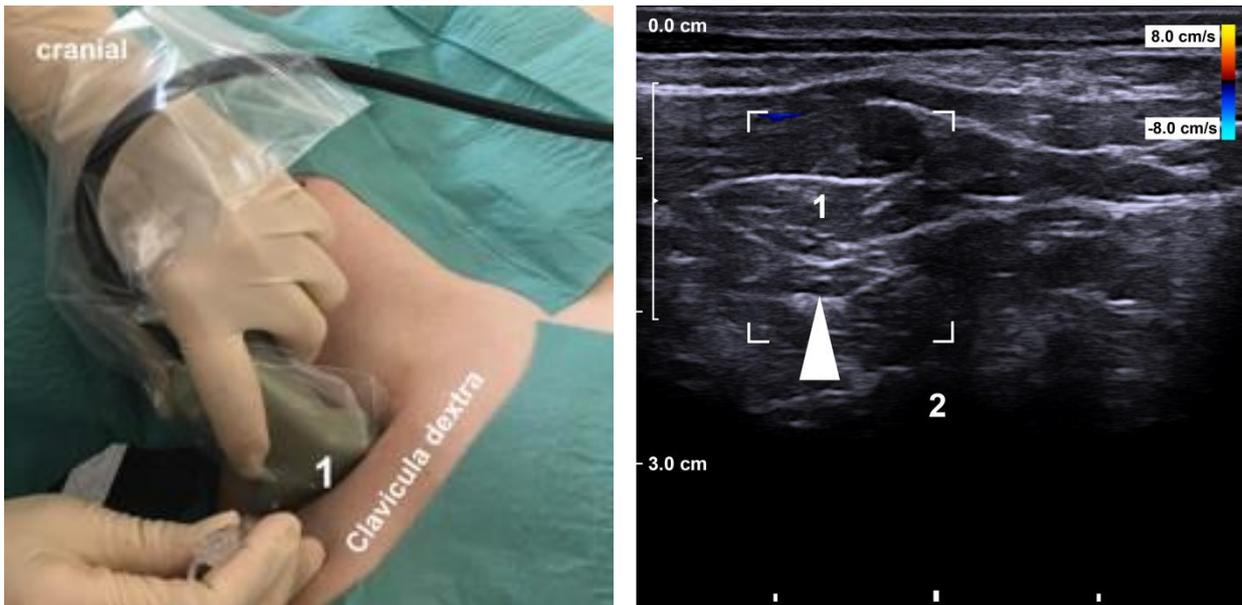


Abbildung 9: Punktionsprozedere NSSB während der Studie mit sonographischem Korrelat (links: 1: M. omohyoideus; rechts: 1: M. omohyoideus, 2: Claviculaschatten, Pfeil: N. suprascapularis), eigene Aufnahme.

Im Falle einer nicht eindeutigen Darstellung des Nervs erfolgte die Punktion mittels Orientierung anhand der definierten muskulären Landmarken. Dasselbe Prozedere wurde ebenfalls vorab für die ISB festgelegt. Unter diesen Umständen sollte die Studienmedikation in die Scalenuslücke zwischen M. scalenus anterior et medius injiziert werden.

3.2.3 Rescue-Medikation, Prozedere bei unzureichender Analgesie sowie Verfahrensweise bei Verdacht auf neurologische Schäden

Zur Beurteilung der aktuellen Schmerzsituation diente die Numerische Rating Skala (NRS) (92, 93). Bei einem angegebenen Schmerz ≤ 3 wurde dem Patienten ein nicht-steroidales Antirheumatikum (NSAR) (Ibuprofen 600 mg) b.B. verabreicht. Bei Schmerzen ≥ 3 erhielt der Patient gewichtsadaptiert bis zu 10 mg Oxycodon s.c. im AWR. Schmerzen ≥ 6 wurden als ein Versagen der Nervenblockade gewertet.

Zur Fortführung der Schmerztherapie nach Entlassung wurden Ibuprofen 600 mg p.o. (b.B. alle 6 h) sowie Tilidin 100 mg p.o. (b.B. alle 12 h) verordnet. Abb. 10 zeigt ein Flussdiagramm zur postoperativen Schmerztherapie.

Bei persistierender neurologischer Beeinträchtigung im Blockadegebiet nach mehr als 24 h nach der Punktion, wurde entsprechend den Leitlinien eine weiterführende Diagnostik (CT, MRT) durchgeführt.

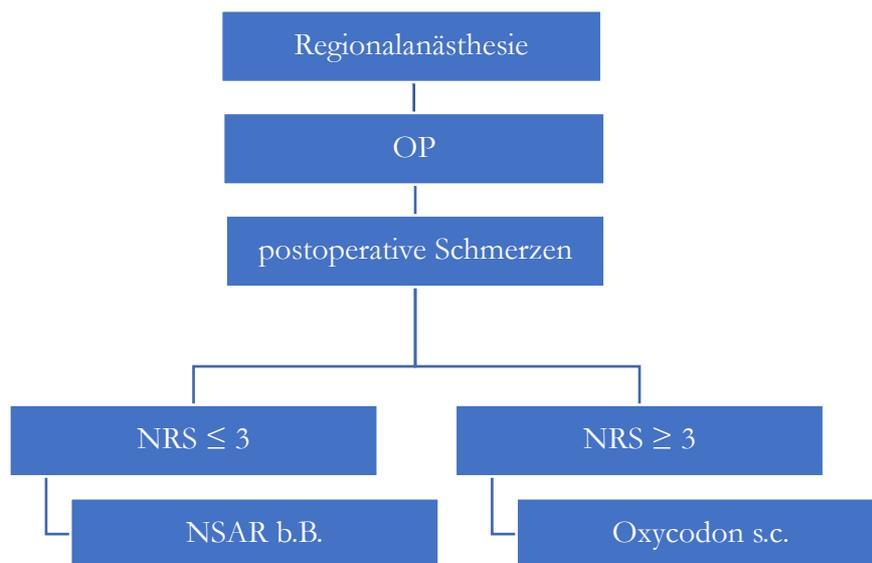


Abbildung 10: Standardisierter Ablauf zur postoperativen Schmerztherapie. Algorithmus bei ambulant durchgeführten Schulterarthroskopien, eigene Darstellung.

3.3 EIT-Messung und sonographischen Darstellung des Zwerchfells

3.3.1 Durchführung der EIT-Messung

Zur Messung der elektrischen Impedanz der Lunge wurde das Gerät a der Firma Swisstom (Landquart, Schweiz) verwendet. Die Messung erfolgte unmittelbar vor der Durchführung der Nervenblockade, nach den ersten 10 Minuten postoperativ im AWR und am ersten postoperativen Tag, parallel zum ersten postoperativen Nachsorgetermin beim behandelnden Orthopäden.

Nach Bestimmung des Brustumfangs des Patienten mit Hilfe eines vorgefertigten Maßbandes und Ermittlung des passenden Brustgurtes, wurde der Gurt mit einem Kontaktspray (Contact Agent, Swisstom) benetzt, um eine ausreichende Leitfähigkeit der Elektroden zu gewährleisten. Nach Anlegen des Elektrodengurtes wurde der Patient auf den Rücken gelagert und aufgefordert, ruhig zu atmen. Im Durchschnitt erfolgte die Aufzeichnung der Daten für 1 bis 2 Minuten, welche anschließend auf einem USB-Stick (SanDisk USB-Stick Cruiser Glide™ 32 GB) gespeichert und in einen separaten Computer, Standort ACQUA Klinik Leipzig, übertragen wurden.

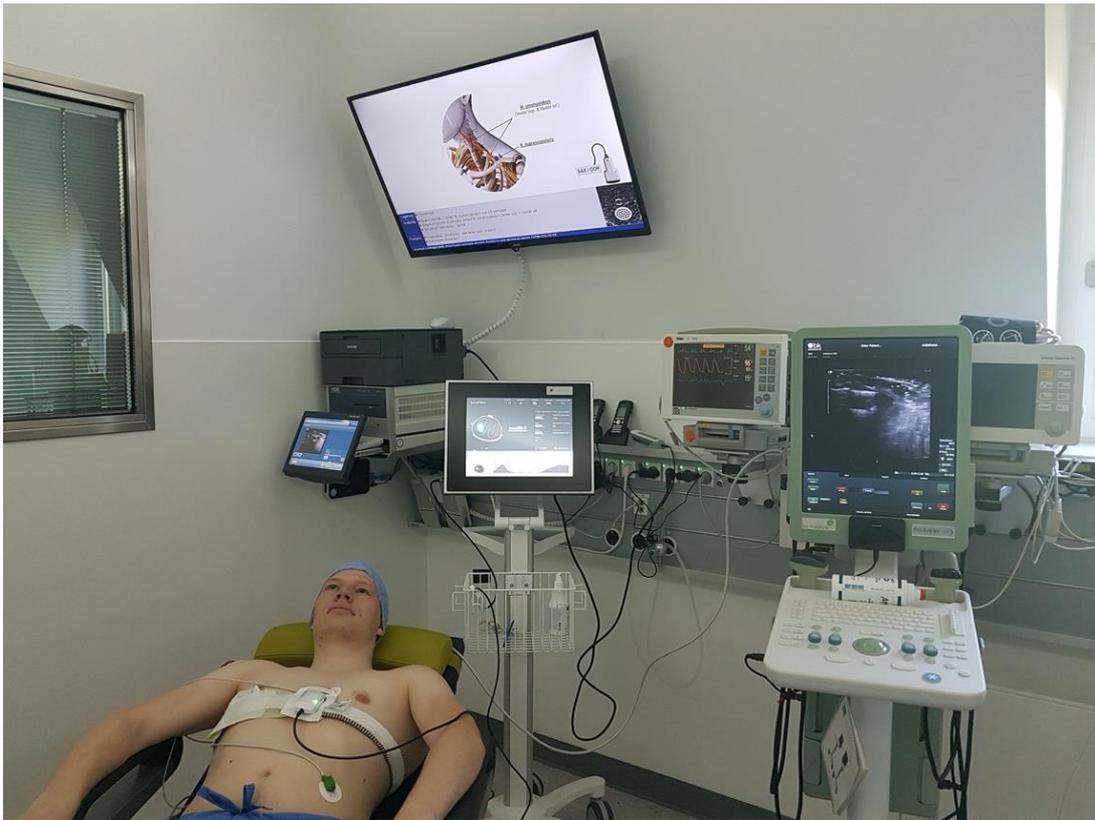


Abbildung 11: Typischer Aufbau zur Untersuchung der Probanden, eigene Aufnahme.

Die Abb. 11 zeigt das Setting zur Erhebung der Baseline-Daten. Neben dem Standard Monitoring sind das verwendete Sonographie- und EIT-Gerät erkennbar. Der Elektrodengürtel, welcher die zirkulär um den Thorax angeordneten Elektroden zur Aufzeichnung der elektrischen Potentiale enthält, wurde auf Höhe des 4. ICR angebracht und die Atemzüge des Patienten wurden in Ruhe eine Minute lang aufgezeichnet.

3.3.2 Sonographie des Zwerchfells

Die sonographische Darstellung des Zwerchfells der zu untersuchenden Körperseite erfolgte präoperativ, postoperativ sowie am ersten postoperativen Tag mit Hilfe eines Abdomenschallkopfes (BK Ultrasound, Focus 500, konvexer Schallkopf 6 bis 2 MHz). Bei der Untersuchung des rechten Zwerchfells diente die Leber als anatomische Orientierung, da diese dem Zwerchfell direkt anliegt. Der Schallkopf wurde unterhalb des Rippenbogens in transversaler Ebene auf Höhe der vorderen Axillarlinie positioniert, siehe Abb. 12.



Abbildung 12: Position des Abdomenschallkopfes zur Messung der rechtsseitigen Zwerchfellbeweglichkeit, eigene Aufnahme.

Zunächst erfolgte die Messung der Ausdehnung der Leber bei tiefer Inspiration im B-Mode (Brightness-Modulation-Mode), um die Organbeweglichkeit zu visualisieren. Die Richtung der Zwerchfellbewegung und die Amplitude wurde im M-Mode (Time-Motion-Mode) bestimmt (94, 95). Während der Inspiration bewegt sich das Zwerchfell nach kaudal und somit auf den Schallkopf zu. Bei einer Parese wird im M-Mode keine oder nur eine minimale Amplitudenänderung sichtbar. Bei der Untersuchung des linken Zwerchfells wurde nach dem gleichen Prozedere verfahren, die Milz diente hier als anatomische Landmarke, der Schallkopf wurde in transversaler Ebene in der hinteren Axillarlinie aufgesetzt. Das Vorliegen einer Zwerchfellparese wurde postuliert, wenn die Amplitudenauslenkung $< 1,9$ cm im M-Mode betrug. In Abb. 13 sind eine normale Zwerchfellbeweglichkeit (links) und eine rechtsseitige Zwerchfellparese nach ISB gegenübergestellt.

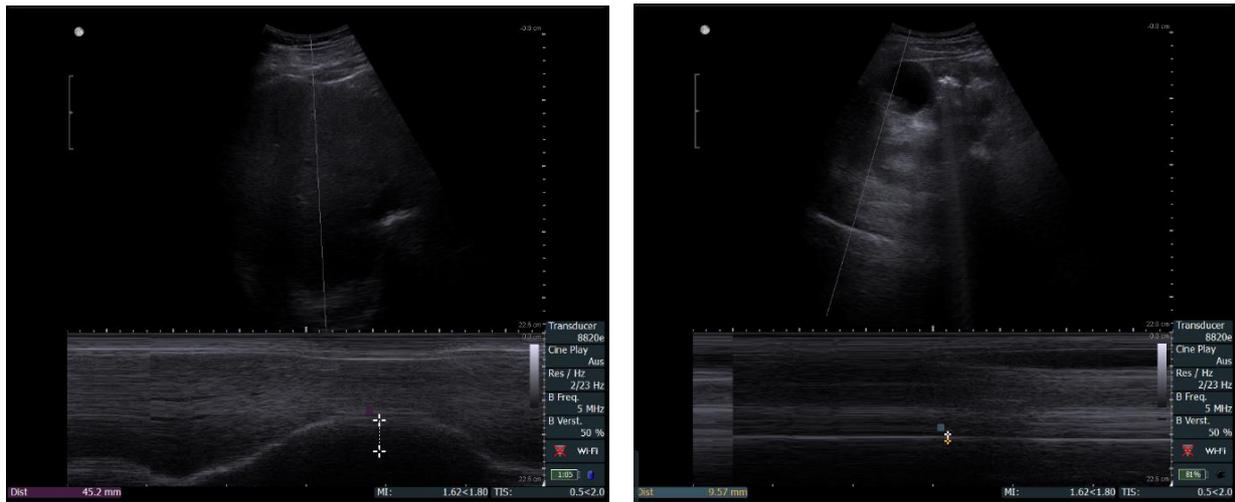


Abbildung 13: Darstellung der rechtsseitigen Zwerchfellbeweglichkeit im M-Mode: rechts normale Amplitudenauslenkung mit 4,5 cm, links Auslenkung < 1 cm und somit Vorliegen einer Zwerchfellparese, eigene Aufnahme.

3.4 Datenerhebung

Mit Hilfe eines Case Report Form (CRF) wurden die Patientendaten unmittelbar am Untersuchungstag papierbasiert dokumentiert und retrospektiv in die Datenbank eines separaten Computers, Standort ACQUA Klinik Leipzig, übertragen und später ausgewertet. Neben den Ein- und Ausschlusskriterien, den demographischen Daten des Patienten sowie den allgemeinen Daten zur Operation, wurden auch der intra- und postoperative Opioid- und Analgetikverbrauch, sämtliche Punktionsdaten sowie eventuelle Nebenwirkungen bzw. Komplikationen erfasst. Das verwendete CRF ist als Anhang (siehe Seite 96 f.) dieser Arbeit beigefügt.

A) Beurteilung der Schmerzintensität

Zur Beurteilung der Schmerzintensität im Bereich der betroffenen Extremität wurde die NRS verwendet. Der Patient sollte den subjektiv empfundenen Schmerz auf einer Skala von 0 bis 10 einordnen (0 = kein Schmerz, 10 = stärkster vorstellbarer Schmerz).

Die Bewertung des Schmerzempfindens erfolgte zu den Zeitpunkten:

- vor Punktion (Baseline)
- unmittelbar postoperativ im AWR
- 10 min postoperativ
- 30 min postoperativ
- 4 h postoperativ bzw. bei Entlassung
- 24 h nach der Operation

B) Beurteilung der motorischen Blockade

Zur Einschätzung der motorischen Blockade wurde vor Punktion (Baseline), 2 h postoperativ und am ersten postoperativen Tag die Handkraft mittels elektronischen Hand-Dynamometers TRAILITE (Firma LiteXpress, Coesfeld, Deutschland) bestimmt.

C) Medikamentenverbrauch

Der intra- und postoperative Opioid-Verbrauch wurde anhand des Anästhesieprotokolls ermittelt. Die intraoperative Gabe eines Antibiotikums sowie die Summe der verabreichten nicht-steroidalen Antirheumatika im AWR wurden dokumentiert.

D) Weitere Parameter

Folgende weitere Parameter wurden am Tag nach der Operation erhoben:

- Blockaderegredienz (Datum und Uhrzeit)
- Summe des Analgetika-Verbrauchs zu Hause (Tilidin [mg] u./o. Ibuprofen [mg])
- Frage nach den stärksten Schmerzen in den letzten 24 h (NRS 0 bis 10)
- Frage nach den geringsten Schmerzen in den letzten 24 h (NRS 0 bis 10)
- Neurologische Symptomatik

Im Rahmen der postoperativen Nachkontrolle wurde außerdem eine Evaluierung der Patientenzufriedenheit durchgeführt. Die Zufriedenheit mit dem Schmerztherapieverfahren wurde mit Hilfe einer 4-stufigen „Likert Skala“ erhoben (1 = vollkommen zufrieden, 2 = zufrieden, 3 = unzufrieden, 4 = vollkommen unzufrieden). Auch die erneute Entscheidung für das verwendete regionalanästhesiologische Verfahren sollte durch den Patienten bewertet werden. Dafür wurde ebenfalls eine Rating Skala mit 4 Stufen verwendet (1 = ja, sicher, 2 = wahrscheinlich, 3 = vielleicht, 4 = keinesfalls).

3.5 Studienendpunkte

Primärer Endpunkt

Als primärer Studienendpunkt wurde die Messung der prozentualen Verteilung der Lungenventilation mittels EIT nach ISB bzw. NSSB festgelegt. Zur Verifizierung der erhobenen Ergebnisse wurde parallel die sonographisch bestimmte Zwerchfellbeweglichkeit herangezogen. Eine Parese wurde hierbei als eine Amplitudenauslenkung $< 1,9$ cm im M-Mode definiert.

Sekundäre Endpunkte

Als sekundäre Studienendpunkte wurden festgelegt:

- Opioid-Verbrauch im AWR
- NSAR-Verbrauch in der ersten 24 h nach Operation
- Beurteilung der Effektivität (NRS) und Qualität (motorische und/oder sensible Blockade) der NSSB vs. ISB
- Handkraftmessung im Vergleich der Studiengruppen mittels Handkraftdynamometer
- Patientenzufriedenheit und die Bereitschaft zur erneuten Entscheidung für das Regionalanästhesieverfahren

3.6 Statistik

Die statistische Analyse der Daten wurde mit Hilfe der Statistiksoftware „R“ (Version 3.4.2, (96)) und der Software „SPSS“ (Version 24.0, SPSS GmbH, München, Deutschland) durchgeführt. Die verwendeten Daten werden als Mittelwert und Standardabweichung angegeben.

Eine einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA) mit Messwiederholungen wurde verwendet, wenn eine Variable zu mehr als 2 Zeitpunkten gemessen wurde, um zu testen, ob sich die Mittelwerte der Variable zu den unterschiedlichen Messzeitpunkten unterscheiden.

Auch lineare gemischte Modelle („mixed models“) wurden zur Testung der Abhängigkeit von Zeitreihen verwendet, wobei die Variable „Patient“ hier als zufälliger Parameter gewertet wurde.

Als Grundlage für die durchgeführten Post-hoc Tests wurde das Paket „Multcomp“ der Software „R“ verwendet, wobei P-Werte mit der „Westfall- Methode“ (97) angepasst wurden. Bedingt durch den „Zentralen Grenzwertsatz“ können die verwendeten Methoden trotz bimodaler Verteilungen genutzt werden. Daraus resultieren große Werte bei den Standardabweichungen. Auf einen formalen Test der „Baseline-Werte“ zwischen den Gruppen an verschiedenen Zeitpunkten wurde verzichtet, da die Nullhypothese auf Grund der Randomisierung gilt. Der „Baseline-Wert“ wurde bei linearen Modellen als Kovariate berücksichtigt. Bei den Analysen der „Schmerz-Scores“ wurden die Merkmale „Geschlecht“ und „Reparatur der Rotatorenmanschette“ (ja/nein) als Kovariate mit einbezogen, da die Rotatorenmanschetten-Rekonstruktion schmerzhafter als andere arthroskopische Schulteroperationen ist (98). Die „Area under the curve“ zur Beurteilung der Testgüte wurde durch Verwendung einer linearen Interpolation zwischen den Zeitpunkten der erhobenen „Schmerz-Scores“ ermittelt. Bei Kontingenztafeln erfolgte die Auswertung via Chi-Quadrat-Test oder Fisher-Test, wenn indiziert. Kontinuierliche Daten mit ungleichen Varianzen wurden mit einem einfachen t-Test (Welch-Methode) verglichen. P-Werte $< 0,05$ wurden als statistisch signifikant erachtet.

4. Ergebnisse

4.1 Demographische Daten

Für die Studie wurden im Zeitraum Juni 2017 bis Januar 2018 insgesamt 65 Patienten ausgewählt, die für eine ambulante Schulterarthroskopie geplant waren. Die Patienten wurden ca. 4 h nach dem Eingriff nach Hause entlassen. 17 Patienten blieben auf Grund von weiterer Entfernung zum Wohnort (≥ 2 h Fahrtzeit) für eine Nacht in stationärer Betreuung (3).

Für 55 dieser Patienten erfolgte die Randomisierung und Zuteilung in die Studiengruppe ISB oder NSSB. 10 Patienten konnten aus folgenden Gründen nicht für die Studie randomisiert werden:

- Ablehnung der Teilnahme an der Studie durch den Patienten (n = 4)
- Ablehnung einer peripheren Nervenblockade durch den Patienten (n = 3)
- BMI ≥ 35 [kg/m²] (n = 2)
- Z.n. nach Claviculafraktur auf der zu operierenden Seite (n = 1)

In die statistische Analyse der Ergebnisse flossen die Daten von 48 Patienten ein. 1 Patient erhielt wegen technischen Problemen mit dem Ultraschallgerät keine Blockade, die Ergebnisse der EIT-Daten konnten bei 6 Patienten auf Grund von mangelndem Kontakt der Elektroden bzw. schlechter Qualität der Messdaten nicht ausgewertet werden. Das Flussdiagramm in Abb. 14 zeigt den Ablauf der Studie.

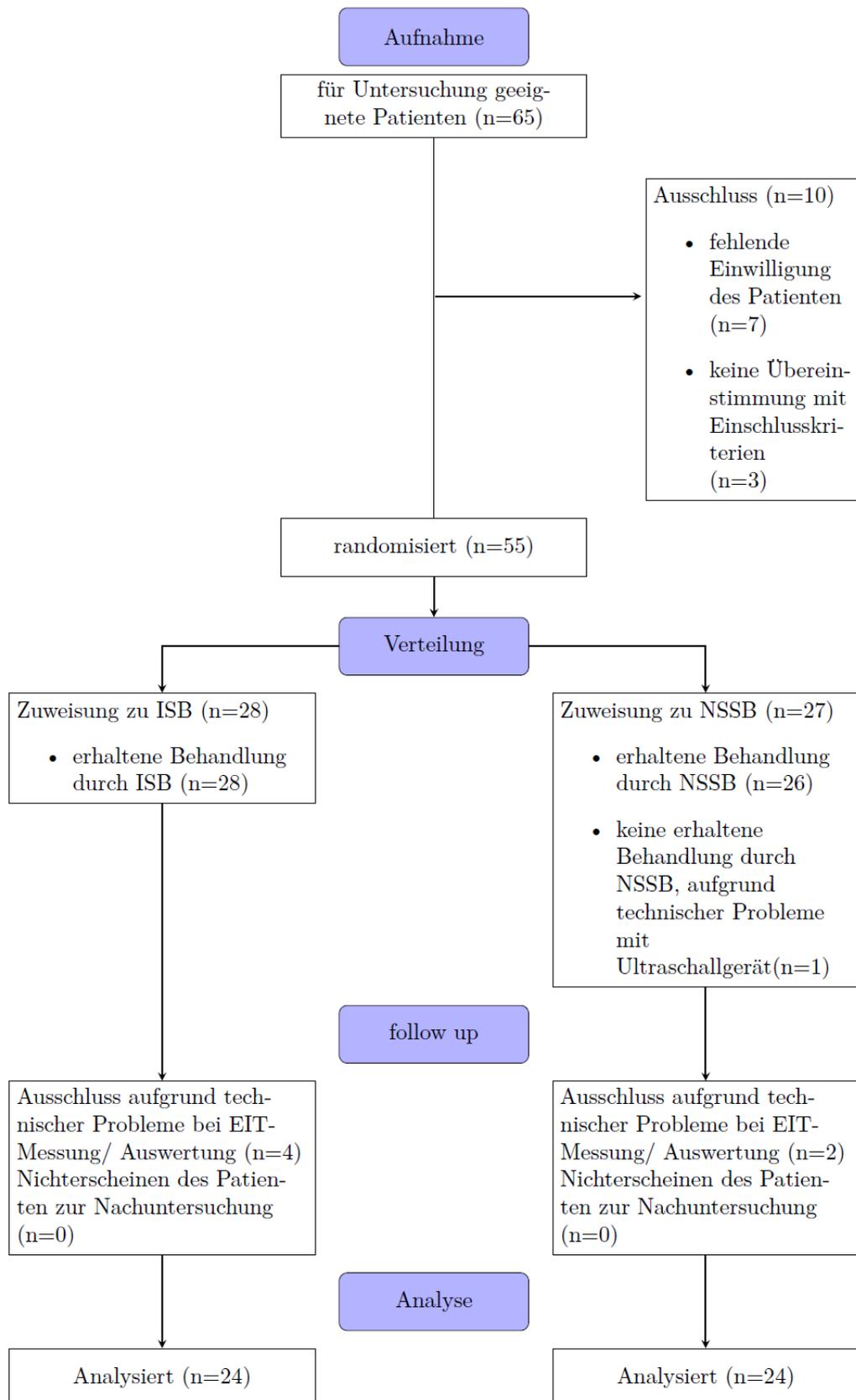


Abbildung 14: Flussdiagramm zum Ablauf der Studie.

In Tab. 9 sind die demographischen Daten beider Studiengruppen gegenübergestellt. Insgesamt wurden 22 weibliche (46 %) und 26 männliche (54 %) Patienten untersucht. Bezüglich Alter, BMI sowie Verteilung der ASA-Klassen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Tabelle 9: Übersicht demographische Daten (Werte als Mittelwerte \pm Standardabweichung oder in %)

Demographische Daten	ISB (n = 24)	NSSB (n = 24)
Patienten (weiblich)	12 (50 %)	10 (42 %)
Patienten (männlich)	12 (50 %)	14 (58 %)
Größe in [cm]	174,0 \pm 9,9	173,4 \pm 10,5
Gewicht [kg]	79 \pm 12	78 \pm 10
Alter [a]	52,5 \pm 11,1	50,1 \pm 12,1
BMI [kg/m ²]	26,0 \pm 2,9	25,8 \pm 3,0
ASA-Klassen		
I	9 (38 %)	10 (42 %)
II	15 (62 %)	13 (54 %)
III	0 (0 %)	1 (4 %)
Chronische Schmerzpatienten	3 (12 %)	1 (4 %)

4.2 OP-Indikationen und Nebendiagnosen

4.2.1 OP-Indikationen

Die Diagnosen, die zu einer ambulanten Schulterarthroskopie führten, sind in Tab. 10 aufgeführt. Die Indikationsdiagnosen wurden entsprechend der Internationalen statistischen Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme (ICD-10: International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems) kodiert.

Tabelle 10: Indikationsdiagnosen für die Schulterarthroskopie mit ICD 10 Code (n = Anzahl der Patienten, % = Anteil in Prozent)

Indikationsdiagnosen	ISB (n = 24)	NSSB (n = 24)
M 75.4 Impingementsyndrom	9 (38 %)	3 (13 %)
M 75.3 Kalkschulter	6 (25 %)	3 (13 %)
M 75.1 Rotatorenmanschettenruptur	4 (17 %)	8 (33 %)
M 75.0 frozen shoulder	2 (8 %)	5 (21 %)
M 75.9 Schulterläsion n.n.b.	2 (8 %)	0 (0 %)
M 25.31 weitere Schulterinstabilitäten	1 (4 %)	5 (21 %)

4.2.2 Komorbiditäten

Für jeden Patienten wurden zusätzlich bis zu 3 Begleiterkrankungen entsprechend ihrer klinischen Relevanz erfasst. Zur übersichtlicheren Darstellung wurden die Komorbiditäten in 5 Gruppen zusammengefasst (stark vereinfacht, in Anlehnung an die ICD-10 (99)).

Dabei handelte es sich um folgende Komorbiditätsgruppen:

- kardiovaskuläre
- respiratorische
- metabolische/endokrinologische
- neurologisch/psychiatrische und
- gastrointestinale Erkrankungen

Folgende Erkrankungen wurden u.a. innerhalb dieser Gruppen erfasst:

- **kardiovaskulär:** koronare Herzkrankheit (KHK), Z.n. Myokardinfarkt, periphere arterielle Verschlusskrankheit (pAVK), arterielle Hypertonie, Herzrhythmusstörungen, Herzinsuffizienz, Herzklappenvitien
- **respiratorisch:** chronisch obstruktive Lungenerkrankung (COPD), Asthma bronchiale, Lungenfibrose
- **metabolisch/endokrinologisch:** Diabetes mellitus, Schilddrüsenfunktionsstörungen, Hyperlipoproteinämie, Hyperurikämie, Krankheiten sonstiger endokriner Drüsen, Nephropathien
- **neurologisch/psychiatrisch:** Depression, Angststörung, Suchterkrankung, Z.n. Apoplex, Epilepsie, neurodegenerative Erkrankungen, psychotische Erkrankungen
- **gastrointestinal:** Gastroösophageale Refluxkrankheit, chronisch entzündliche Darmerkrankungen, Leberfunktionsstörungen, Z.n. gastrointestinaler Tumorerkrankung

Zur Prophylaxe möglicher allergischer Reaktionen durch die verwendeten Medikamente (Lokalanästhetika, Narkotika und Antibiotika) wurden bekannte Allergien und Arzneimittelunverträglichkeiten im Vorfeld ebenfalls erfasst. Dabei wurde zwischen allgemeinen allergischen Dispositionen (Pflaster-, Pollen-, Lebensmittel- und Tierhaarallergien) sowie Allergien gegenüber Medikamenten unterschieden. Tab. 11 zeigt die Verteilung der erhobenen Komorbiditäten innerhalb der Studiengruppen. Signifikante Unterschiede beider Gruppen waren nicht zu verzeichnen.

Tabelle 11: Komorbiditäten (n = Anzahl der Patienten, % = Anteil in Prozent)

Komorbiditäten	ISB (n = 24)	NSSB (n = 24)
kardiovaskulär	8 (29 %)	7 (24 %)
metabolisch/endokrinologisch	6 (21 %)	7 (24 %)
respiratorisch	6 (21 %)	5 (17 %)
neurologisch/psychiatrisch	1 (4 %)	3 (10 %)
gastrointestinal	3 (11 %)	4 (14 %)
Allergie (allgemeine Disposition)	2 (8 %)	6 (25 %)
Allergie (Medikamenten bedingte Disposition)	2 (8 %)	0 (0 %)

4.3 OP-Daten, Anästhesieverfahren und Punktionsdaten

4.3.1 OP-Daten

Insgesamt 7 (15 %) der 48 untersuchten Patienten, 4 (17 %) aus der Gruppe der ISB und 3 (12 %) aus der Gruppe der NSSB gaben an, bereits eine Voroperation im Bereich der Schulter sowie in diesem Zusammenhang eine periphere Nervenblockade erhalten zu haben. Die durchgeführten OP-Prozeduren wurden mit dem zugehörigen Operationen- und Prozedurenschlüssel (OPS-Code) erfasst und dokumentiert (100). In Tab. 12 sind die chirurgischen Eingriffe sowie die durchschnittliche Operationszeit in [min] dargestellt.

Bezüglich der Schnitt-Naht-Zeit (SNZ) zeigte sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen.

Tabelle 12: OP- Daten mit OPS Code (Werte als Mittelwerte \pm Standardabweichung oder in %)

Operativer Eingriff	ISB (n = 24)	NSSB (n = 24)
5-810.2 Arthrolyse	2 (8 %)	5 (21 %)
5-810.5 Entfernung periartikulärer Verkalkungen	6 (25 %)	3 (13 %)
5-814.2 Bankert-Läsion-Refixation	3 (12 %)	5 (21 %)
5-814.3 Erweiterung des subacromialen Raumes	9 (37 %)	3 (13 %)
5-814.5 Rotatorenmanschetten- Rekonstruktion mit Anker	4 (1 %)	8 (33 %)
SNZ [min]	94 \pm 16	96 \pm 16

4.3.2 Anästhesieverfahren und intraoperativer Medikamentenverbrauch

Mit Ausnahme von 2 Patienten wurde bei allen Probanden eine balancierte Anästhesie durchgeführt. Jeweils ein Patient in jeder Gruppe erhielt aufgrund einer positiven PONV-Anamnese eine TIVA. Das durchschnittliche Tidalvolumen betrug 6,8 ml pro kg des Standardkörpergewichts, der gewählte positive endexpiratorische Druck (PEEP) lag zwischen 5 (n = 40) und 6 (n = 8) cmH₂O. Bezüglich des Opioid-Verbrauches während der Operation zeigten sich keine signifikanten Unterschiede (p = 0,433). Bei postulierter SNZ über 120 Minuten sowie geplantem rekonstruktiven OP-Verfahren erhielten nach Anordnung durch den Operateur in der Gruppe der ISB 71 % (n = 17) der Patienten sowie 58 % (n = 14) der Probanden in der Gruppe der NSSB eine perioperative Antibiotikaphylaxe standardisiert mit Cefuroxim 1500 mg. 2 Patienten (8%) aus der Gruppe der ISB erhielten aufgrund einer bekannten Penicillin-Allergie alternativ Clindamycin 600 mg als Kurzinfusion. Bezüglich der verabreichten Antibiotikaphylaxe zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

Tabelle 13: Anästhesieverfahren und intraoperative Medikation (Werte als Mittelwerte ± Standardabweichung oder in %)

Anästhesieverfahren und intraoperative Medikation	ISB (n = 24)	NSSB (n = 24)
balancierte Anästhesie	23 (96 %)	23 (96 %)
TIVA	1 (4 %)	1 (4 %)
intraoperativer Verbrauch Sufentanil [µg]	17 ± 4	18 ± 5
Antibiotikaphylaxe	19 (79 %)	14 (58 %)

4.3.3 Punktionsdaten

Die Analgosedierung vor der Punktion erfolgte mit 5 bis 10 µg Sufentanil i.v.. Zwischen beiden Gruppen unterschied sich die verwendete Dosis an Sufentanil statistisch nicht. Ein Patient aus der Gruppe der ISB wünschte keine Analgosedierung vor der Blockade. Die Dauer der Punktion war definiert als durchschnittlicher Zeitaufwand für eine periphere Nervenblockade von Beginn der sterilen Abdeckung des Punktionsgebietes, dem folgenden Aufsuchen des Nervs mit Hilfe der Sonographie bis hin zur Injektion des Lokalanästhetikums. Im Mittel lag die Punktionsdauer in der Gruppe der ISB bei 9,4 min (± 1,3). Der zeitliche Aufwand für die Durchführung einer Blockade des NSS lag bei 10,4 min (± 1,3) und war somit signifikant größer (p = 0,012). Hinsichtlich der Anzahl der Punktionsversuche zeigten sich keine statistischen Unterschiede. Bei 8 % der Patienten

(n= 2) in der Gruppe der NSSB war eine eindeutige Identifizierung des NSS mittels Sonographie nicht möglich. In diesen Fällen wurde die Punktion anhand von muskulären Landmarken durchgeführt. In der Gruppe der ISB konnten bei allen Patienten die Zielstrukturen des Plexus brachialis (C5 bis C7) eindeutig sonographisch dargestellt werden. Keiner der 48 Patienten gab an, während der Applikation des Lokalanästhetikums einen Injektionsschmerz verspürt zu haben. Alle erfassten Punktionsdaten sind in Tab. 14 aufgeführt.

Tabelle 14: Punktionsdaten (Werte als Mittelwerte \pm Standardabweichung oder in %)

	ISB (n = 24)	NSSB (n = 24)
Analgosedierung mit Sufentanil		
keine	1 (4 %)	0 (0 %)
5 [μ g]	21 (88 %)	23 (96 %)
10 [μ g]	2 (8 %)	1 (4 %)
Punktionstiefe [cm]	2,3 \pm 0,5	2,1 \pm 0,3
Punktionsdauer [min]	9,4 \pm 1,3	10,4 \pm 1,3
Punktionsversuche		
1 [n]	22 (92 %)	22 (92 %)
2 [n]	2 (8 %)	2 (8 %)
Schmerzfremde Injektion des LA	24 (100 %)	24 (100 %)
eindeutige sonographische Darstellung des Nervs	24 (100 %)	22 (92 %)

Im Anschluss an die OP erfolgte eine Überwachung der Patienten im AWR. Die durchschnittliche Verweildauer im AWR betrug 111 min (\pm 15) vs. 114 min (\pm 15) (ISB vs. NSSB, (95 % KI = -7 bis 11 min, $p = 0,61$)) und war somit nicht signifikant unterschiedlich. Entsprechend des klinikinternen Standards zum postoperativen Monitoring wurden die Werte der im AWR pulsoxymetrisch gemessenen peripheren Sauerstoffsättigung (= SpO₂) protokolliert. Die maximalen Werte für die SpO₂ lagen (NSSB vs. ISB) bei 97,2 \pm 1,2 % vs. 97,9 \pm 1,3 %, (95 % KI = -0,02 bis 1,4 %, $p = 0,058$) und die minimalen Werte (NSSB vs. ISB) bei 96,1 \pm 1,2 % vs. 96,4 \pm 1,2 % (95 % KI = -0,3 bis 1,0 %, $p = 0,34$). Somit ergab sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der postoperativ gemessenen SpO₂ im AWR. Keiner der 48 Patienten benötigte eine zusätzliche Sauerstoffinsufflation, da alle Messwerte über 90% SpO₂ lagen.

4.4 EIT-Messung und Zwerchfellsonographie

Präoperativ wurde zunächst die Ventilationsverteilung beider Lungen ermittelt, um einen Ausgangswert (Baseline) zu bestimmen. Die operierte Seite wurde mit annähernd der Hälfte des totalen Lungenvolumens belüftet (NSSB 51 % \pm 10 %, ISB 51 % \pm 15 %). Die Ventilation der untersuchten Lungenhälfte reduzierte sich nach der Blockade deutlich (NSSB auf 34 % vs. ISB 10 %) mit einem signifikanten Unterschied von 23 % (95 % KI = 12 bis 34 %, $p < 0,001$; Abb. 15). In der Gruppe der ISB war diese Ventilationseinschränkung somit stärker zu beobachten. Die post-hoc Analyse ergab eine Trennschärfe von mehr als 99 % und bestätigt somit die beobachteten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Am ersten postoperativen Tag kam es erwartungsgemäß zu einer Zunahme der Lungenventilation, die Ausgangswerte wurden aber nicht in jedem Fall vollständig erreicht. Bei einem Patienten in der Gruppe der ISB blieb die Belüftung der betroffenen Seite einen Tag nach der Blockade weiterhin bei 1 %.

In Abb. 16 wird ein Auswertungsbild der Analysesoftware Ibex dargestellt. In der ersten Grafik ist die Ventilationsverteilung beider Lungen gleich, in der folgenden ist keine sichtbare Ventilation im Bereich der rechten Lungenhälfte zu verzeichnen (Z.n. ISB rechts). Am ersten postoperativen Tag wurde die Ausgangsventilation, wie in der Grafik deutlich zu erkennen, wieder erreicht. Abb. 17 zeigt die prozentuale Verteilung der Tidalvolumina beider Lungenhälften vor (a) und nach (b) einer ISB. Vor der Blockade war die Lungenventilation beider Hälften ausgeglichen, nach der Blockade wurde die rechte Lunge nicht mehr ventiliert.

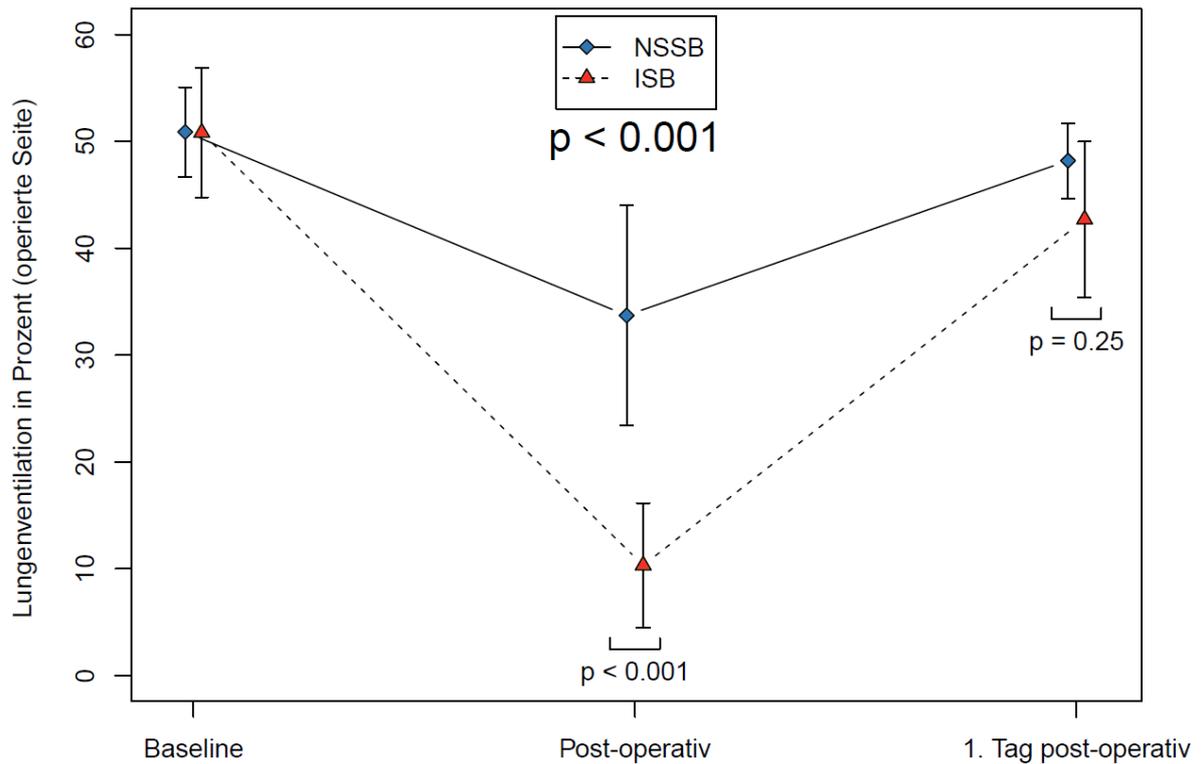


Abbildung 15: Vergleich der beiden Blockadetechniken NSSB (N. suprascapularis Blockade, blaue Rauten) und ISB (Interscalenäre Blockade, rote Dreiecke) hinsichtlich der Lungenventilation der operierten Seite in Prozent zu den erhobenen Messzeitpunkten. Die Messung der Lungenventilation erfolgte mittels EIT. Darstellung der Daten als Mittelwerte \pm Standardabweichung. P-Werte wie angegeben.

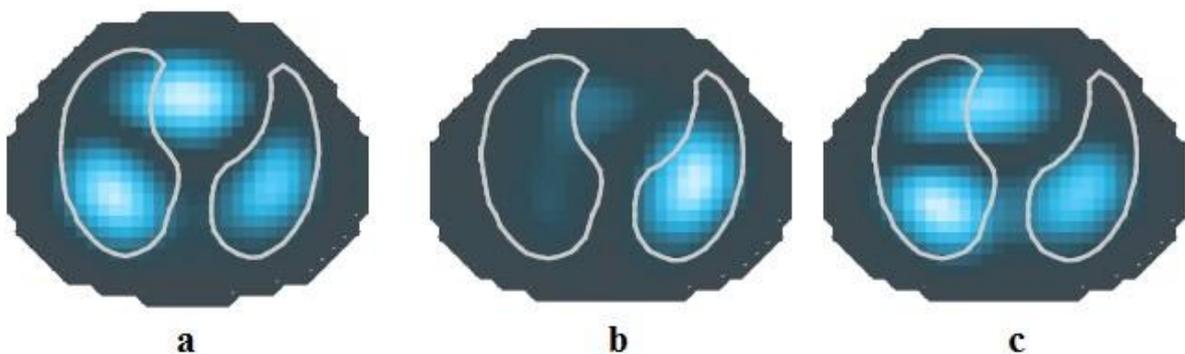


Abbildung 16: Beispielhafte Darstellung der Lungenventilation eines Patienten in der EIT:
a.) vor Blockade b.) nach ISB c.) erster postoperativer Tag, eigene Aufnahme.

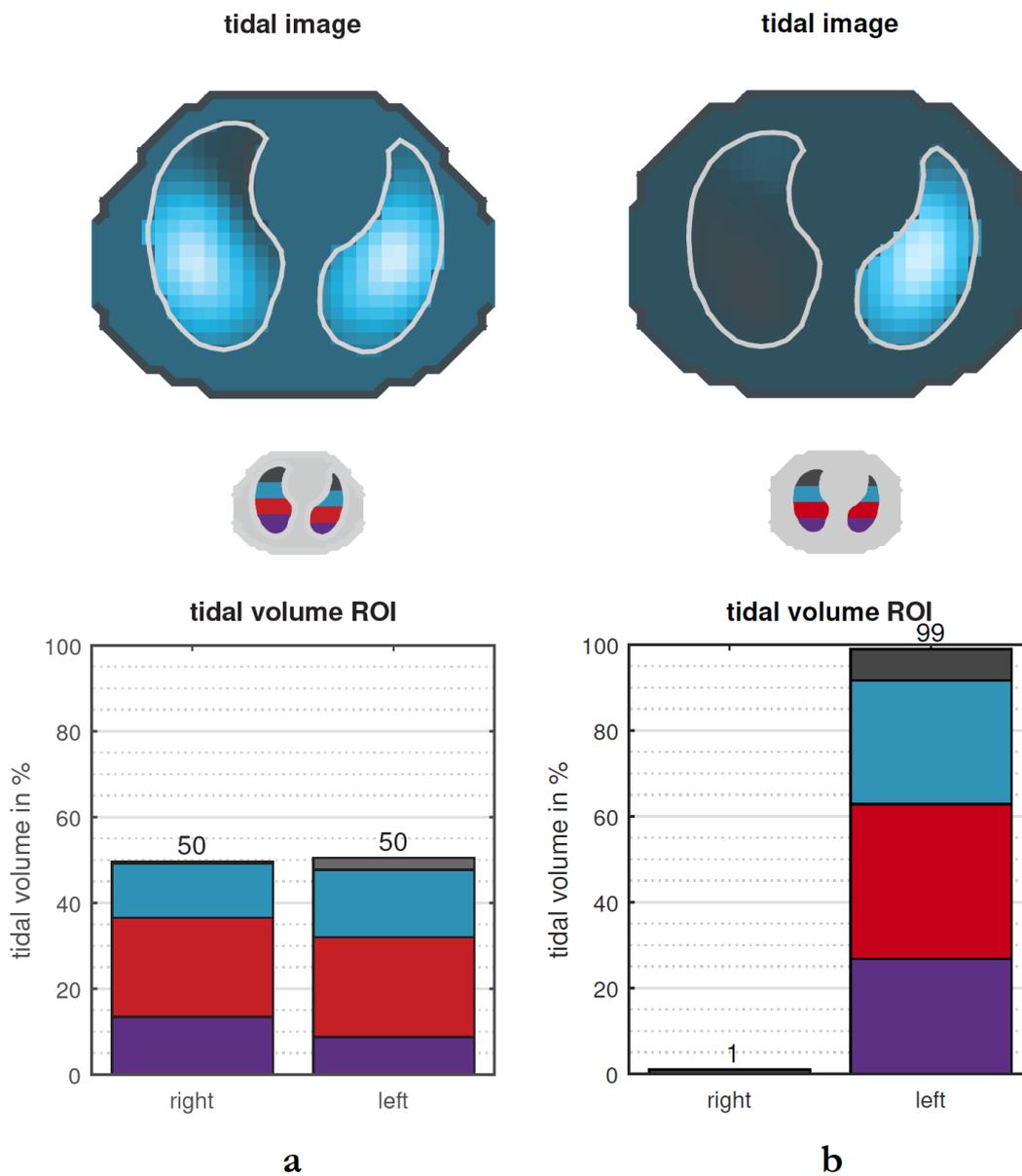


Abbildung 17: Beispielhafte Darstellung der Tidalvolumina in % im Seitenvergleich vor (a) und nach (b) ISB rechts in der EIT. ROI = Region of interest, die farbigen Areale kennzeichnen die Verteilung von ventral (oben) nach dorsal, eigene Aufnahme.

Zur Einschätzung der Zwerchfellbeweglichkeit wurde jeweils vor erfolgter Blockade die Amplitude der Zwerchfellexkursion in M-Mode bestimmt. Eine Zwerchfellparese wurde vorab als eine Auslenkung $< 1,9$ cm definiert (94, 101). Die durchschnittliche präoperative Zwerchfellbewegung lag bei $3,26 \pm 0,71$ cm vs. $3,40 \pm 0,43$ cm (NSSB vs. ISB). Die Beweglichkeit verringerte sich um $0,49$ cm (95 % KI = $0,08$ bis $0,9$ cm, $p = 0,021$) in der Gruppe der NSSB und in der Gruppe der ISB um $1,9$ cm (95 % KI = $2,37$ bis $2,44$ cm, $p < 0,001$), siehe Abb. 18 und Tab. 15.

Bei 5 Patienten der Gruppe NSSB (21 %) und 21 Patienten der Gruppe ISB (88 %) lag die Zwerchfellexkursion unter 1,9 cm und wurde somit als akzessorische Phrenicusparese gewertet. Dieses Ergebnis entsprach einer Differenz von 67 % (95% KI = 46 bis 88 %, $p < 0,001$) zwischen beiden Gruppen. Somit wurden in der Gruppe der ISB signifikant häufiger Zwerchfellparesen sonographisch nachgewiesen.

Bei dem Patienten, bei dem am ersten postoperativen Tag in der EIT-Messung eine bleibende Ventilationseinschränkung zu verzeichnen war, zeigte sich zum gleichen Untersuchungszeitpunkt sonographisch eine normale Zwerchfellaktivität (Amplitude von 4,6 cm).

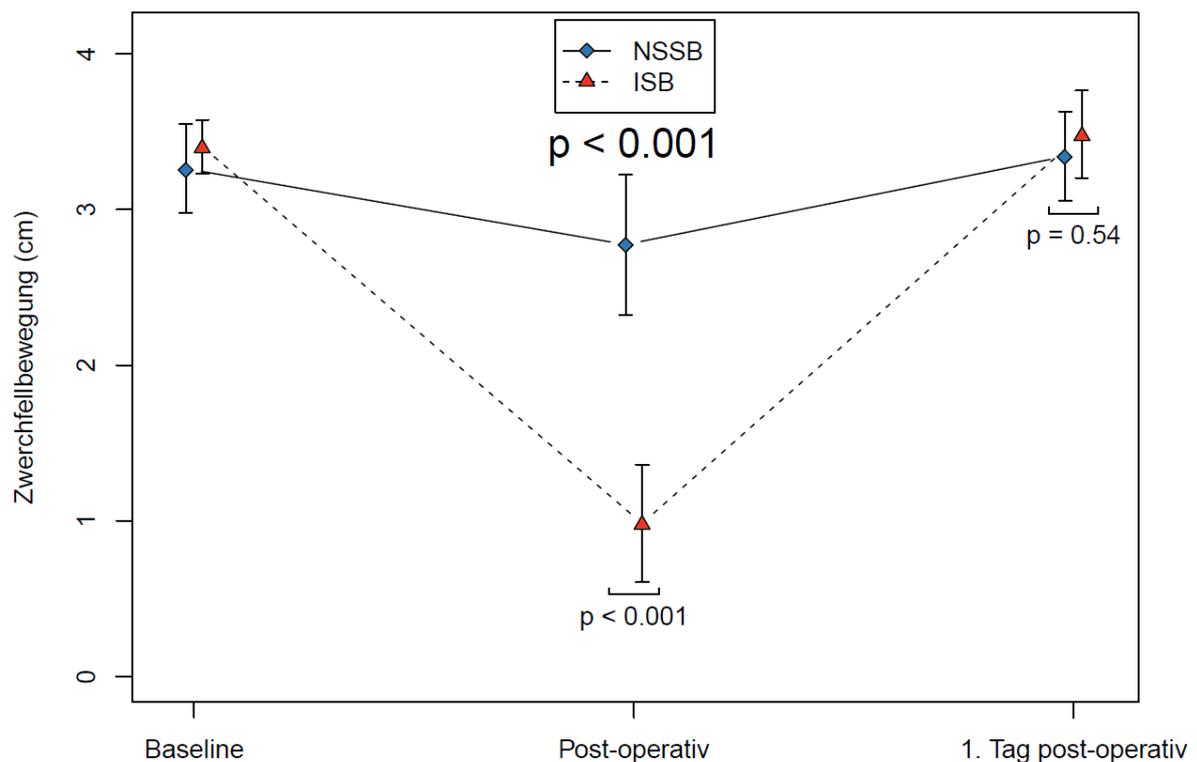


Abbildung 18: Vergleich der beiden Blockadetechniken NSSB (N. suprascapularis Blockade, blaue Rauten) und ISB (Interscalenäre Blockade, rote Dreiecke) hinsichtlich Zwerchfellbewegung der operierten Seite in cm zu den erhobenen Messzeitpunkten. Die Messung der Zwerchfellbewegung erfolgte mittels Sonographie. Darstellung der Daten als Mittelwerte \pm Standardabweichung. P-Werte wie angegeben.

Tabelle 15: Messwerte der Zwerchfellsonographie (Werte als Mittelwerte \pm Standardabweichung in [cm])

	ISB (n = 24)	NSSB (n = 24)
B-Mode Baseline	10,8 \pm 2,1	11,6 \pm 1,8
B-Mode 10 min postoperativ	14,2 \pm 3,3	11,4 \pm 2,1
B-Mode 1. postoperativer Tag	11,1 \pm 2,8	11,4 \pm 2,1
M-Mode Baseline	3,4 \pm 0,4	3,3 \pm 0,7
M-Mode 10 min postoperativ	1,0 \pm 0,9	2,8 \pm 1,1
M-Mode 1. postoperativer Tag	3,8 \pm 1,6	3,3 \pm 0,7

4.5 Evaluation der Schmerzintensität und postoperativer Schmerzmittelverbrauch

4.5.1 Schmerzintensität

Die vor der Punktion erhobenen durchschnittlichen Werte für die Schmerzintensität lagen bei 3,5 (\pm 2,5) in der Gruppe der ISB sowie bei 2,9 (\pm 2,3) in der Gruppe der NSSB. Der Ausgangswert der NRS war somit zwischen den Gruppen gleich. Postoperativ fielen die Schmerz-Scores auf Werte zwischen 0 und 1 in beiden Gruppen ab. Zu den Zeitpunkten 10 sowie 30 min postoperativ im Aufwachraum gab es keinen signifikanten Unterschied bei den erhobenen Scores. Das Schmerzniveau zum Zeitpunkt der Entlassung (2 h postoperativ) war in der Gruppe der ISB etwas geringer, jedoch nicht signifikant (0,25 (95 % KI = -0,83 bis 0,33, $p = 0,13$) Punkte auf der Ratingskala). Insgesamt lag der mittlere NRS über allen 4 Messzeitpunkten in der Gruppe der ISB geringfügig unter dem NRS der NSSB, siehe Abb. 19.

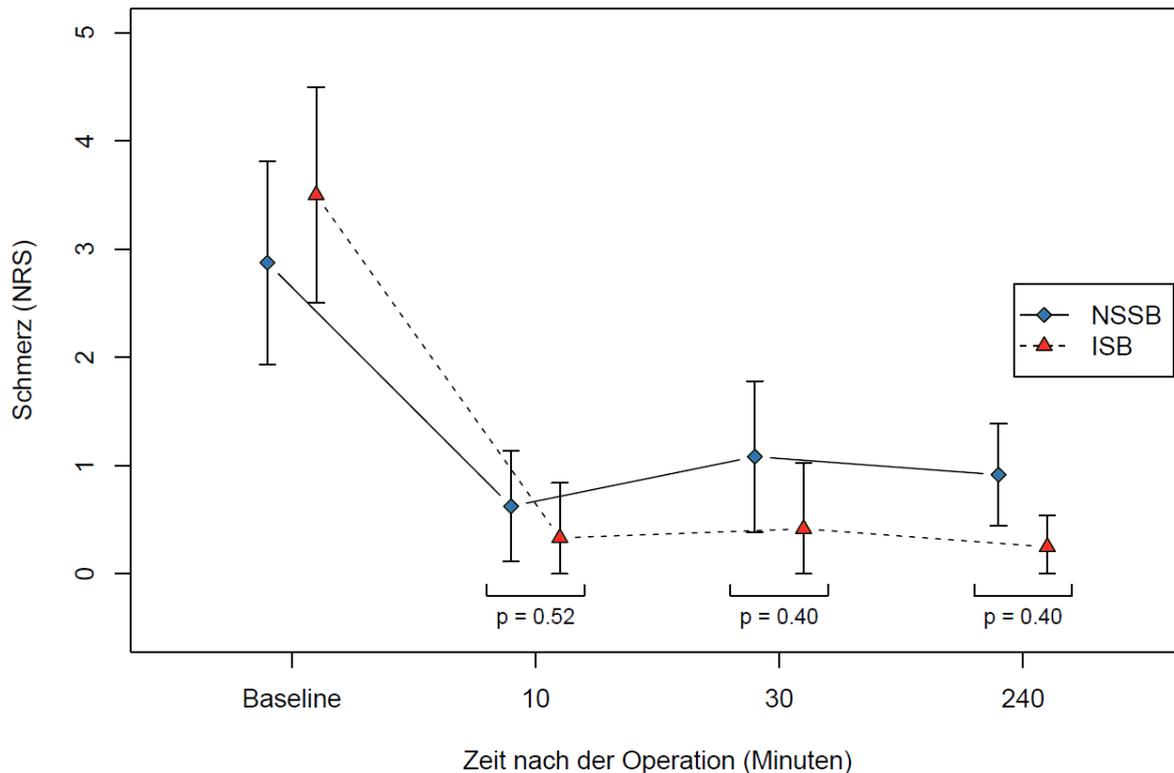


Abbildung 19: Vergleich und zeitlicher Verlauf der beiden Blockadetechniken NSSB (N. suprascapularis Blockade, blaue Rauten) und ISB (Interscalenäre Blockade, rote Dreiecke) hinsichtlich der angegebenen Schmerzintensität nach NRS zu den jeweiligen Messzeitpunkten. Darstellung der Daten als Mittelwerte \pm Standardabweichung. P-Werte wie angegeben.

4.5.2 Postoperativer Analgetikverbrauch

4.5.2.1 Analgetikverbrauch im Aufwachraum (früh postoperativ)

Entsprechend des standardisierten Ablaufs zur postoperativen Schmerztherapie (siehe Abschnitt 3.2.3) wurde bei 4 % vs. 8 % (ISB vs. NSSB) der Patienten ein NSAR (Ibuprofen 600 mg p.o.) auf Grund von leichten Schmerzen (NRS 0-3) im AWR angeordnet. In der Gruppe der ISB erhielt ein Patient postoperativ Oxycodon (10 mg) s.c. zur Schmerztherapie bei einem NRS \geq 5. In diesem Fall handelte es sich um ein Blockadeversagen. In der Gruppe der NSSB wurde das Opioid insgesamt 4 Patienten (17 %) verabreicht.

Es zeigte sich kein signifikanter Unterschied bezüglich des postoperativen Opioid-Verbrauches im AWR zwischen beiden Gruppen ($p = 0,345$). In Abb. 20 ist der Opioid-Verbrauch innerhalb Studiengruppen im AWR gegenübergestellt.

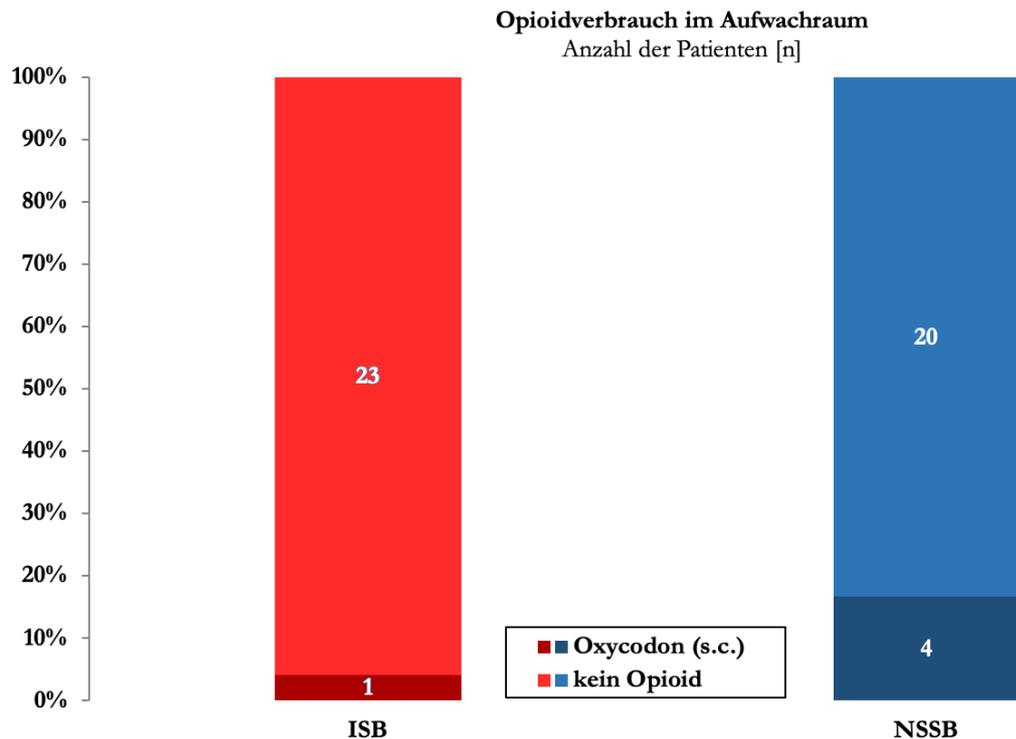


Abbildung 20: Opioid-Verbrauch im Aufwachraum im Vergleich beider Gruppen (Anzahl der Patienten; ISB n = 24, NSSB n = 24).

4.5.2.2 Analgetika-Verbrauch nach Entlassung (innerhalb der ersten 24 h postoperativ)

Die Schmerzmedikation nach Entlassung setzte sich aus Ibuprofen p. o. (max. 4 x 600 mg/24 h) und Tilidin p. o. (max. 2 x 100 mg/24 h) zusammen. Zur besseren Vergleichbarkeit des postoperativen Schmerzmittelverbrauchs wurden Dosisäquivalente gebildet. Hierfür wurde die analgetische Potenz von Ibuprofen 600 mg mit der Wirksamkeit von Tilidin 100 mg gleichgesetzt (10). In der Gruppe der NSSB lag der durchschnittliche Schmerzmittelverbrauch bei 2427 (\pm 1402) mg vs. 2406 (\pm 1209) mg in der Gruppe der ISB (95 % KI = -751 bis 794 mg, p = 0,96), somit ergab sich kein signifikanter Unterschied.

4.6 Daten zur Handkraftmessung, Blockadequalität, Blockadedauer, Nebenwirkung und Komplikationen sowie Patientenzufriedenheit

4.6.1 Bestimmung der Handkraft, sensorische Blockadequalität und Blockadedauer

A) Handkraft

Um das Ausmaß der motorischen Blockade zu bestimmen, wurde prä- und postoperativ die Handkraft der betroffenen Extremität mittels eines Hand- Dynamometers gemessen. Die Handkraft in [kg] vor der Punktion war in beiden Gruppen gleich (ISB 34,5 (\pm 13,9) vs. NSSB 36,7 (\pm 14,6)). Signifikante Unterschiede ergaben sich zum Messzeitpunkt 2h postoperativ im AWR. Die Handkraft in der Gruppe der NSSB war im Mittel um 11,2 kg (95% KI = 3,6 bis 18,9 kg, $p = 0,0024$) größer als in der Gruppe der ISB. Am ersten postoperativen Tag waren die gemessenen Werte für die Handkraft in beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich, allerdings wurde der präoperative Ausgangswert noch nicht wieder vollständig erreicht, siehe Abb. 21.

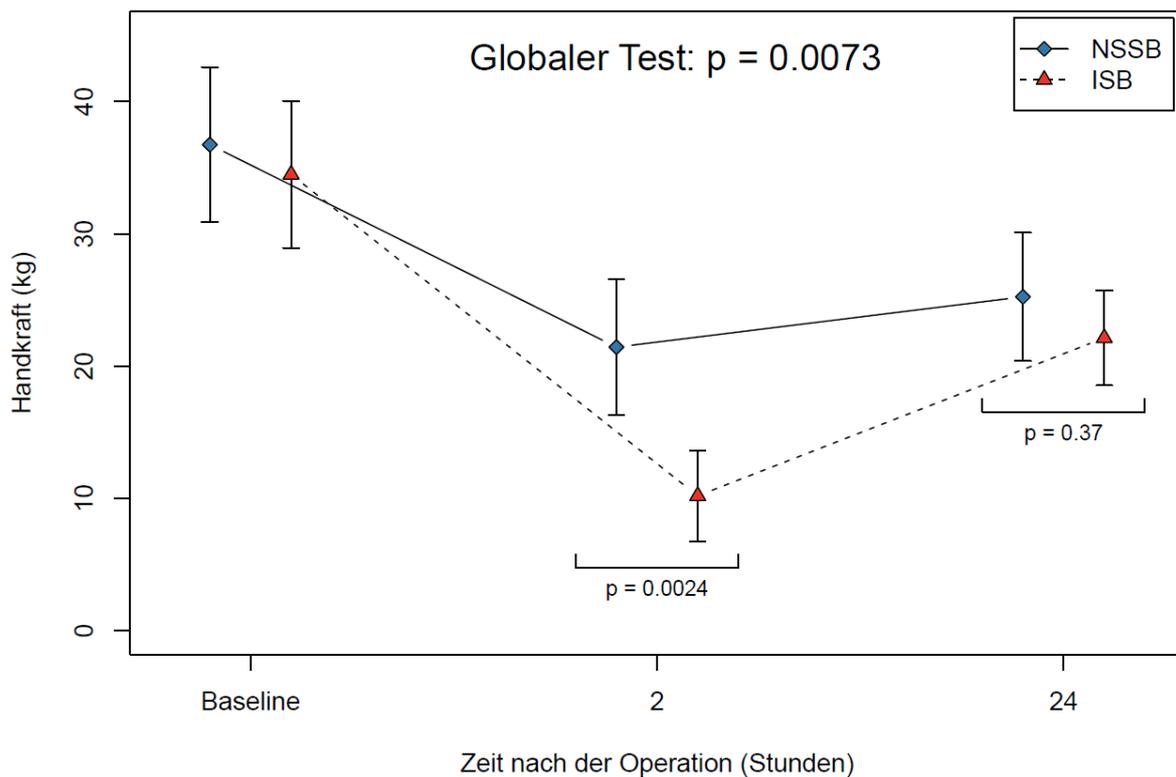


Abbildung 21: Vergleich und zeitlicher Verlauf der beiden Blockadetechniken NSSB (N. suprascapularis Blockade, blaue Rauten) und ISB (Interscalenäre Blockade, rote Dreiecke) hinsichtlich der gemessenen Handkraft zu den jeweiligen Messzeitpunkten. Darstellung der Daten als Mittelwerte \pm Standardabweichung. P-Werte wie angegeben.

B) Sensorische Blockadequalität

Zur Beurteilung des Ausmaßes der sensorischen Blockade der betroffenen Extremität diente die Temperaturwahrnehmung im Bereich der Hand. Zwei Stunden nach der Operation wurde jeder Patient im AWR befragt, ob er Berührungen im Bereich der Hand spüre (Testung mittels alkoholgetränkter Tupfer, (29)). In der Gruppe der NSSB kam es postoperativ bei keinem der 24 Patienten zu keiner Einschränkung der Sensorik. Bei 11 Patienten in der Gruppe der ISB (45,8 %, $p < 0,001$) trat ein vorübergehendes sensorisches Defizit der Hand auf, sodass die ISB signifikant häufiger zu einer sensorischen Blockade führte. In Abb. 22 ist die Häufigkeit einer sensorischen Blockade im Bereich der ipsilateralen Hand im Vergleich beider Gruppen dargestellt.

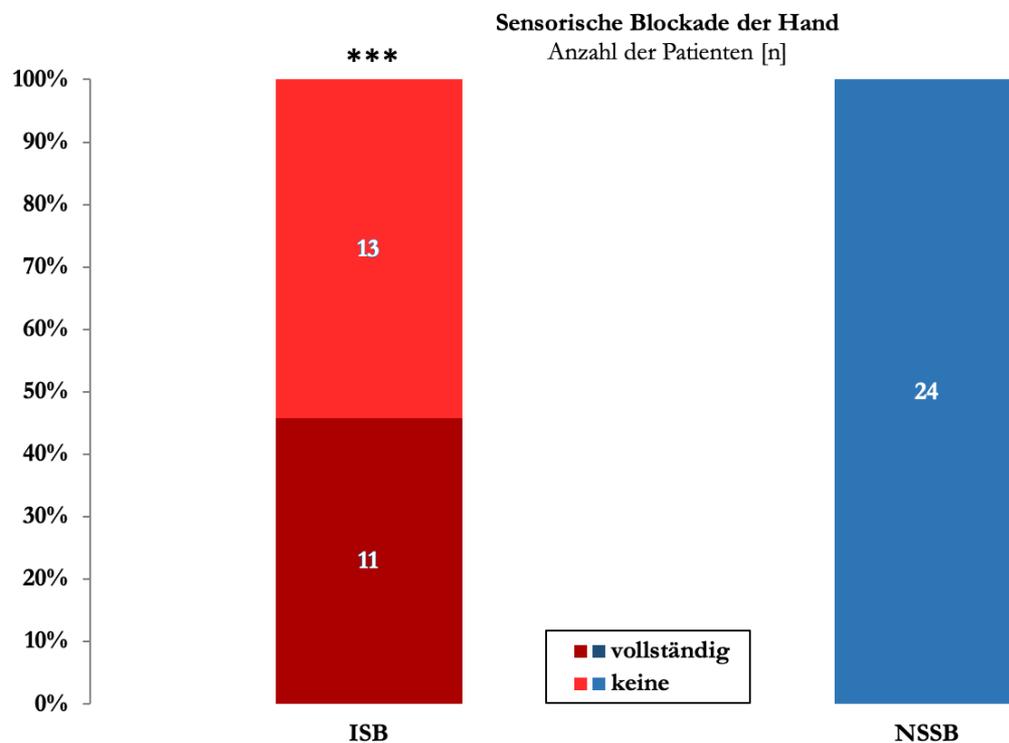


Abbildung 22: Sensorische Blockade der Hand im Vergleich beider Gruppen (Anzahl der Patienten; ISB n = 24; NSSB n = 24; $p < 0,001$).

C) Blockadedauer

Die Blockadedauer ist die Zeit von Beginn der Punktion bis zum Moment des Nachlassens der Blockade, definiert als erste wahrgenommene Schmerzsymptomatik im OP-Gebiet. Der Zeitpunkt der Blockaderegredienz wurde am ersten postoperativen Tag vom Patienten erfragt. Die durchschnittliche Blockadedauer betrug in der Gruppe der ISB 12,1 ($\pm 2,3$) h, in der Gruppe der NSSB dauerte die Blockade signifikant länger an und lag im Mittel bei 13,6 ($\pm 2,3$) h (KI = 0,1 bis 2,8 h, $p = 0,03$).

4.6.2 Nebenwirkungen und Komplikationen

A) Methodenimmanente Nebenwirkungen

Als methodenimmanente Nebenwirkungen der Blockaden wurden Heiserkeit (52), das Horner-Syndrom (103) und Dyspnoe (nach American Thoracic Society Scale (ATS Skala) (104)) definiert. Die ATS Skala unterteilt Luftnot in 5 Schweregrade (0-4), wobei Grad 0 keiner Dyspnoe, Grad 1 einer milden, Grad 2 einer mäßigen, Grad 3 einer schweren und Grad 4 einer sehr schweren Dyspnoe entsprechen.

Bei 5 Patienten der Gruppe ISB trat ein vorübergehendes Horner-Syndrom auf ($p = 0.05$) und 2 Patienten klagten über eine reversible Heiserkeit. In der Gruppe der NSSB traten keine der definierten methodenimmanenten Nebenwirkungen auf (siehe Tab. 16).

B) Narkoseassoziierte Nebenwirkungen

Postoperative Übelkeit und Erbrechen (PONV) auf Grund von Nebenwirkungen der verwendeten Narkotika und Opioide wurden ebenfalls erfasst. Ein Patient erhielt noch im OP aufgrund eines Opioid-Überhangs titriert 0,4 mg Naloxon.

In Tab. 16 ist die Verteilung der beobachteten Nebenwirkungen innerhalb der Gruppen gegenübergestellt.

Tabelle 16: Nebenwirkungen (n = Anzahl der Patienten und % = Anteil in Prozent, Dyspnoe in Anlehnung an die ATS Scale)

	ISB (n = 24)	NSSB (n = 24)
Horner-Syndrom	5 (21 %)	0 (0 %)
Heiserkeit	2 (8 %)	0 (0 %)
PONV	0 (0 %)	0 (0 %)
Dyspnoe (Grad > 0)	0 (0 %)	0 (0 %)

C) Blockadeassoziierte Komplikationen

Schwerwiegende Komplikationen, wie Blutung, Hämatombildung, Pneumothorax oder eine Intoxikation durch Lokalanästhetika, traten bei keinem der 48 Probanden auf. Bei einem Patienten in der Gruppe der ISB kam es zu einem Versagen der Regionalanästhesie (siehe Tab. 17).

Tabelle 17: Blockadeassoziierte Komplikationen (n = Anzahl der Patienten und % = Anteil in Prozent)

	ISB (n = 24)	NSSB (n = 24)
Blockversager (NRS > 6)	1 (4 %)	0 (0 %)
Pneumothorax	0 (0 %)	0 (0 %)
Lokalanästhetika Intoxikation	0 (0 %)	0 (0 %)
Blutungen	0 (0 %)	0 (0 %)
Hämatome	0 (0 %)	0 (0 %)

4.6.3 Patientenzufriedenheit

Für die Beurteilung der Qualität der Blockadetechnik ist die Zufriedenheit der Patienten ein wichtiger Faktor. Hierfür wurden die Studienteilnehmer am ersten postoperativen Tag bezüglich ihrer Zufriedenheit mit dem verwendeten Blockadeverfahren befragt. In beiden Gruppen war die Patientenzufriedenheit hoch. Parallel wurde auch die Bereitschaft für die erneute Entscheidung für das verwendete Verfahren evaluiert.

In der Gruppe der NSSB waren 7 (29 %) Patienten zufrieden und 17 (71 %) vollkommen zufrieden, verglichen mit 8 (33 %) und 16 (67 %) in der Gruppe der ISB, $p = 0,76$ (siehe Abb. 23).

Ebenso würden 7 (29 %) Patienten wahrscheinlich das Verfahren der NSSB erneut wählen und 17 (71 %) würden es sicher wählen, verglichen mit 5 (21 %) und 19 (79 %) aus der Gruppe der ISB, $p = 0,50$ (siehe Abb. 24).

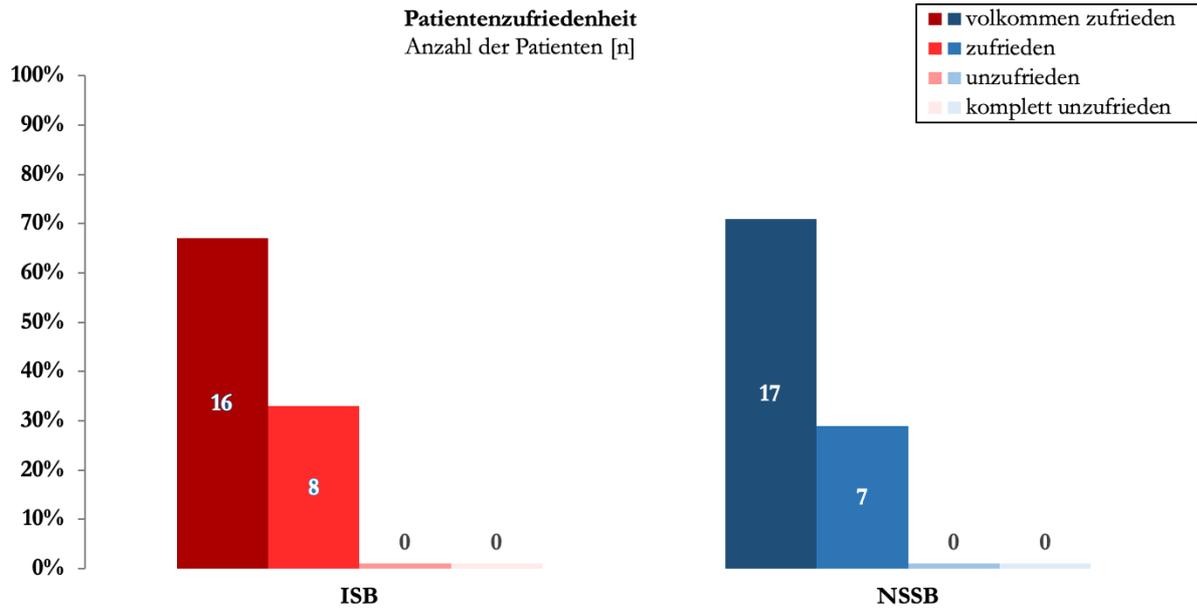


Abbildung 23: Zufriedenheit der Patienten für das verwendete Blockadeverfahren im Vergleich beider Gruppen (Anzahl der Patienten; ISB n = 24, NSSB n = 24; $p = 0,76$).

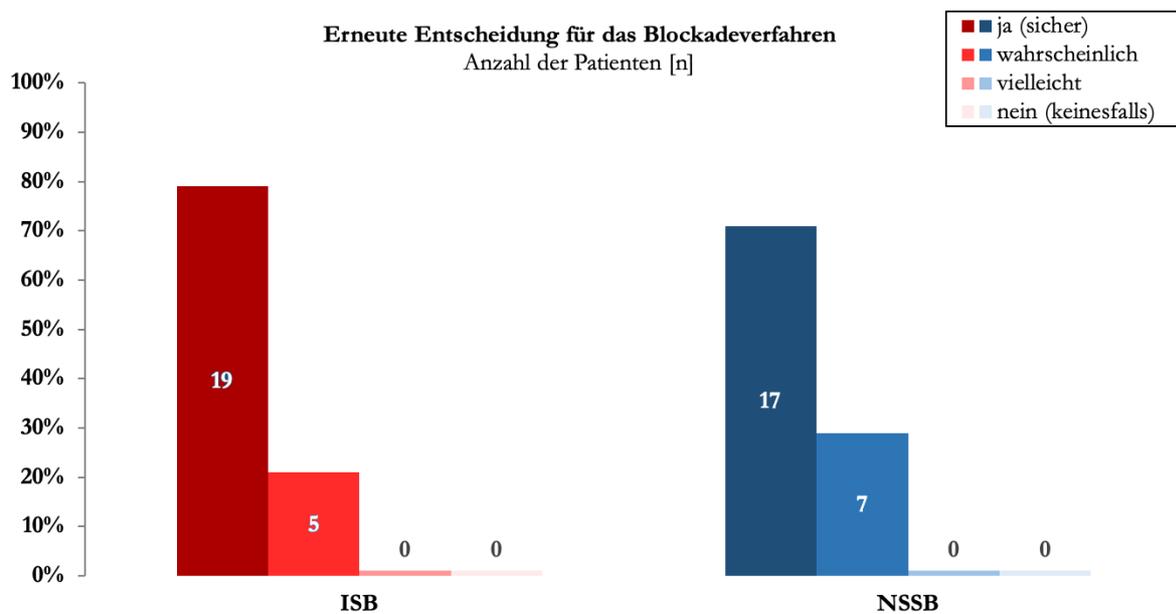


Abbildung 24: Häufigkeit der erneuten Entscheidung für das verwendete Blockadeverfahren im Vergleich beider Gruppen (Anzahl der Patienten; ISB n = 24, NSSB n = 24; $p = 0,5$).

5 Diskussion

5.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurde die ultraschallgestützte Interscalenäre Plexusblockade der anterioren Blockade des N. suprascapularis gegenübergestellt. Anhand der erhobenen EIT-Daten wurde das Ausmaß von postoperativen Ventilationseinschränkungen bestimmt und mit der sonographisch gemessenen Zwerchfellbeweglichkeit verglichen. Aufgrund der anatomischen Entfernung des N. suprascapularis zum N. phrenicus wurde zu Beginn die Hypothese postuliert, dass eine NSSB keine Parese des N. phrenicus hervorruft.

Mit Hilfe der EIT konnte demonstriert werden, dass die ISB signifikant häufiger zu passageren Ventilationseinschränkungen der ipsilateralen Lungenhälfte führt. Die aufgetretenen Belüftungsstörungen werden durch eine reversible Blockade des N. phrenicus verursacht, welche als methodenimmanente Nebenwirkung der ISB bekannt ist (8). Der hohe Anteil sonographisch nachgewiesener Zwerchfellparesen in der Gruppe der ISB bestätigte die Ergebnisse der EIT-Messung.

Die Schmerzkontrolle innerhalb der ersten 6 h nach der Operation war in beiden Gruppen exzellent, mit einem leichten, jedoch nicht signifikanten Vorteil zugunsten der ISB. Der postoperative Bedarf an Opioiden war in der Gruppe der NSSB dementsprechend höher. Bezüglich des Schmerzmittelverbrauchs (Ibuprofen und Tilidin) innerhalb der ersten 24 h nach dem Eingriff bestand kein signifikanter Unterschied. Die ISB führte jedoch bei zahlreichen Patienten zu einem Taubheitsgefühl der betroffenen Extremität in Verbindung mit einer ausgeprägten motorischen Blockade der ipsilateralen Hand. In beiden Gruppen war die Zufriedenheit mit der durchgeführten Nervenblockade als schmerztherapeutisches Verfahren sowie die Bereitschaft, dieses Verfahren erneut zu wählen übereinstimmend hoch.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 EIT und Sonographie zur Detektion der N. phrenicus Parese

Durch Verwendung der EIT konnte in dieser Studie das Auftreten einseitiger Ventilationseinschränkungen als mögliche Folge einer N. phrenicus Parese nach peripheren Nervenblockaden nachgewiesen und visualisiert werden. Nach der Blockade kam es sowohl in der Gruppe der NSSB als auch in der Gruppe der ISB zu einer Verschlechterung der Belüftung der ipsilateralen Lungenhälfte, welche mit Hilfe der EIT detektiert wurde. Diese Ventilationseinschränkung fiel in der Gruppe der ISB signifikant stärker aus. Am ersten postoperativen Tag konnte in beiden Gruppen eine deutliche Erholung der Lungenfunktion beobachtet werden.

Seit wenigen Jahren wird die EIT bei Fragestellungen bezüglich der Lungenventilation klinisch genutzt. Sie bietet schnell, sicher und ohne weitere Belastungen für den Patienten (beispielsweise Einwirkung ionisierender Strahlung, Transport in die Radiologie oder schmerzhafte Umlagerungen) ebenfalls die Möglichkeit, eine Zwerchfellparese zu detektieren (69, 85). Durch Schwankungen der Impedanz des intrathorakalen Gasvolumens können Rückschlüsse auf die regionale und zeitliche Ventilationsverteilung und somit auf eine mögliche einseitige Belüftung gezogen werden. Hauptvorteil ist hierbei die bettseitige Anwendbarkeit und die Unabhängigkeit der Ergebnisse vom Untersuchenden. Die EIT-Technologie hat sich bereits als valides Verfahren in der klinischen Routine etabliert. Sie wird unter anderem zur Überwachung bzw. Optimierung einer maschinellen Beatmung, zu Lungenfunktionstests bei chronischen Lungenerkrankungen, zur Detektion von Pneumothoraces oder einer stillen Aspiration mit nachfolgender Atelektasenbildung genutzt (67, 70). Eine Äquivalenz zu spirometrisch bestimmten Tidalvolumina und Vitalkapazitäten sowie eine Gleichwertigkeit gegenüber der CT bei der Feststellung von Imbalancen in der Ventilation (rechts vs. links), konnte in mehreren klinischen Studien nachgewiesen werden (105, 106). Trotz der zahlreichen Vorteile hat die EIT im ambulanten Setting bisher kaum Anwendung gefunden. Publikationen zur Aufdeckung von Ventilationseinschränkungen als mögliches Korrelat von Phrenicusparesen nach peripheren Nervenblockaden mittels EIT-Technologie existieren bisher nicht.

Da es in beiden Gruppen zu einer Abnahme der Ventilation auf der Blockadeseite kam, muss ein Zusammenhang mit der Allgemeinanästhesie diskutiert werden. Im Rahmen des Narkoseverfahrens erhielten alle Patienten ein peripheres Muskelrelaxans. Standardmäßig wurde ein neuromuskuläres Monitoring durch Verwendung des Stimulationsmusters „Train of four“ (TOF) durchgeführt, bei dem eine Serie von 4 Reizen mit einer Frequenz von 2 Hertz abgegeben wird. Ein TOF-Quotient von 1,0 entspricht hierbei einem nicht relaxierten Muskel (33). Die

erhobenen Quotienten wurden jedoch nicht in der Datenerhebung erfasst. Cammu und Kollegen zeigten in ihrer Arbeit, dass selbst bei einem TOF-Quotienten $> 0,9$ noch neuromuskuläre Schwächen bestehen und somit von einer eingeschränkten postoperativen Ventilation ausgegangen werden kann (107). Alle Probanden der vorliegenden Studie atmeten zum Zeitpunkt der Extubation ausreichend spontan, jedoch kann das Ausmaß einer verbliebenen Relaxation und deren Auswirkungen auf die Ventilation letztendlich nicht vollständig abgeschätzt werden.

Um die Häufigkeit des Auftretens einer ipsilateralen Phrenicusparese nach der peripheren Nervenblockade zu bestimmen und die Ergebnisse der EIT zu validieren, wurde die Sonographie des Zwerchfells genutzt. Seit der erstmaligen Darstellung von Nervenstrukturen mit Hilfe eines modernen hochauflösenden Ultraschallsystems durch Fornage und Kollegen im Jahr 1988 (38), ist die Sonographie ein fester Bestandteil bei der Durchführung peripherer Nervenblockaden (108) und wird zudem in der Diagnostik einer abnormalen Zwerchfellbeweglichkeit im klinischen Alltag regelhaft eingesetzt (94, 109).

Eine Phrenicusparese stellt sich im sonographischen Bild entweder als paradoxe Bewegung dar (bei Inspiration negative Amplitude im M-Mode bzw. bei Expiration ein positiver Ausschlag) oder es kann keine sichtbare Bewegung nachgewiesen werden (95). Eine gemessene Auslenkung $< 1,9$ cm wurde vorab als Zwerchfellparese definiert (94, 101). Bei 5 Patienten der Gruppe NSSB (21 %) und 21 Patienten der Gruppe ISB (88 %) wurde sonographisch eine akzessorische Phrenicusparese diagnostiziert, somit traten in der Gruppe der ISB signifikant häufiger passagere Zwerchfellparesen auf.

In der vorliegenden Studie kam es in wenigen Fällen zu nicht vernachlässigbaren Abweichungen zwischen beiden Verfahren bezüglich der erhobenen Ergebnisse. Bei 3 Patienten zeigten sich in der EIT-Messung ausgeprägte Ventilationseinschränkungen, im Ultraschallbild konnte jedoch eine normale Zwerchfellbeweglichkeit dargestellt werden. Leichte Diskrepanzen der Messergebnisse können durch die Untersucherabhängigkeit bei der Sonographie erklärt werden. Wurde die Ultraschalluntersuchung präoperativ von einem anderen Studienarzt durchgeführt, so können die postoperativ erhobenen Daten durch eine andere Position der Schallsonde variieren. Ursächlich für die einseitige Ventilationseinschränkung, welche sich im M-Mode nicht als paradoxe oder verminderte Zwerchfellbewegung darstellt, könnten wie bereits oben erwähnt ein Überhang an Muskelrelaxantien, oder aber auch eine zu tiefe orotracheale Intubation während der Allgemeinanästhesie mit nachfolgender Atelektasenbildung gewesen sein. Da der rechte Hauptbronchus steiler verläuft, resultiert aus einer zu tiefen Position des Tubus meist eine einseitige Ventilation durch dessen mechanische Verlegung. Eine normale Zwerchfellbewegung im M-Mode bei gleichzeitig vermindelter Ventilation in der EIT könnte theoretisch auch auf einen Pneumothorax oder eine akute Lungenembolie hinweisen. Jedoch zeigte keiner der betroffenen

Patienten klinische Symptome (Sättigungsabfall, erhöhte Atemfrequenz, Tachykardie, Dyspnoe) hinsichtlich der genannten Krankheitsbilder, weder im AWR noch innerhalb der ersten postoperativen Tage, sodass keine Indikation zur weiterführenden Diagnostik (Röntgen, CT des Thorax) bestand.

Bei wenigen Patienten kam es durch mangelnden Elektrodenkontakt während der Aufzeichnung der Atemzüge im Nachhinein zu einer erschwerten Datenauswertung durch die Analysesoftware, welche die Atemzüge aufgrund von kurzen Kontaktunterbrechungen nicht als solche erkannte und auswertete. Auch die Höhe des Elektrodengurtes konnte nicht in jedem Fall identisch zur präoperativen Messung angelegt werden, da der Arm der operierten Seite oft auf Wunsch des Operateurs durch einen Gilchrist-Verband am Körper fixiert werden musste.

Die Unterschiede der Messergebnisse verdeutlichen, dass eine Verbesserung der verwendeten sensiblen Auswertungssoftware sowie ein zuverlässiger Hautkontakt der Messgurte für eine regelhafte klinische Anwendung essenziell sind und aktuell eine Überprüfung mittels Sonographie bei zweifelhaften Ergebnissen empfohlen werden sollte.

Das sonographische sowie das verwendete EIT-Verfahren eignen sich nach den vorliegenden Erkenntnissen daher insbesondere in ihrer möglichen Kombination zur Detektion einer Phrenicusparese. Die EIT veranschaulicht vor allem das relative Ausmaß der Ventilationseinschränkung und bietet mit ihrem optischen Feedback eine hohe praktische Relevanz für Kliniker, wohingegen die Sonographie eine Aussage über eine bestehende Parese und nicht über den Grad der Einschränkung treffen kann.

5.2.2 Parese des N. phrenicus und Zwerchfellparese

Die Inzidenz einer ipsilateralen Parese des N. phrenicus - und die Verhinderung dieser Nebenwirkung - nach einer Blockade des Plexus brachialis stehen im Mittelpunkt zahlreicher Studien. Urmeijer und Kollegen konnten in ihrer Arbeit eine Inzidenz von 100 % für die Entwicklung einer ipsilateralen Zwerchfellparese nach einer ISB feststellen (8), eine vergleichbar hohe Inzidenz fand sich auch in der vorliegenden Studie (> 80 %). In der Literatur existieren zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten über mögliche Strategien zur Reduktion der Hemiparese des Zwerchfells bei der ISB. Ansatzpunkte sind hier die Verringerung der verwendeten Volumina und Konzentrationen des Lokalanästhetikums, eine Injektion möglichst distal des Plexus brachialis sowie die digitale Kompression nach Injektion zur Verhinderung der Ausbreitung des Lokalanästhetikums nach kranial (110 - 112). Keine dieser Methoden konnte jedoch die Inzidenz von Zwerchfellparesen unter 20 % senken (9). Alternativ zur klassischen ISB beschrieben Renes

und Mitarbeiter eine selektive Blockade der Wurzel C7, bei der nur in 13 % der Fälle eine ipsilaterale Zwerchfellparese auftrat (113).

Ursächlich für die akzessorische Blockade des N. phrenicus ist die anatomische Nähe zum Plexus brachialis. Zum einen beträgt der durchschnittliche Abstand zwischen N. phrenicus und der Spinalnervenwurzel C5 auf Höhe des Ringknorpels nur ca. 1,8 mm (114). Zum anderen umgibt die Faszia prävertebralis die Nervenstrukturen, sodass injiziertes Lokalanästhetikum in der Regel den Nerv sowie den Plexus umspült. Eine weitere Möglichkeit für eine akzessorische Blockade ist die Ausbreitung des Lokalanästhetikums entlang des M. scalenus anterior, auf dem der N. phrenicus nach kaudal zieht (115). Eine vorübergehende einseitige Parese des N. phrenicus stellt für einen gesunden Patienten keinerlei Gefährdung dar. Subjektiv kommt es nur sehr selten zu Beschwerden, wie zum Beispiel Dyspnoe, einer eingeschränkten Fähigkeit zur tiefen Inspiration sowie einer unzureichenden Sekretmobilisierung durch ineffektives Husten (116). Keiner der betroffenen Patienten, bei denen in Rahmen dieser Studie eine vorübergehende Phrenicusparese detektiert wurde, verspürte subjektiv Atemnot, lediglich beschrieben wenige Probanden eine Behinderung bei der tiefen Inspiration. Für Patienten mit exazerbierten pulmonalen Vorerkrankungen, Adipositas oder bei unbekannter Zwerchfellparese der Gegenseite, birgt die ISB jedoch ein höheres klinisches Risiko, da sich u.a. bedingt durch die paradoxe Zwerchfellbewegung die betroffene Lungenhälfte nicht adäquat ausdehnen und somit eine bereits bestehende Luftnot verstärkt werden kann (10).

Bei der anterioren NSSB traten signifikant weniger Zwerchfellparesen auf. Bei insgesamt 8 Patienten, bei denen eine anteriore Blockade des NSS durchgeführt wurde, zeigten sich ebenfalls vorübergehend deutliche einseitige postoperative Ventilationsveränderungen in der EIT-Messung, die Rückschlüsse auf eine ipsilaterale Phrenicusparese zulassen. Auyong und Mitarbeiter (117) verglichen ebenfalls ISB und NSSB miteinander und nutzten hierfür jeweils 15 ml 0,5%iges Ropivacain. Die prä- und postoperativ gemessene Vitalkapazität sowie die sonographische Darstellung der Zwerchfellexkursion waren Gegenstand der Untersuchung. In der Gruppe der ISB zeigten sich in Analogie zur vorliegenden Studie im Vergleich zur NSSB eine deutlichere Abnahme der pulmonalen Vitalkapazität und eine reduzierte Zwerchfellbeweglichkeit.

Ein Grund für das Auftreten von Phrenicusparesen bei der NSSB könnte wieder der anatomische Abstand zum Plexus brachialis sein. Bei einer Ultraschalluntersuchung von 23 Probanden konnten Kessler und Kollegen (114) feststellen, dass eine Bewegung des Ultraschallkopfes von 1 cm nach kaudal zu einer Vergrößerung des Abstandes zwischen Plexus und N. phrenicus um 3 mm führte. Daraus lässt sich ableiten, dass eine Injektion des Lokalanästhetikums zu nah an den Wurzeln des Plexus brachialis und dessen nachfolgende Diffusion nach medial ebenfalls zur Blockade des N. phrenicus führen kann. Demzufolge sollte der N. suprascapularis immer soweit lateral wie möglich

im Ultraschallbild dargestellt werden und die Injektion des Lokalanästhetikums stets am lateralen Rand des M. omohyoideus erfolgen. Gleiches wurde in der vorliegenden Arbeit standardisiert berücksichtigt. Die Verteilung des Lokalanästhetikums innerhalb der Faszienlogen der umgebenden Halsmuskulatur, die in diesem Fall als eine Art „Führungsschiene“ dienen, könnte ebenfalls ein Grund für die Mitblockade des N. phrenicus sein. In einer anatomischen Studie an Körperspendern konnte demonstriert werden, dass sich bereits geringe Volumina eines Lokalanästhetikums bei der NSSB in Richtung Plexus brachialis und N. phrenicus ausbreiteten und somit auch diese Areale anästhesieren könnten (118). Da die Mm. scaleni, welche Teil der inspiratorischen Atemhilfsmuskulatur sind, durch den Plexus brachialis mit innerviert werden, könnte die Ausbreitung des Lokalanästhetikums teilweise zu deren Lähmung führen und somit ebenfalls eine einseitige Ventilationseinschränkung, wie in der EIT dargestellt, verursachen. Um diesen Effekt auch klinisch zu bestätigen, sind weiterführende Studien mit reduzierten Volumina erforderlich.

Allgemein stellt die Verringerung der Konzentration oder Volumina gleichzeitig auch einen limitierenden Faktor dar, weil die Dauer der Blockade abnimmt und die Durchführung nur durch äußerst erfahrene Anästhesisten erfolgen sollte, da das geringe Depot des Lokalanästhetikums sicher platziert werden muss.

5.2.3 Schmerztherapie und periphere Nervenblockaden bei ambulanten Operationen

Die Ergebnisse dieser Studie belegen eine exzellente Schmerzkontrolle innerhalb der ersten 6 h nach der Operation durch die Verwendung von peripheren Nervenblockaden. Hierbei war ein leichter, jedoch nicht signifikanten Vorteil zugunsten der ISB erkennbar. Der postoperative Bedarf an Opioiden war in der Gruppe der NSSB dementsprechend höher. Bezüglich des Schmerzmittelverbrauchs (Ibuprofen und Tilidin) innerhalb der ersten 24 h nach dem Eingriff bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Verfahren. Hinsichtlich der postoperativen Schmerzkontrolle unterstreichen die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit die Gleichwertigkeit der NSSB gegenüber der ISB und zeigen gleiche Ergebnisse mit Publikationen der letzten Jahre. Wiegel und Mitarbeiter verwendeten in ihrer Studie 10 ml 1%iges Ropivacain (NSSB) und 20 ml 0,75%iges Ropivacain (ISB) und fanden eine äquivalente Analgesie der anterioren NSSB gegenüber der ISB (11). Die unterschiedlichen Volumina und Konzentrationen des Lokalanästhetikums, welche zum Zeitpunkt der Studie als klinikinterner Standard galten, waren jedoch ein limitierender Faktor und erschweren einen direkten Vergleich. Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit für beide Gruppen 10 ml 1%iges Ropivacain verwendet. Eine

Multicenter-Studie aus dem Jahr 2020 von Abdallah und Mitarbeiter (12) bestätigt ebenfalls die Gleichwertigkeit beider Blockadetechniken bezüglich der Schmerzkontrolle innerhalb der ersten 24 h. Durch eine sensorische Testung der Dermatome im Bereich des M. deltoideus wurde ebenfalls die suffiziente sensorische Blockade der NSSB bewiesen. In einer Übersichtsarbeit aus insgesamt 16 Studien, in denen die ISB der NSSB (als alleinige Blockadetechnik - von anterior oder posterior oder in Kombination mit einer axillären Blockade) gegenübergestellt wurden, konnte kein klinisch relevanter Unterschied bezüglich der Analgesie und des Opioid-Verbrauchs eruiert werden, bis auf eine geringfügige Überlegenheit der ISB in Hinblick auf die Schmerzkontrolle (NRS 1,5 ISB vs. 2,5 NSSB) im AWR innerhalb der ersten postoperativen Stunde (119). Beide hier verwendete Regionalanästhesieverfahren stellten auch Desroches und Kollegen einander gegenüber (120). Für die NSSB wurden 10 ml 0,75%iges Ropivacain vs. 20 ml 0,75%iges Ropivacain (ISB) verwendet. Innerhalb der ersten 24 h konnte kein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Schmerzkontrolle verzeichnet werden, unmittelbar postoperativ lag der Opioid-Verbrauch in der Gruppe der NSSB über dem der ISB ($p = 0,03$). Am ersten postoperativen Tag gaben die Patienten in der Gruppe der ISB jedoch signifikant höhere Schmerzintensitäten an ($p = 0,08$). Die unterschiedlichen Dosierungen bzw. Konzentrationen des verwendeten Lokalanästhetikums sowie zum Teil abweichende Blockadetechniken bei den oben genannten Studien müssen bei den Vergleichsbetrachtungen berücksichtigt werden.

Der Trend zur geringfügigen Überlegenheit der ISB im AWR und besseren Analgesie der NSSB am ersten postoperativen Tag zeigte sich auch in der vorliegenden Studie. Bei der NSSB wird vor allem die Schulterkapsel anästhesiert, hohe Volumina arthroskopischer Spüllösung können postoperativ einen ausgeprägten Dehnungsschmerz im Bereich der gesamten Schulter verursachen und so den höheren Opioid-Bedarf in der Gruppe der NSSB bedingen. Bei der ISB werden die sensiblen und motorischen Areale potent ausgeschaltet und ein Dehnungsschmerz wird vom Patienten weniger unangenehm empfunden. Patienten, die eine ISB erhielten, beschrieben die wiederkehrenden Empfindungen am ersten postoperativen Tag als starken, einschließenden Schmerz. Vor allem Kribbelparästhesien im Bereich der Finger bei Rückkehr der Sensorik wurden von vielen Patienten in dieser Gruppe als störend empfunden. Bei der NSSB hingegen wurde der Schmerz bei Rückkehr der Sensibilität als langsam einschleichend geschildert. Diese Erkenntnisse werden ebenfalls in anderen Studien beschrieben (121).

Die postoperative Schmerztherapie, vor allem nach allgemeinchirurgischen Operationen und Schulterarthroskopien, wies in den letzten Jahrzehnten noch größere Defizite auf. Chung und Kollegen beschrieben (122) einen hohen Anteil starker postoperativer Schmerzen, besonders nach ambulanten urologischen, orthopädischen und plastischen Eingriffen. Damit verbunden sind beispielsweise ungeplante verlängerte Aufenthaltsdauern in der Klinik oder stationäre Aufnahmen,

verzögerte Mobilisierung sowie folglich eine höhere Unzufriedenheit der Patienten. Eine nebenwirkungsarme und suffiziente Analgesie im tagesklinischen Bereich ist aus diesen Gründen umso bedeutender und kann durch die Verwendung peripherer Nervenblockaden realisiert werden, wie die Ergebnisse dieser Studie deutlich unterstreichen.

Die regelhafte Anwendung peripherer Nervenblockaden als alleiniges Verfahren oder in Kombination mit einer Allgemeinanästhesie hat sich in der klinischen Routine als sehr praktikabel erwiesen (83, 123). Eine bessere intra- und postoperative Schmerzkontrolle, höhere Patientenzufriedenheit, reduzierter Verbrauch von Opioiden und die damit verbundene verringerte PONV sowie nicht zuletzt eine geringere ökonomische Belastung durch entbehrliche Allgemeinanästhesien und die Vermeidung ungeplanter stationärer Aufnahmen, sind die einschlägigen Vorteile regionalanästhesiologischer Verfahren (124).

Die Durchführung peripherer Nervenblockaden bei ambulanten Operationen wird jedoch zum Teil noch immer kontrovers diskutiert. Da die Patienten in der Regel 4 bis 6 h nach dem Eingriff in die Häuslichkeit entlassen werden und zu diesem Zeitpunkt die Blockade nicht immer vollständig regredient ist, wurde ein erhöhtes Verletzungsrisiko durch die fehlende Propriozeption der Extremität und die mangelnde Schmerzantwort als Schutzreflex vor akzidentiellen Traumata postuliert (125). Aus diesem Grund werden Patienten häufig erst nach dem vollständigen Abklingen der Nervenblockade entlassen. Eine prospektive Studie mit 1791 Patienten durch Klein und Kollegen (126) zeigte jedoch, dass der Einsatz von Regionalanästhesien im ambulanten Setting mit einer sehr geringen Inzidenz (0,25 %) von postoperativen Schäden vergesellschaftet ist. Eine konsequente präoperative Schulung sowie Aufklärung des Patienten in Verbindung mit einer strukturierten postoperativen Versorgung, minimieren das Verletzungsrisiko und ermöglichen eine risikoarme Anwendung peripherer Nervenblockaden im tagesklinischen Bereich. Eine aktuelle Leitlinie zum Thema „Regionalanästhesie bei ambulanten Patienten, Empfehlungen zur Durchführung“ der Deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI) wird zurzeit ausgearbeitet und soll im April 2021 erscheinen.

5.2.4 Sensomotorische Blockadequalität

Bei 46 % der Patienten in der Gruppe der ISB trat ein vorübergehendes sensorisches Defizit der Hand auf, in der Gruppe der NSSB kam es postoperativ bei keinem der Patienten zu einer Einschränkung der Sensorik. Die ISB ging somit signifikant häufiger mit einer sensorischen Blockade der Hand einher.

Die ISB führte neben einer sensorischen Blockade auch signifikant häufiger zu einer ausgeprägten motorischen Lähmung der Hand. Die erhobenen Daten zeigen eine deutliche Verminderung der Handkraft in der Gruppe der ISB innerhalb der ersten 24 h nach dem Eingriff. Die stärkere motorische Blockade nach der ISB im Vergleich zu NSSB wurde auch durch Wiegel und Mitarbeiter beschrieben (11). Konradsen und Mitarbeiter verglichen ISB und NSSB hinsichtlich der erzielten Schmerzlinderung sowie der sensomotorischen Blockade und stellten fest, dass die ISB signifikant häufiger mit einer motorischen Einschränkung der betroffenen Extremität und höherem Unbehagen seitens der Patienten, bedingt durch die sensorische Blockade einher ging (127).

Ein Teil der Kraftreduktion muss im direkten Zusammenhang mit dem operativen Eingriff betrachtet werden (a.e. schmerzbedingtes Schonverhalten, Immobilisation durch Gilchristverband), da in beiden Gruppen die Handkraft innerhalb der ersten 24 h um circa 10 kg im Vergleich zum präoperativen Wert nachgelassen hat und der Ausgangswert am ersten postoperativen Tag noch nicht wieder erreicht wurde. Da bei der ISB im Gegensatz zum NSSB nicht ein einzelner Nerv, sondern mehrere Nervenwurzeln betäubt werden, kommt es zu einer stärkeren sensomotorischen Blockade. Die vorübergehenden Einschränkungen bei wenigen Patienten in der Gruppe der NSSB sind am ehesten durch die Ausbreitung des Lokalanästhetikums in Richtung des Plexus brachialis zu erklären (118).

Die signifikant geringere sensorische und weniger ausgeprägte motorische Blockade bei der NSSB ist vor allem im ambulanten Setting klinisch relevant. Die Patienten profitieren von einer erhaltenen Funktion der Hand nach Entlassung in die Häuslichkeit, da sie sich hier, anders als bei einem stationären Aufenthalt, selbständig versorgen müssen.

5.2.5 Blockadedauer

In der vorliegenden Studie hielt die Nervenblockade in der Gruppe der NSSB signifikant länger an. In der Meta-Analyse von Hussein und Mitarbeiter (119), wurde die Blockadedauer bei 3 Arbeiten ebenfalls untersucht. Hierbei zeigte sich gleichfalls eine längere, jedoch nicht signifikante, Blockadedauer in der Gruppe der NSSB. Eine Begründung fanden die Autoren nicht. Erklärungsansätze für die längere Blockadedauer können daher nur postuliert werden. Möglich wäre z.B. eine denkbar langsamere Verteilung des Lokalanästhetikums im Bereich des N. suprascapularis. Das Kompartiment befindet sich direkt und unmittelbar unterhalb des M. omohyoideus und könnte somit durch die fehlende Muskulatur weniger stark perfundiert sein. Eine Resorption des Lokalanästhetikums könnte langsamer erfolgen. Im Gegensatz dazu wäre bei

der ISB eine schnellere Diffusion des Lokalanästhetikums entlang der umliegenden Muskulatur anzunehmen.

5.2.6 Methodenimmanente Nebenwirkungen und Komplikationen

Die vorab definierten methodenimmanenten Nebenwirkungen wie Heiserkeit, bedingt durch eine akzessorische Parese des N. recurrens (52), oder das Horner-Syndrom, verursacht durch eine vorübergehende Blockade des Ganglion stellatum (103), traten in geringer Anzahl und insgesamt nur in der Gruppe der ISB auf. Diese Nebenwirkungen werden hinreichend in der Literatur beschrieben und deren Häufigkeit korreliert mit dem verwendeten Volumen an Lokalanästhetikum (22, 103, 128). Die geringe Häufigkeit der Nebenwirkungen in dieser Studie kann durch die verringerte Menge des verwendeten Lokalanästhetikums begründet werden.

Schwerwiegende Komplikationen (Blutung, Hämatombildung, Pneumothorax oder eine Intoxikation durch Lokalanästhetika) traten weder bei der ISB noch bei der NSSB auf.

Diese Komplikationen, welche vor allem bei der landmarkenorientierten Technik beobachtet wurden, konnten durch Modifizierungen und die Anwendung der Sonographie regelhaft minimiert werden (6,51,129).

5.2.7 Patientenzufriedenheit und erneute Entscheidung

In beiden Gruppen war die Patientenzufriedenheit sehr hoch, ebenso bestand eine ausgeprägte Bereitschaft (> 80 %) zur erneuten Wahl einer der beiden Blockadetechniken.

Die hohe Zufriedenheit kann auf einen strukturierten und routinierten Ablauf bei der Durchführung der Blockadetechniken im ambulanten Setting, eine geringe Nebenwirkungsrate sowie die exzellente Schmerzkontrolle, welche durch beide Verfahren erzielt werden konnte, begründet werden.

5.2.8 Limitationen

Auch wenn es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine prospektive, randomisierte Studie handelt, müssen dennoch einige Limitationen anerkannt und kritisch diskutiert werden. So hätte die Arbeit sicherlich von einer längeren Nachbeobachtungszeit hinsichtlich der erhobenen Schmerzdaten profitiert, um analgetische Effekte des regionalanästhesiologischen Verfahrens von Effekten des

eigentlichen operativen Eingriffs besser abgrenzen zu können. Ebenso wäre ein erneuter Kontrolltermin nach einigen Tagen wünschenswert gewesen, um die vollständige Reversibilität der Ventilationseinschränkungen und der sensomotorischen Blockade nachverfolgen zu können. Dies war aber aufgrund der Rahmenbedingungen der ambulanten Eingriffe leider nicht möglich.

Zur besseren Beurteilbarkeit einer möglichen, noch anhaltenden neuromuskulären Blockierung durch die verwendeten Muskelrelaxantien, wäre die Erhebung der Parameter „Atemfrequenz“ und „TOF-Quotient“ hilfreich gewesen.

Für eine weitere Validierung der erarbeiteten Ergebnisse könnten ein Vergleich mit spirometrisch bestimmten Lungenparametern sowie die postoperative sonographische Darstellung der Zwerchfellbeweglichkeit der kontralateralen Seite ergänzend sinnvoll sein, um abweichende Ergebnisse zwischen Sonographie und EIT weiter zu verifizieren.

Das verwendete Volumen des Lokalanästhetikums könnte möglicherweise für die ISB und NSSB gleichermaßen noch reduziert werden. Eine gewisse Limitierung der Dosisreduktion ergibt sich aus einer gewünschten Länge der Blockade.

Die in dieser Studie verwendete EIT-Technologie bedarf noch einer Verbesserung des Handlings in der Praxis. Bisher liefert die Technik eine zügige Aussage über eventuelle Belüftungsstörungen. Da zum einen die Software zur Auswertung der erhobenen Daten sehr anfällig ist (intransparentes Auswertungstool, störungsanfällige Elektrodengurte), kann die verwendete EIT-Technologie nur bedingt zu wissenschaftlichen Zwecken genutzt werden. Zum anderen ist die EIT aktuell noch mit sehr hohen Materialkosten (Einmalverwendung der Elektrodengurte, Kontaktspray etc.) verbunden. Somit wird der regelhafte Einsatz, vor allem im ambulanten Setting, noch erschwert.

5.2.9 Ausblick

Die EIT hat sich trotz einzelner Limitierungen als schnelles und einfach einsetzbares diagnostisches Mittel bewährt. Ausgeprägte, oder bereits vorbestehende einseitige Ventilationseinschränkungen, können schon vor Durchführung einer peripheren Nervenblockade detektiert und so eine mögliche potenzielle Gefährdung des Patienten vermieden werden.

Die vorliegende Studie ergänzt vorangegangene Arbeiten zur Reduktion der Zwerchfellparesen und wurde bereits im Dezember 2020 im *European Journal of Anaesthesiology* publiziert (130). Die gewonnenen Ergebnisse sind von hoher klinischer Relevanz, um Patientinnen und Patienten eine optimale, nebenwirkungsarme und individuelle Schmerztherapie im Rahmen von ambulanten arthroskopischen Operationen an der Schulter anbieten zu können. Die Ergebnisse unterstreichen

ferner die Qualität und den Nutzen von Regionalanästhesieverfahren auch im tagesklinischen Bereich.

Die ultraschallgestützte anteriore Blockade des N. suprascapularis bietet eine gleichwertige, suffiziente Analgesie und geht zugleich seltener mit Ventilationseinschränkungen, akzessorischen Zwerchfellparesen und motorischen Blockaden der Hand einher. Die NSSB sollte somit als Alternative bei pulmonalen Risikopatienten in Betracht gezogen werden.

Die Volumenreduktion der verwendeten Lokalanästhetika und deren Wirkungsdauer sowie die Untersuchung eines Zusammenhangs zwischen dem Abstand des N. suprascapularis zum Plexus brachialis und der Häufigkeit der aufgetretenen Phrenicusparesen bieten vielversprechende Ansatzpunkte für nachfolgende Forschungsarbeiten zur weiteren Verringerung begleitender Zwerchfellparesen.

Zusammenfassung

Hintergrund

Die Interscalenäre Blockade des Plexus brachialis (ISB) ist ein weit verbreitetes regionalanästhesiologisches Verfahren zur postoperativen Schmerzkontrolle bei Operationen an der Schulter. Ungeachtet der suffizienten Analgesie kommt es bei der ISB fast immer zur akzessorischen Blockade des Nervus phrenicus mit konsekutiver Lähmung des Zwerchfells sowie zu einer motorischen Blockade der betroffenen Extremität. Eine nebenwirkungsärmere Alternative könnte die ultraschallgestützte anteriore Blockade des Nervus suprascapularis (NSSB) darstellen.

Methoden

55 für eine ambulante arthroskopische Schulteroperation vorgesehene Patienten wurden nach dem Zufallsprinzip der Gruppe ISB oder NSSB zugeteilt. Für beide Verfahren wurden jeweils 10 ml 1 %iges Ropivacain verwendet. Primärer Endpunkt war die prozentuale Lungenventilation auf der zu operierenden Seite, welche mittels Elektrischer Impedanz-Tomographie (EIT) gemessen wurde. Zur Beurteilung der hemidiaphragmatischen Parese erfolgte zusätzlich die sonographische Darstellung des Zwerchfells auf der ipsilateralen Seite im M-Mode. Als sekundäre Endpunkte wurden der postoperative Schmerzmittelverbrauch, Schmerz-Scores, die Handkraft, die sensorische Blockade der Hand sowie die Patientenzufriedenheit untersucht.

Ergebnisse

Insgesamt konnten die Daten von 48 Patienten analysiert (24 NSSB, 24 ISB, durchschnittliches Alter 51 Jahre, 22 Frauen, 26 Männer) werden. Technische Probleme bei der Durchführung der EIT-Messung sowie die fehlerhafte Aufzeichnung der EIT-Daten führten zum Ausschluss von 7 Patienten. Vor der Nervenblockade wurde die zu untersuchende Lungenhälfte mit durchschnittlich 51 % des gesamten Lungenvolumens belüftet. Postoperativ fielen die Werte auf 34 % (NSSB) vs. 10 % (ISB) ab, dies entsprach einer Differenz von 23 % (95 % KI = 13 bis 34 %, $p < 0,001$). Eine Zwerchfellparese wurde bei 21 % (NSSB) vs. 88 % (ISB) der Patienten nachgewiesen ($p < 0,001$). Die Handkraft war bei der NSSB um 11,2 kg (95 % KI = 3,6 bis 18,9 kg, $p = 0,0024$) höher und eine eingeschränkte Sensorik der Hand wurde bei 0 % (NSSB) vs. 46 % (ISB) der Patienten beobachtet ($p < 0,001$). Die angegebenen Schmerzen waren in den ersten 6 h nach der Operation in beiden Gruppen niedrig, mit leichtem Vorteil zugunsten der ISB. Hinsichtlich des postoperativen Opioid-Verbrauchs und der Patientenzufriedenheit zeigten sich keine signifikanten Unterschiede.

Schlussfolgerung

Die anteriore Blockade des Nervus suprascapularis führt zu einer weniger ausgeprägten postoperativen Ventilationseinschränkung und geht seltener mit einer Parese des Zwerchfells einher. In Bezug auf Analgesie, Schmerzmittelverbrauch und Patientenkomfort ist sie der Interscalenären Blockade gleichwertig.

Literaturverzeichnis

1. Capdevila X, Barthelet Y, Biboulet P, Ryckwaert Y, Rubenovitch J, d'Athis F. Effects of Perioperative Analgesic Technique on the Surgical Outcome and Duration of Rehabilitation after Major Knee Surgery. *Anesthesiology*. 1999 Jul 1;91(1).
2. Heinz L. S3 Leitlinie „Behandlung akuter perioperativer und posttraumatischer Schmerzen“. AWMF-Leitlinien-Register. 2009;1–376.
3. Heller R, Nollert U, Entholzner E. Anästhesie bei ambulanten Patienten. *Anaesthesist*. 2009;58(4):421–34.
4. Ambulante Operationen nach 115 b SGB V im Krankenhaus bei Versicherten der gesetzlichen Krankenversicherung Leistungsfälle [Internet]. [cited 2020 Sep 30]. Available from: http://www.gbe-bund.de/oowa921-install/servlet/oowa/aw92/dboowasys921.xwdevkit/xwd_init?gbe.isgbetol/xs_start_neu/&p_aid=i&p_aid=97494377&nummer=295&p_sprache=D&p_indsp=-&p_aid=83754639
5. Schwemmer U, Greim CA, Boehm TD, Papenfuss T, Markus CK, Roewer N, et al. Perioperative Schmerzbehandlung in der Schulterchirurgie. *Der Schmerz*. 2004 Mar 19;18(6):475–80.
6. Borgeat A, Ekatothramis G. Anaesthesia for shoulder surgery. *Best practice & research Clinical anaesthesiology*. 2002 Jun;16(2):211–25.
7. Watcha MF, White PF. Postoperative nausea and vomiting. Its etiology, treatment, and prevention. *Anesthesiology*. 1992 Jul;77(1):162–84.
8. Urmev WF, Talts KH, Sharrock NE. One hundred percent incidence of hemidiaphragmatic paresis associated with interscalene brachial plexus anesthesia as diagnosed by ultrasonography. *Anesthesia and analgesia*. 1991;72(4):498–503.
9. Tran DQH, Elgueta MF, Aliste J, Finlayson RJ. Diaphragm-Sparing Nerve Blocks for Shoulder Surgery. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*. 2017;42(1):32–8.
10. Marty P, Ferré F, Basset B, Marquis C, Bataille B, Chaubard M, et al. Diaphragmatic paralysis in obese patients in arthroscopic shoulder surgery: consequences and causes. *Journal of Anesthesia*. 2018 Jun 6;32(3):333–40.
11. Wiegel M, Moriggl B, Schwarzkopf P, Petroff D, Reske AW. Anterior Suprascapular Nerve Block Versus Interscalene Brachial Plexus Block for Shoulder Surgery in the Outpatient Setting. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*. 2017;42(3):310–8.
12. Abdallah FW, Wijesundera DN, Laupacis A, Brull R, Mocon A, Hussain N, et al. Subomohyoid Anterior Suprascapular Block versus Interscalene Block for Arthroscopic Shoulder Surgery. *Anesthesiology*. 2020 Apr;132(4):839–53.

13. Tillmann BN. Atlas der Anatomie des Menschen. 2. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2010. (Springer-Lehrbuch).
14. Braun T, Dettmer U, Folkerts M, Meny I, Jakab M, Schmidt S, et al. Das Physikum. 2. Auflage. Buchta M, Sönnichsen A, editors. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2010.
15. Drake RL, Vogl AW, Mitchell AWM. Gray's Anatomie für Studenten. 1. Auflage. Paulsen F, editor. München, Jena: Elsevier, Urban & Fischer; 2013.
16. Netter, Frank H.; Mühlbauer R. Netter Atlas der Anatomie. 5. Auflage. München: Elsevier Urban & Fischer; 2011.
17. Lee HY, Chung IH, Sir WS, Kang HS, Lee HS, Ko JS, et al. Variations of the ventral rami of the brachial plexus. *Journal of Korean Medical Science*. 1992;7(1):19–24.
18. Ajmani ML. The cutaneous branch of the human suprascapular nerve. *Journal of anatomy*. 1994 Oct;185:439–42.
19. Chan C, Peng PWH. Suprascapular Nerve Block. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*. 2011 Jul 30;36(4):358–73.
20. Bunker TD, Wallace WA. Schulterarthroskopie. In: Imhoff AB, editor. *Schulterarthroskopie*. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 1992. p. 9–24.
21. Meier G, Bauereis C, Maurer H. Die kontinuierliche Nervus-suprascapularis-Blockade zur Schmerztherapie der Schulter. *Der Anaesthesist*. 2002 Sep 17;51(9):747–53.
22. Meier G, Bauereis Ch, Maurer H, Meier Th. Interskalenäre Plexusblockade. Anatomische Voraussetzungen – anästhesiologische und operative Aspekte. *Der Anaesthesist*. 2001 May 14;50(5):333–41.
23. Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, et al. Anatomie. In: Aumüller G, Aust G, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, et al., editors. *Duale Reihe*. 3. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2014.
24. Hilton J. On the influence of mechanical and physiological rest in the treatment of accidents and surgical diseases, and the diagnostic value of pain. London: Bell and Daldy; 1863.
25. Lichtenberg S, Habermeyer P. Nervenkompressionssyndrome der Schulter. *Der Orthopäde*. 2011 Jan 19;40(1):70–8.
26. Keys TE. The history of surgical anesthesia. 1945th ed. Park Ridge, Illinois: Wood Library - Museum of Anesthesiology; 1996. 193.
27. Raymond Fink B. Leaves and Needles: The Introduction of Surgical Local Anesthesia. *Bulletin of Anesthesia History*. 2001 Jan 1;19(1):7–11.
28. López-Valverde A, de Vicente J, Cutando A. The surgeons Halsted and Hall, cocaine and the discovery of dental anaesthesia by nerve blocking. *BDJ*. 2011 Nov 25;211(10):485–7.

29. Aken H van, Wulf H. Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie. 3. Auflage. van Aken H, Wulf H, Niesel HC, editors. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2010.
30. Hirschel G. Die Anästhesierung des Plexus brachialis bei Operationen an der oberen Extremität. Muenchener Medizinische Wochenschrift. 1911;29:1555–6.
31. Kulenkampff D. Die Anästhesierung des Plexus brachialis. Zentralblatt für Chirurgie. 1911;38(40):1337–40.
32. Larsen R. Anästhesie. 10th ed. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2013.
33. Schulte J, Bause H, Kochs E, Scholz J, Standl T, Werner C, et al. Anästhesie. In: am Esch JS, Bause H, Kochs E, Scholz J, Standl T, Werner C, et al., editors. Duale Reihe. 4. Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2011.
34. Moore DC. No paresthesias-no anesthesia, the nerve stimulator or neither? Regional Anesthesia. 1997;22(4):388–90.
35. Perthes G. Ueber Leitungsanästhesie unter Zuhilfenahme elektrischer Reizung. Münchener medizinische Wochenschrift: MMW; Organ für amtliche und praktische Ärzte. 1912 Nov;47(59):2545–51.
36. Selander D, Dhunér KG, Lundborg G. Peripheral nerve injury due to injection needles used for regional anesthesia. Acta anaesthesiologica Scandinavica. 1977;21(3):182–8.
37. Selander D, Edshage S, Wolff T. Paresthesiae or no paresthesiae? Acta anaesthesiologica Scandinavica. 1979 Feb;23(1):27–33.
38. Fornage BD. Peripheral Nerves of the Extremities: Imaging with US. Radiology. 1988 Apr;167(1):179–82.
39. Silvestri E, Martinoli C, Derchi LE, Bertolotto M, Chiaramondia M, Rosenberg I. Echotexture of peripheral nerves: correlation between US and histologic findings and criteria to differentiate tendons. Radiology. 1995 Oct;197(1):291–6.
40. Koscielniak-Nielsen ZJ, Stens-Pedersen HL, Lippert FK. Readiness for surgery after axillary block: Single or multiple injection techniques. Vol. 14, European Journal of Anaesthesiology. 1997.
41. Bhatia A, Lai J, Chan VW, Brull R. Pneumothorax as a Complication of the Ultrasound-Guided Supraclavicular Approach for Brachial Plexus Block. Anesthesia & Analgesia. 2010 Sep;111(3):817–9.
42. Mariano ER, Sandhu NS, Loland VJ, Bishop ML, Madison SJ, Abrams RA, et al. A Randomized Comparison of Infraclavicular and Supraclavicular Continuous Peripheral Nerve Blocks for Postoperative Analgesia. Regional Anesthesia and Pain Medicine. 2011 Jan;36(1):26–31.

43. Kilka H-G, Geiger P, Mehrkens H-H. Die vertikale infraklavikuläre Blockade des Plexus brachialis Eine neue Methode zur Anästhesie der oberen Extremität. *Der Anaesthesist*. 1995 May 1;44(5):339–44.
44. Neuburger M, Kaiser H, Rembold-Schuster I, Landes H. Vertikale infraklavikuläre Plexus-brachialis-Blockade. *Der Anaesthesist*. 1998 Jul 29;47(7):595–9.
45. Winnie AP. Interscalene brachial plexus block. *Anesthesia and analgesia*. 1961;49(3):455–66.
46. Hofmann–Kiefer K, Jacob M, Rehm M, Lang P. Möglichkeiten und Grenzen der interskalenären Blockade. *AINS - Anästhesiologie · Intensivmedizin · Notfallmedizin · Schmerztherapie*. 2009 Jul 23;44(07/08):522–9.
47. Meier G, Bauereis Ch, Heinrich Ch. Der interskalenäre Plexuskatheter zur Anästhesie und postoperativen Schmerztherapie. *Der Anaesthesist*. 1997 Aug 25;46(8):715–9.
48. Silverstein W. Interscalene block with a nerve stimulator: A deltoid motor response is a satisfactory endpoint for successful block. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*. 2000 Jul;25(4):356–9.
49. Meier G. Atlas der peripheren Regionalanästhesie (2013; Aufl. 3). 2013.
50. Pippa P CEMC. Brachial plexus block using the posterior approach. *Eur J Anaesth*. 1990;7(5):411–20.
51. Davis JJ, Swenson JD, Greis PE, Burks RT, Tashjian RZ. Interscalene block for postoperative analgesia using only ultrasound guidance: the outcome in 200 patients. *Journal of Clinical Anesthesia*. 2009;21(4):272–7.
52. Kempen PM, O'Donnell J, Lawler R, Mantha V. Acute respiratory insufficiency during interscalene plexus block. *Anesthesia and analgesia*. 2000 Jun;90(6):1415–6.
53. Richad P. Dutton MD. Dutton_Total Spinal Anesthesia After Interscalene Blockade of the Brachial Plexus. *Anesthesiology*. 1994;80(4):939–41.
54. Passannante AN. Spinal Anesthesia and Permanent Neurologic Deficit After Interscalene Block. *Anesthesia & Analgesia*. 1996 Apr;82(4):873–4.
55. Korman B, Riley RH. Convulsions Induced by Ropivacaine During Interscalene Brachial Plexus Block. *Anesthesia & Analgesia*. 1997 Nov;85(5).
56. Borgeat A, EkatoDRAMIS G, Kalberer F, Benz C. Acute and nonacute complications associated with interscalene block and shoulder surgery: a prospective study. *Anesthesiology*. 2001 Oct;95(4):875–80.
57. Bishop JY, Sprague M, Gelber J, Krol M, Rosenblatt M a, Gladstone J, et al. Interscalene regional anesthesia for shoulder surgery. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2005;87(5):974–9.

58. Dullenkopf A, Zingg P, Curt A, Borgeat A. Funktionsverlust der oberen Extremität nach Bankart-Schulteroperation unter Interscalenus- Blockade und Allgemeinanästhesie. *Der Anaesthesist*. 2002 Jul 30;51(7):547–51.
59. Wertheim HM, Rovenstine EA. Suprascapular nerve block. *Anesthesiology*. 1941;2:541–5.
60. Greenblatt GM, Denson JS. Needle Nerve Stimulator-Locator: Nerve blocks with a new instrument for locating nerves. *Anesthesia & Analgesia*. 1962;41(5):599–602.
61. Parris WC. Suprascapular nerve block: a safer technique. *Anesthesiology*. 1990 Mar;72(3):580–1.
62. Dangoisse MJ, Wilson DJ, Glynn CJ. MRI and clinical study of an easy and safe technique of suprascapular nerve blockade. *Acta anaesthesiologica Belgica*. 1994;45(2):49–54.
63. Breen TW, Haigh JD. Continuous suprascapular nerve block for analgesia of scapular fracture. *Canadian journal of anaesthesia/Journal canadien d’anesthésie*. 1990;37(7):786–8.
64. Wassef MR. Suprascapular nerve block: A new approach for the management of frozen shoulder. *Anaesthesia*. 1992;47(2):120–4.
65. Siegenthaler A, Moriggl B, Mlekusch S, Schliessbach J, Haug M, Curatolo M, et al. Ultrasound-Guided Suprascapular Nerve Block, Description of a Novel Supraclavicular Approach. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*. 2012;37(3):325–8.
66. Milowsky J, Rovenstine EA. Suprascapular nerve block; evaluation in the therapy of shoulder pain. *Anesthesiology*. 1949 Jan;10(1):76–81.
67. Frerichs I, Amato MBP, van Kaam AH, Tingay DG, Zhao Z, Grychtol B, et al. Chest electrical impedance tomography examination, data analysis, terminology, clinical use and recommendations: consensus statement of the TRanslational EIT developmeNt stuDy group. *Thorax*. 2017;72(1):83–93.
68. Barber D. C. BBH. Applied potential tomography. *Journal of physics*. 1984;17:723–33.
69. Hammermüller S, Waldmann AD, Böhm SH. Möglichkeiten und Grenzen der modernen elektrischen Impedanztomografie (EIT). In: *Intensivmedizin, Kompendium und Repetitorium zur interdisziplinären Weiter- und Fortbildung*. 74th ed. Landsberg/Lech: Eckart, Joachim; 2012. p. 1–19.
70. Costa EL v, Chaves CN, Gomes S, Beraldo MA, Volpe MS, Tucci MR, et al. Real-time detection of pneumothorax using electrical impedance tomography. *Critical care medicine*. 2008 Apr;36(4):1230–8.

83. Büttner B, Mansur A, Hinz J, Erlenwein J, Bauer M, Bergmann I. Combination of general anesthesia and peripheral nerve block with low-dose ropivacaine reduces postoperative pain for several days after outpatient arthroscopy. *Medicine*. 2017 Feb;96(6):e6046.
84. Costa EL v, Lima RG, Amato MBP. Electrical impedance tomography. Current opinion in critical care. 2009 Feb;15(1):18–24.
85. Wiegel M, Hammermüller S, Wrigge H, Reske AW. Electrical Impedance Tomography Visualizes Impaired Ventilation Due to Hemidiaphragmatic Paresis after Interscalene Brachial Plexus Block. *Anesthesiology*. 2016 Oct;125(4):807.
86. Institut für Medizinische Informatik, Statistik und Dokumentation : Medizinische Universität Graz [Internet]. [cited 2020 Sep 30]. Available from: <https://www.medunigraz.at/imi/de/index.php>
87. Randomizer: A Randomization (Randomisation) Service for Multicenter Clinical Trials [Internet]. [cited 2020 Sep 30]. Available from: <https://www.randomizer.at/>
88. Schlimp C, Kietaihl S, Gerinnung APG der Ö. Empfehlung der Arbeitsgruppe Perioperative Gerinnung der ÖGARI zum Thema : Regionalanästhesie unter gerinnungshemmender Medikation. 2016. p. 1–8.
89. ASA Physical Status Classification System | American Society of Anesthesiologists (ASA) [Internet]. [cited 2020 Sep 30]. Available from: <https://www.asahq.org/standards-and-guidelines/asa-physical-status-classification-system>
90. Vescia F, Beck G, Deja M, Hofer H, Iber T, Komar H, et al. Empfehlungen Mindestanforderungen an den anästhesiologischen Arbeitsplatz *. *Anästhesiologie & Intensivmedizin*. 2013;54:39–42.
91. Steinfeldt T. Periphere Blockaden der oberen Extremität – Vorgehensweise Landmarkengestützter und Ultraschall-gesteuerter Verfahren. *Anästhesiologie & Intensivmedizin*. 2015;56:244–52.
92. Hawker GA, Mian S, Kendzerska T, French M. Measures of adult pain: Visual Analog Scale for Pain (VAS Pain), Numeric Rating Scale for Pain (NRS Pain), McGill Pain Questionnaire (MPQ), Short-Form McGill Pain Questionnaire (SF-MPQ), Chronic Pain Grade Scale (CPGS), Short Form-36 Bodily Pain Scale (SF. *Arthritis Care & Research*. 2011 Nov;63(S11):S240–52.
93. Breivik H, Borchgrevink PC, Allen SM, Rosseland LA, Romundstad L, Hals EKB, et al. Assessment of pain. *British journal of anaesthesia*. 2008 Jul;101(1):17–24.

94. Gerscovich EO, Cronan M, McGahan JP, Jain K, Jones CD, McDonald C. Ultrasonographic evaluation of diaphragmatic motion. *Journal of ultrasound in medicine : official journal of the American Institute of Ultrasound in Medicine*. 2001 Jun;20(6):597–604.
95. Lloyd T, Tang Y-M, Benson MD, King S. Diaphragmatic paralysis: the use of M mode ultrasound for diagnosis in adults. *Spinal Cord*. 2006 Aug 6;44(8):505–8.
96. R: The R Project for Statistical Computing [Internet]. [cited 2021 Jan 20]. Available from: <https://www.r-project.org/>
97. Westfall PH. Multiple Testing of General Contrasts Using Logical Constraints and Correlations. *Journal of the American Statistical Association*. 1997 Mar;92(437):299.
98. Calvo E, Torres MD, Morcillo D, Leal V. Rotator cuff repair is more painful than other arthroscopic shoulder procedures. *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery*. 2019 May 17;139(5):669–74.
99. DIMDI - ICD-10-GM Version 2018 [Internet]. [cited 2020 Sep 30]. Available from: <https://www.dimdi.de/static/de/klassifikationen/icd/icd-10-gm/kode-suche/htmlgm2018/>
100. DIMDI - OPS Version 2019 [Internet]. [cited 2020 Sep 30]. Available from: <https://www.dimdi.de/static/de/klassifikationen/ops/kode-suche/opshtml2019/>
101. Harris RS, Giovannetti M, Kim BK. Normal ventilatory movement of the right hemidiaphragm studied by ultrasonography and pneumotachography. *Radiology*. 1983 Jan;146(1):141–4.
102. Edwards JE, McQuay HJ, Moore RA. Single dose dihydrocodeine for acute postoperative pain. *The Cochrane database of systematic reviews*. 2000 Apr 24;(4):CD002760.
103. Vester-Andersen T, Christiansen C, Hansen A, Sørensen M, Meisler C. Interscalene brachial plexus block: area of analgesia, complications and blood concentrations of local anesthetics. *Acta anaesthesiologica Scandinavica*. 1981 Apr;25(2):81–4.
104. Koczulla AR. Differenzialdiagnose Dyspnoe. *Der Internist*. 2007 Dec 16;48(12):1389–400.
105. Reifferscheid F, Elke G, Pulletz S, Gawelczyk B, Lautenschläger I, Steinfath M, et al. Regional ventilation distribution determined by electrical impedance tomography: reproducibility and effects of posture and chest plane. *Respirology (Carlton, Vic)*. 2011 Apr;16(3):523–31.

106. Victorino JA, Borges JB, Okamoto VN, Matos GFJ, Tucci MR, Caramez MPR, et al. Imbalances in regional lung ventilation: a validation study on electrical impedance tomography. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 2004 Apr 1;169(7):791–800.
107. Cammu G, de Witte J, de Veylder J, Byttebier G, Vandeput D, Foubert L, et al. Postoperative Residual Paralysis in Outpatients Versus Inpatients. *Anesthesia & Analgesia*. 2006 Feb;102(2).
108. Gray AT. Ultrasound-guided Regional Anesthesia. *Anesthesiology*. 2006 Feb;104(2):368–73.
109. Nason LK, Walker CM, McNeeley MF, Burivong W, Fligner CL, Godwin JD. Imaging of the Diaphragm: Anatomy and Function. *RadioGraphics*. 2012 Mar;32(2):E51–70.
110. Lee J-H, Cho S-H, Kim S-H, Chae W-S, Jin H-C, Lee J-S, et al. Ropivacaine for ultrasound-guided interscalene block: 5 ml provides similar analgesia but less phrenic nerve paralysis than 10 ml. *Canadian Journal of Anesthesia/Journal canadien d'anesthésie*. 2011 Nov 20;58(11):1001–6.
111. Wong AK, Keeney LG, Chen L, Williams R, Liu J, Elkassabany NM. Effect of Local Anesthetic Concentration (0.2% vs 0.1% Ropivacaine) on Pulmonary Function, and Analgesia After Ultrasound-Guided Interscalene Brachial Plexus Block: A Randomized Controlled Study. *Pain medicine (Malden, Mass)*. 2016;17(12):2397–403.
112. Thackeray EM, Swenson JD, Gertsch MC, Phillips KM, Steele JW, Burks RT, et al. Diaphragm function after interscalene brachial plexus block: a double-blind, randomized comparison of 0.25% and 0.125% bupivacaine. *Journal of shoulder and elbow surgery*. 2013 Mar;22(3):381–6.
113. Renes SH, Rettig HC, Gielen MJ, Wilder-Smith OH, van Geffen GJ. Ultrasound-guided low-dose interscalene brachial plexus block reduces the incidence of hemidiaphragmatic paresis. *Regional anesthesia and pain medicine*. 2009;34(5):498–502.
114. Kessler J, Schafhalter-Zoppoth I, Gray AT. An ultrasound study of the phrenic nerve in the posterior cervical triangle: implications for the interscalene brachial plexus block. *Regional anesthesia and pain medicine*. 2008;33(6):545–50.
115. El-Boghdadly K, Chin KJ, Chan VWS. Phrenic Nerve Palsy and Regional Anesthesia for Shoulder Surgery. *Anesthesiology*. 2017 Jul;127(1):173–91.
116. Verelst P, van Zundert A. Respiratory impact of analgesic strategies for shoulder surgery. *Regional anesthesia and pain medicine*. 2013;38(1):50–3.

117. Auyong DB, Yuan SC, Choi DS, Pahang JA, Slee AE, Hanson NA. A Double-Blind Randomized Comparison of Continuous Interscalene, Supraclavicular, and Suprascapular Blocks for Total Shoulder Arthroplasty. *Regional anesthesia and pain medicine*. 2017 Mar 8;42(3):1.
118. Sehmbi H, Johnson M, Dhir S. Ultrasound-guided subomohyoid suprascapular nerve block and phrenic nerve involvement: a cadaveric dye study. *Regional Anesthesia & Pain Medicine*. 2019 May;44(5):561–4.
119. Hussain N, Goldar G, Ragina N, Banfield L, Laffey JG, Abdallah FW. Suprascapular and Interscalene Nerve Block for Shoulder Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *Anesthesiology*. 2017;127(6):998–1013.
120. Desroches A, Klouche S, Schlur C, Bauer T, Waitzenegger T, Hardy P. Suprascapular Nerve Block Versus Interscalene Block as Analgesia After Arthroscopic Rotator Cuff Repair: A Randomized Controlled Noninferiority Trial. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2016;32(11):2203–9.
121. Neuts A, Stessel B, Wouters PF, Dierickx C, Cools W, Ory J-P, et al. Selective Suprascapular and Axillary Nerve Block Versus Interscalene Plexus Block for Pain Control After Arthroscopic Shoulder Surgery. *Regional Anesthesia and Pain Medicine*. 2018 Oct;43(7):738–44.
122. Chung F, Ritchie E, Su J. Postoperative Pain in Ambulatory Surgery. *Anesthesia & Analgesia*. 1997 Oct;85(4):808–16.
123. Kopp SL, Horlocker TT. Regional anaesthesia in day-stay and short-stay surgery. *Anaesthesia*. 2010 Apr;65 Suppl 1:84–96.
124. Liu SS, Strodtbeck WM, Richman JM, Wu CL. A comparison of regional versus general anesthesia for ambulatory anesthesia: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Anesthesia and analgesia*. 2005 Dec;101(6):1634–42.
125. Klein SM, Buckenmaier CC. Ambulatory surgery with long acting regional anesthesia. *Minerva anesthesiologica*. 2002 Nov;68(11):833–41; 841–7.
126. Klein SM, Nielsen KC, Greengrass RA, Warner DS, Martin A, Steele SM. Ambulatory discharge after long-acting peripheral nerve blockade: 2382 blocks with ropivacaine. *Anesthesia and analgesia*. 2002 Jan;94(1):65–70, table of contents.
127. Konradsen L, Kirkegaard P.R, Larsen V.H, Blønd L. Suprascapular Nerve Block or Interscalene Brachial Plexus Block for Pain Relief after Arthroscopic Acromioplasty. *Ambulatory Surgery*. 2009 Apr;15(1):16–9.
128. Ekatothramis G, Macaire P, Borgeat A. Prolonged Horner syndrome due to neck hematoma after continuous interscalene block. *Anesthesiology*. 2001 Sep;95(3):801–3.

129. Meier G, Bauereis Ch, Maurer H, Meier Th. Interskalenäre Plexusblockade. *Der Anaesthesist*. 2001 May 14;50(5):333–41.
130. Petroff D, Wiegel M, Pech V, Salz P, Mrongowius J, Reske AW. Differential lung ventilation assessed by electrical impedance tomography in ultrasound-guided anterior suprascapular nerve block vs. interscalene brachial plexus block. *European Journal of Anaesthesiology*. 2020 Dec;37(12):1105–14.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Anatomie des Schultergelenks, Ansicht von ventral (mod. nach Netter 2011(16))	5
Abbildung 2:	Schematische Darstellung des Plexus brachialis dextra (mod. nach Netter 2011 (16))	6
Abbildung 3:	Anatomisches Präparat der Regio colli dextra.1. Clavicula; 2. Cervicale Halsfaszie (prätrachealer Anteil); 3. M. sternocleidomastoideus (hochgeklappt); 4. M. omohyoideus; 5. Plexus brachialis; 6. N. suprascapularis (Punktionsstelle); mit freundlicher Genehmigung durch Dr. med. Martin Wiegel und PD Dr. med. Sabine Löffler	10
Abbildung 4:	Landmarkenorientierte Blockadetechnik nach Meier, Nadelführung und Punktionsstelle im Bereich der Scalenuslücke (mod. nach Meier et al. 2013 (49))	18
Abbildung 5:	Anteriore Punktionsorientierung nach Siegenthaler und Kollegen, Punktionsstelle in der Mitte des Schallkopfes, mit freundlicher Genehmigung durch Dr. med. Martin Wiegel	24
Abbildung 6:	Screenshot des EIT-Bildschirms: Patientendaten, gewählte Gurtgröße, Aufzeichnungsqualität sowie Ventilation beider Lungenflügel (blau), eigene Aufnahme	27
Abbildung 7:	Entwicklung ambulant durchgeführter Eingriffe. Trend von 2002 bis 2017 nach Gesundheitsberichterstattung des Bundes (4)	29
Abbildung 8:	Punktionsprozedere ISB während der Studie mit sonographischem Korrelat (links: 1: M. scalenus anterior, 2: M. scalenus medius; rechts: Pfeil: Spinalnerven der Wurzel C5 und C6), eigene Aufnahme	38
Abbildung 9:	Punktionsprozedere NSSB während der Studie mit sonographischem Korrelat (links: 1: M. omohyoideus; rechts: 1: M. omohyoideus, 2: Clavículaschatten, Pfeil: N. suprascapularis), eigene Aufnahme	40
Abbildung 10:	Standardisierter Ablauf zur postoperativen Schmerztherapie. Algorithmus bei ambulant durchgeführten Schulterarthroskopien, eigene Darstellung	41
Abbildung 11:	Typischer Aufbau zur Untersuchung der Probanden, eigene Aufnahme	42
Abbildung 12:	Position des Abdomenschallkopfes zur Messung der rechtsseitigen Zwerchfellbeweglichkeit, eigene Aufnahme	43
Abbildung 13:	Darstellung der rechtsseitigen Zwerchfellbeweglichkeit im M-Mode: rechts normale Amplitudenauslenkung mit 4,5 cm, links Auslenkung < 1cm und somit Vorliegen einer Zwerchfellparese, eigene Aufnahme	44
Abbildung 14:	Flussdiagramm zum Ablauf der Studie	49
Abbildung 15:	Vergleich der beiden Blockadetechniken NSSB (N. suprascapularis Blockade, blaue Rauten) und ISB (Interscalenäre Blockade, rote Dreiecke) hinsichtlich der Lungenventilation der operierten Seite in Prozent zu den erhobenen Messzeitpunkten. Die	

	Messung der Lungenventilation erfolgte mittels EIT. Darstellung der Daten als Mittelwerte \pm Standardabweichung. P-Werte wie angegeben	57
Abbildung 16:	Beispielhafte Darstellung der Lungenventilation eines Patienten in der EIT	57
Abbildung 17:	Beispielhafte Darstellung der Tidalvolumina in % im Seitenvergleich vor (a) und nach (b) ISB rechts in der EIT. ROI = Region of interest, die farbigen Areale kennzeichnen die Verteilung von ventral (oben) nach dorsal, eigene Aufnahme	58
Abbildung 18:	Vergleich der beiden Blockadetechniken NSSB (N. suprascapularis Blockade, blaue Rauten) und ISB (Interscalenäre Blockade, rote Dreiecke) hinsichtlich Zwerchfellbewegung der operierten Seite in cm zu den erhobenen Messzeitpunkten. Die Messung der Zwerchfellbewegung erfolgte mittels Sonographie. Darstellung der Daten als Mittelwerte \pm Standardabweichung. P-Werte wie angegeben	59
Abbildung 19:	Vergleich und zeitlicher Verlauf der beiden Blockadetechniken NSSB (N. suprascapularis Blockade, blaue Rauten) und ISB (Interscalenäre Blockade, rote Dreiecke) hinsichtlich der angegebenen Schmerzintensität nach NRS zu den jeweiligen Messzeitpunkten. Darstellung der Daten als Mittelwerte \pm Standardabweichung. P-Werte wie angegeben	61
Abbildung 20:	Opioid-Verbrauch im Aufwachraum im Vergleich beider Gruppen (Anzahl der Patienten; ISB n = 24, NSSB n = 24)	62
Abbildung 21:	Vergleich und zeitlicher Verlauf der beiden Blockadetechniken NSSB (N. suprascapularis Blockade, blaue Rauten) und ISB (Interscalenäre Blockade, rote Dreiecke) hinsichtlich der gemessenen Handkraft zu den jeweiligen Messzeitpunkten. Darstellung der Daten als Mittelwerte \pm Standardabweichung. P-Werte wie angegeben	63
Abbildung 22:	Sensorische Blockade der Hand im Vergleich beider Gruppen (Anzahl der Patienten; ISB n = 24, NSSB n = 24; p < 0,001)	64
Abbildung 23:	Zufriedenheit der Patienten für das verwendete Blockadeverfahren im Vergleich beider Gruppen (Anzahl der Patienten; ISB n = 24, NSSB n = 24; p = 0,76)	67
Abbildung 24:	Häufigkeit der erneuten Entscheidung für das verwendete Blockadeverfahren im Vergleich beider Gruppen (Anzahl der Patienten; ISB n = 24, NSSB n = 24; p = 0,5)	67
Abbildung 25:	CRF-Bogen zur Erhebung der Patientendaten, welcher parallel digital zu den Messzeitpunkten vom Studienarzt ausgefüllt wurde	96

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Nerven der Pars supraclavicularis (13)	7
Tabelle 2:	Nerven der Pars infraclavicularis (13)	8
Tabelle 3:	Vergleich der Nervenlokalisationsverfahren	15
Tabelle 4:	Indikationen für die NSSB	25
Tabelle 5:	Vorteile und Einschränkungen der EIT'	28
Tabelle 6:	Voraussetzungen für eine ambulante Operation	31
Tabelle 7:	Einteilung der Patientengruppen	35
Tabelle 8:	ASA Physical Status Classification System (89)	36
Tabelle 9:	Übersicht demographische Daten (Werte als Mittelwerte \pm Standardabweichung oder in %)	50
Tabelle 10:	Indikationsdiagnosen für die Schulterarthroskopie mit ICD 10 Code (n = Anzahl der Patienten, % = Anteil in Prozent)	51
Tabelle 11:	Komorbiditäten (n = Anzahl der Patienten, % = Anteil in Prozent)	52
Tabelle 12:	OP- Daten mit OPS Code (Werte als Mittelwerte \pm Standardabweichung oder in %)	53
Tabelle 13:	Anästhesieverfahren und intraoperative Medikation (Werte als Mittelwerte \pm Standardabweichung oder in %)	54
Tabelle 14:	Punktionsdaten (Werte als Mittelwerte \pm Standardabweichung oder in %)	55
Tabelle 15:	Messwerte der Zwerchfellsonographie (Werte als Mittelwerte \pm Standardabweichung in [cm])	60
Tabelle 16:	Nebenwirkungen (n = Anzahl der Patienten und % = Anteil in Prozent, Dyspnoe in Anlehnung an die ATS Scale)	65
Tabelle 17:	Blockadeassoziierte Komplikationen (n = Anzahl der Patienten und % = Anteil in Prozent)	66

Anhang

Version 1.1 Mai 2017

CRF | NSSB vs. ISB - EIT

Name, Vorname, geb. Datum:

--	--	--

Einschlusskriterien (= ja)

- | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|--|
| <input type="checkbox"/> ja | Arthroskopische Schulteroperationen | <input type="checkbox"/> nein | Zustimmung der Patienten |
| <input type="checkbox"/> ja | Patienten der ASA Klassen 1 bis 3 | <input type="checkbox"/> nein | Alter > 18 Jahre |
| <input type="checkbox"/> ja | Operation unter Allgemeinanästhesie | <input type="checkbox"/> nein | Konsens mit den Richtlinien perioperativer Gerinnung |

Ausschlusskriterien (= nein)

- | | | | |
|-------------------------------|---|-------------------------------|--------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> nein | Offene Operationen der Schulter | <input type="checkbox"/> nein | Allergien gegen Lokalanästhetika |
| <input type="checkbox"/> nein | Adipositas p.m. (BMI > 35) | <input type="checkbox"/> nein | Schwangerschaft |
| <input type="checkbox"/> nein | Bekannte Zwerchfellerkrankungen | <input type="checkbox"/> nein | Herzschrittmacher- und ICD-Patienten |
| <input type="checkbox"/> nein | Vorbestehende anatomische Deformitäten (z.B. Z.n. Fraktur der Klavikula) | | |
| <input type="checkbox"/> nein | Neuropathie (primär: vererbt; sekundär: entzündlich, autoimmun, metabolisch, toxisch) | | |

Randomisierung (Universität Graz in Österreich (<https://www.randomizer.at>))

- | | | | |
|----|---|--------------------------|--------------------------|
| F1 | ISB (10 ml Ropivacain 1,0%) [ja = 1, nein = 2] | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| F2 | SSNB (10 ml Ropivacain 1,0%) [ja = 1, nein = 2] | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| F3 | Patienten ID (JJJJMMTTa-1, JJJJMMTTm-1; a=ACQ, m=MIO) | | |

Allgemeine- | Demographische- | Baseline - Daten

Präoperativ

- | | | | |
|-------|---|--------------------------|--------------------------|
| F4B/M | Sono Zwerchfell vor Punktion (Baseline) – B Mode [cm] M Mode [cm] | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| F5 | EIT Messung (10 min) vor Punktion (Baseline) [Dateiname = F3-A] | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| F6 | Datum [TT/MM/JJJJ] | <input type="checkbox"/> | |
| F7 | Operateur [Klartext] | <input type="checkbox"/> | |
| F8 | Alter, wie bei Randomisierung [ZE] | <input type="checkbox"/> | |
| F9 | Geschlecht [w = 1; m = 2] | <input type="checkbox"/> | |
| F10 | Größe, wie bei Randomisierung [cm] | <input type="checkbox"/> | |
| F11 | Gewicht [kg] | <input type="checkbox"/> | |
| F12 | ASA Klassifizierung [1 bis 3] | <input type="checkbox"/> | |
| F13 | Indikationsdiagnosen zur OP Klartext | <input type="checkbox"/> | |
| F13a | Indikationsdiagnosen zur OP [OPS Code] | <input type="checkbox"/> | |
| F14 | 1. Nebendiagnose Klartext | <input type="checkbox"/> | |
| F14a | 1. Nebendiagnose [ICD 10 Code] | <input type="checkbox"/> | |
| F15 | 2. Nebendiagnose Klartext | <input type="checkbox"/> | |
| F15a | 2. Nebendiagnose [ICD 10 Code] | <input type="checkbox"/> | |
| F16 | 3. Nebendiagnose Klartext | <input type="checkbox"/> | |
| F16a | 3. Nebendiagnose [ICD 10 Code] | <input type="checkbox"/> | |
| F17 | NRS vor Punktion [0 bis 10] | <input type="checkbox"/> | |
| F18 | Handkraftmessung [kg] | <input type="checkbox"/> | |
| F19 | Voroperationen mit ISB oder NSSB in Anamnese des Patienten [ja = 1, nein = 2] | <input type="checkbox"/> | |
| F20 | Chronischer Schmerzpatient NSAID's oder Opiode > 1 Monat [ja = 1, nein = 2] | <input type="checkbox"/> | |

Punktionsdaten

OP

- | | | | |
|-----|--|--------------------------|--------------------------|
| F21 | Datum [TT/MM/JJJJ] und F21a: Zeit [HH:MM] | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| F22 | Punktionstiefe Nadel von Hautniveau in [cm] | <input type="checkbox"/> | |
| F23 | Punktionsdauer Beginn der Punktion bis Injektion LA in [min] | <input type="checkbox"/> | |
| F24 | Punktionsversuche [n] | <input type="checkbox"/> | |
| F25 | Dosis Analgosedierung mit Sufentanil während der Punktion [µg] | <input type="checkbox"/> | |
| F26 | Eindeutige Darstellung der Nerven sonographisch [ja = 1, nein = 2] | <input type="checkbox"/> | |
| F27 | Schmerzfreie Injektion ohne Parästhesie [ja = 1, nein = 2] | <input type="checkbox"/> | |

Intraoperative Daten		
OP	F28 Anästhesieverfahren [balancierte Anästhesie = 1 TIVA = 2]	<input type="text"/>
	F29 OP Dauer - Erfassung der OP-Dauer SN Zeit [min]	<input type="text"/>
	F30 Opiodverbrauch Sufentanil intraoperativ [µg]	<input type="text"/>
	F31 Perioperative Antibiotikaprophylaxe [ja = 1, nein = 2]	<input type="text"/>
Postoperative Daten (AWR/PACU) – Bezogen auf die Punktion		
PACU und Station	F32B/M Sono Zwerchfell nach OP im AWR/PACU – B Mode [cm] M Mode [cm]	<input type="text"/>
	F33 EIT Messung nach OP im AWR/PACU [Dateiname = F3-B]	<input type="text"/>
	F34 1. Nebenwirkung (HORNER), [wenn = 1; sonst = 0]	0 <input type="text"/>
	F35 2. Nebenwirkung (Heiserkeit), [wenn = 1; sonst = 0]	0 <input type="text"/>
	F36 3. Nebenwirkung (PONV), [wenn = 1; sonst = 0]	0 <input type="text"/>
	F37 Luftnot nach ATS Skala Dyspnoe (0 bis 4)	0 <input type="text"/>
	F38 Andere Komplikationen [wenn = 1; sonst = 0]	0 <input type="text"/>
	F38a Andere Komplikationen Klartext	<input type="text"/>
	F39 Blutung als Komplikation [wenn = 1; sonst = 0]	0 <input type="text"/>
	F40 Hämatom als Komplikation [wenn = 1; sonst = 0]	0 <input type="text"/>
	F41 Pneumthorax (klinisch) als Komplikation [wenn = 1; sonst = 0]	0 <input type="text"/>
	F42 LA-Intoxikation als Komplikation [wenn = 1; sonst = 0]	0 <input type="text"/>
	F43 NRS 10 min nach Ankunft AWR/PACU [0 bis 10]	<input type="text"/>
	F44 NRS 30 min nach Ankunft AWR/PACU [0 bis 10]	<input type="text"/>
	F45 NRS 4h oder bei Entlassung nach Ankunft AWR/PACU [0 bis 10]	<input type="text"/>
	F46 Handkraftmessung 2h nach Ankunft AWR/PACU [kg]	<input type="text"/>
	F47 Verweildauer im Aufwachraum/PACU [min]	<input type="text"/>
F48 Opiodverbrauch (Oxygesic i.v.) im AWR/PACU Summe [mg]	<input type="text"/>	
F49 NSAR Verbrauch bis Entlassung Ibuprofen Summe [mg]	<input type="text"/>	
F50 Bemerkungen <input type="text"/> F50a PONV [j=1, n=2]	2 <input type="text"/>	
1. postoperative Tag		
Nachbefragung	F51B/M Sono Zwerchfell 24 h nach OP (follow up) –B Mode [cm] M Mode [cm]	<input type="text"/>
	F52 EIT Messung (10 min) 24 h nach OP (follow up) [Dateiname = F3-C]	<input type="text"/>
	F53 Blockaderegredienz Datum [TT/MM/JJJJ]	<input type="text"/>
	F54 Blockaderegredienz Zeit [HH.MM]	<input type="text"/>
	F55 Handkraftmessung [kg]	<input type="text"/>
	F56a,b NSAR Verbrauch zu Hause Tilidin [mg] <input type="text"/> u./o. Ibuprofen Summe [mg]	<input type="text"/>
	F57 Wie stark waren Ihre stärksten Schmerzen in den letzten 24h? NRS [0 bis 10]	<input type="text"/>
	F58 Wie stark waren Ihre geringsten Schmerzen in den letzten 24h? NRS [0 bis 10]	<input type="text"/>
	F59 Patientenzufriedenheit als Schmerztherapieverfahren [1 bis 4]	<input type="text"/>
	F60 Patientenzufriedenheit- Erneute Entscheidung für dieses Verfahren [1 bis 4]	<input type="text"/>
	F61 Neurologische Symptomatik [ja = 1, nein = 2]	<input type="text"/>

Appendices:

F37:
 0 - Keine Dyspnoe (Keine Beschwerden beim raschen Gehen in der Ebene oder leichtem Anstieg, außer bei deutlicher körperlicher Anstrengung)
 1 - Milde Dyspnoe (Kurzatmigkeit bei raschem Gehen in der Ebene oder leichtem Anstieg)
 2 - Mäßige Dyspnoe (Kurzatmigkeit. In der Ebene langsamer als Altersgenossen, Pausen zum Atemholen auch bei eigenem Tempo)
 3 - Schwere Dyspnoe (Pausen beim Gehen nach einigen Minuten oder nach etwa 100 m im Schrittempo)
 4 - Sehr schwere Dyspnoe (Zu kurzatmig, um das Haus zu verlassen. Luftnot beim An- und Ausziehen)

F59:
 1 - vollkommen zufrieden, 2 – zufrieden, 3 - unzufrieden, 4 – komplett unzufrieden

F60:
 1 - ja sicher, 2 - wahrscheinlich, 3 - vielleicht, 4 - nein keinesfalls

Datum und Unterschrift:.....

Abbildung 25: CRF-Bogen zur Erhebung der Patientendaten, welcher parallel digital zu den Messzeitpunkten vom Studienarzt ausgefüllt wurde.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne unzulässige Hilfe oder Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Ich versichere, dass Dritte von mir weder unmittelbar noch mittelbar eine Vergütung oder geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen, und dass die vorgelegte Arbeit weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde zum Zweck einer Promotion oder eines anderen Prüfungsverfahrens vorgelegt wurde. Alles aus anderen Quellen und von anderen Personen übernommene Material, das in der Arbeit verwendet wurde oder auf das direkt Bezug genommen wird, wurde als solches kenntlich gemacht. Insbesondere wurden alle Personen genannt, die direkt an der Entstehung der vorliegenden Arbeit beteiligt waren. Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben in Bezug auf die Zulassung der klinischen Studien, die Bestimmungen des Tierschutzgesetzes, die Bestimmungen des Gentechnikgesetzes und die allgemeinen Datenschutzbestimmungen wurden eingehalten. Ich versichere, dass ich die Regelungen der Satzung der Universität Leipzig zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis kenne und eingehalten habe.

.....

Datum:

.....

Unterschrift:

Publikationen

1. Petroff D, Wiegel M, Pech V, Salz P, Mrongowius J, Reske AW. Differential lung ventilation assessed by electrical impedance tomography in ultrasound-guided anterior suprascapular nerve block vs. interscalene brachial plexus block. *European Journal of Anaesthesiology*. 2020 Dec;37(12):1105–14