

Diplomarbeit

**Ultraschallgesteuerte Regionalanästhesie bei
Kindern**

eingereicht von

Gerrit Leopold

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktorin der gesamten Heilkunde

(Dr.ⁱⁿ med.univ.)

an der

Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am

Institut für Pathophysiologie und Immunologie

unter der Anleitung von

Priv Doz. OA Dr. Christian Breschan

und

Assoz. Prof.ⁱⁿ Priv.-Doz.ⁱⁿ Mag.^a Dr.ⁱⁿ Sandra Johanna Wallner- Liebmann

Graz, am 02.05.2016

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am 02.05.2016

Gerrit Leopold, eh.

Zusammenfassung

Diese Arbeit gibt einen Überblick, über die wichtigsten ultraschallgesteuerten Regionalanästhesieverfahren im Kindesalter und deren Durchführung.

Es sind gute anatomische Kenntnisse, über die Lage der gesuchten Nervenstruktur nötig, um eine Darstellung mittels Ultraschall zu erzielen. Nerven zeigen sich im sonographischen Bild als mono- oder polyfaszikuläre Struktur aus echoarmen Nervenfasern und echoreichen Myelinscheiden.

Bei der sonographischen Nadelführung unterscheidet man die Out-of-plane-Technik, bei welcher entlang der kurzen Achse des Schallkopfes punktiert wird, von der In-plane- Technik, wo die Punktion entlang der langen Achse der Ultraschallsonde erfolgt.

Die für die beschriebenen Verfahren verwendeten Lokalanästhetika sind Bupivacain, Levobupivacain und Ropivacain. Diese erfüllen den Anspruch einer langanhaltenden Schmerzausschaltung bei Kindern am besten.

Zu den Besonderheiten bei der Anwendung dieser Verfahren im Kindesalter, zählen die Durchführung in Narkose oder Analgosedierung, die leichtere Blockade der Nerven durch ihre feine Struktur im Kindesalter, der schnellere Wirkeintritt und die längere Wirkdauer der Lokalanästhetika.

Bei der Durchführung aller beschriebenen Verfahren ist auf steriles Arbeiten zu achten. Komplikationen dieser Techniken sind Nervenschäden, die Punktion von Gefäßen mit Einblutungen, Lokalanästhetika- Intoxikationen, anaphylaktische Reaktionen und Infektionen.

Zu den wichtigsten Blockaden der oberen Extremität bei Kindern, zählen die interscalenäre, die supraclaviculäre und die axilläre Blockade des Plexus brachialis. Diese Verfahren werden bei Operationen oder zur postoperativen Analgesie im Versorgungsbereich des Plexus brachialis angewendet.

Die in der Arbeit beschriebenen Blockaden des Plexus lumbosacralis, umfassen jene des N.ilioinguinalis/N. iliohypogastricus, des N. ischiadicus, des N. femoralis und des N. saphenus. Diese Blockaden ermöglichen Anästhesie oder Analgesie im Rahmen von operativen Eingriffen im jeweiligen Versorgungsgebiet. Weitere in

dieser Arbeit beschriebene Regionalanästhesieverfahren sind der Rektusscheidenblock, für Eingriffe im Bereich des Nabels und der Peniswurzelblock, der vor allem bei Zirkumzisionen verwendet wird.

Abschließend kann gesagt werden, dass bei Anwendung von Regionalanästhesie intraoperativ weniger Schmerzmittel benötigt wird, die Allgemeinanästhesie oberflächlicher geführt werden kann, hämodynamische Nebenwirkungen minimiert werden können und postoperativ Schmerzfreiheit und frühere Mobilisation bestehen. Die Durchführung mittels Ultraschall, bringt eine höhere Erfolgsrate, benötigt geringere Mengen an Lokalanästhetikum für eine länger anhaltende Blockade und sollte daher der Nervenstimulationsmethode vorgezogen werden.

Abstract

The following thesis will present a summary of the most popular ultrasound-guided peripheral nerve blocks in children.

Regional anaesthesia in children provides effective intra- as well as postoperative analgesia.

Advanced anatomical knowledge of the nerves as well as of the surrounding structures is essential in order to get a good image when using ultrasound-guidance for the performance of nerve blocks. The sonographic appearance of nerves is an interaction of hypoechoic nerve fibers and hyperechoic myelin sheaths.

Out-of-plane technique means the insertion of the needle along the short axis of the ultrasound transducer and in-plane technique is the insertion of the needle along the long axis.

The most popular local anaesthetics used in children are bupivacaine, levobupivacaine and ropivacaine which provide long lasting analgesia.

Some features are different in children. Regional blocks are usually performed under general anaesthesia. Due to the subtle nerve structures in childhood lower concentrations of local anaesthetics will still provide an adequate motor and sensory block and blocks do have a quicker onset of effect and a longer duration of action. In addition the use of ultrasound-guidance enables the application of very small volumes of local anaesthetics and it also increases the success rate when compared to nerve stimulation techniques.

Complications associated with regional anaesthesia include nerve damages, vessel injuries with haemorrhage, toxic effects of local anaesthetics due to an overdose, anaphylactic reactions and local infections.

The most common nerve block of the upper extremity in children is a block of the brachial plexus at the interscalene, supra-/infraclavicular and axillary level.

Popular regional nerve blocks of the lower extremity include the distal sciatic, femoral and saphenus nerve block.

In addition the most common trunk blocks in children are the ilioinguinal, transverse abdominal plane, rectus sheath and penile block.

The rectus sheath block provides analgesia not only for umbilical and supraumbilical surgery but also for the conventional pylorotomy in infants. The penile block is mainly used for circumcisions.

Concluding the use of ultrasound-guidance for regional anesthesia in children provides a high success rate and enables the use of a very small amount of local anesthetics.

Danksagung

Zuerst möchte ich mich bei meinen beiden Betreuern bedanken, die die Erstellung meiner Arbeit überhaupt möglich gemacht haben. Hierbei möchte ich mich besonders bei Priv. Doz. OA Dr. Christian Breschan bedanken, der mich geduldig und tatkräftig unterstützt hat.

Der größte Dank gilt meinen Eltern, die mir dieses Studium überhaupt ermöglicht haben und mich durch alle Höhen und Tiefen, stets mit vollem Vertrauen begleitet haben.

Bei meinem Freund Stefan möchte ich mich für die vor allem emotionale Unterstützung und sein Verständnis während meines Studiums und bei der Erstellung dieser Arbeit bedanken.

Danken möchte ich auch meinen Freunden und Kollegen, die mich durch das Studium begleitet haben und dem Medizinercorps Graz, das meine Begeisterung für die Notfallmedizin geweckt und mir eine tolle Ausbildung ermöglicht hat.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	2
Zusammenfassung	3
Abstract	5
Danksagung	7
Inhaltsverzeichnis	8
Glossar/Abkürzungen	11
Abbildungsverzeichnis	13
1 Einleitung	15
1.1 Allgemeine Einleitung.....	15
1.2 Regionalanästhesie- Historischer Überblick.....	16
2 Grundlagen	17
2.1 Anatomische Grundlagen peripherer Nerven	17
2.1.1 Aufbau peripherer Nerven	17
2.2 Physikalische und technische Grundlagen des Ultraschalls.....	18
2.2.1 Definition.....	18
2.2.2 Erzeugung von Ultraschall.....	18
2.3 Bedeutung in der Medizin.....	19
2.4 Darstellung von Nerven im Ultraschall	19
2.5 Methoden ohne Ultraschall- Nervenstimulationsmethode	21
3 Ultraschallgesteuerte Regionalanästhesieverfahren im Kindesalter	23
3.1 Besonderheiten im Kindesalter	23
3.2 Vorbereitungen, Hygiene und Material	23
3.3 Lokalanästhetika	24
3.3.1 Wirkung	24
3.3.2 Häufig verwendete Lokalanästhetika in der Kinderanästhesie	24
3.3.3 Bupivacain	25
3.3.4 Levobupivacain.....	25
3.3.5 Ropivacain	26
3.4 Sonographische Nadelführung.....	26

3.4.1	Out- of- plane- Technik	26
3.4.2	In- plane-Technik	27
3.5	Komplikationen und Kontraindikationen der Regionalanästhesie	29
3.5.1	Kontraindikationen	29
3.5.2	Komplikationen	29
3.5.3	Lokalanästhetika- Intoxikation	30
4	Blockaden an der oberen Extremität (Plexus brachialis)	32
4.1	Anatomie	32
4.2	Interscalenäre Blockade	34
4.2.1	Indikation	34
4.2.2	Anatomie	34
4.2.3	Sonographische Darstellung	34
4.2.4	Punktionstechnik	35
4.2.5	Spezielle Komplikationen und Risiken	35
4.3	Supraclaviculäre Blockade	37
4.3.1	Indikation	37
4.3.2	Anatomie	37
4.3.3	Darstellung mittels Ultraschall	37
4.3.4	Punktionstechnik	37
4.3.5	Spezielle Komplikationen und Risiken	39
4.4	Axillärer Block	40
4.4.1	Indikationen	40
4.4.2	Anatomie	40
4.4.3	Darstellung mittels Ultraschall	40
4.4.4	Punktionstechnik	41
5	Blockaden des Plexus lumbosacralis	43
5.1	Allgemeine Anatomie	43
5.2	N. Ilioinguinalis-/ N. Iliohypogastricus Block	45
5.2.1	Indikationen	45
5.2.2	Anatomie	45
5.2.3	Darstellung mittels Ultraschall	45
5.2.4	Punktionstechnik	46
5.2.5	Spezielle Komplikationen und Risiken	47
5.3	Distaler N. Ischiadicus- Block (poplitealer Zugangsweg)	47
5.3.1	Indikationen	47
5.3.2	Anatomie	47
5.3.3	Darstellung mittels Ultraschall	48
5.3.4	Punktionstechnik	49
5.4	N. Femoralis Block	49

5.4.1	Indikation	49
5.4.2	Anatomie	50
5.4.3	Darstellung mittels Ultraschall.....	50
5.4.4	Punktionstechnik.....	51
5.5	N. saphenus Block	52
5.5.1	Indikationen	52
5.5.2	Anatomie	52
5.5.3	Darstellung mittels Ultraschall.....	53
5.5.4	Punktionstechnik.....	54
5.6	Rektusscheidenblock	54
5.6.1	Indikationen	54
5.6.2	Anatomie	55
5.6.3	Darstellung mittels Ultraschall.....	55
5.6.4	Punktionstechnik.....	56
5.6.5	Spezielle Komplikationen und Risiken	57
5.7	Peniswurzelblock	58
5.7.1	Indikationen	58
5.7.2	Anatomie	58
5.7.3	Darstellung mittels Ultraschall und Punktionstechnik.....	59
6	Abschlussstatement.....	61
7	Literaturverzeichnis.....	62

Glossar/Abkürzungen

A	Arteria
AA	Arteria axillaris
ASM	Musculus scalenus anterior
BFM	Musculus biceps femoris
BM	Musculus biceps brachii
C	Cervical
CA	Arteria carotis
CBM	Musculus coracobrachialis
CC	Corpus callosum
Co	Coccygeal
EKG	Elektrokardiogramm
EOM	Musculus obliquus externus abdominis
FA	Arteria femoralis
FN	Nervus femoralis
FR	First rib
FV	Vena femoralis
G	Gauge
I.V.	Intravenös
IJV	Vena jugularis interna
IM	Musculus iliacus
IOM	Musculus obliquus internus abdominis
IP	In- plane- Technik
L	Lumbal
LA	Lokalanästhetikum
M	Musculus
MCN	Nervus musculocutaneus
MN	Nervus medianus

MSM	Musculus scalenus medius
MVM	Musculus vastus medialis
N	Nervus
NT	Nadelspitze
NT	Needle tip
OUP	Out-of-plane-Technik
PA	Arteria poplitea
PV	Vena poplitea
RAM	Musculus rectus abdominis
RN	Nervus radialis
S	Sakral
SA	Arteria subclavia
SCM	Musculus sternocleidomastoideus
SM	Musculus satorius
SMM	Musculus semimembranosus
SN	Nervus saphenus bzw. N.ischiadicus
TAM	Musculus transversus abdominis
Th	Thorakal
TM	Musculus triceps brachii
UN	Nervus ulnaris
V	Vena
ZNS	Zentralnervensystem

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Aufbau eines peripheren Nervs (3)
- Abbildung 2: Darstellung des piezoelektrischen Effektes in umgekehrter Weise (8)
- Abbildung 3: Monofaszikulärer Nerv (N.vagus), V:Vena jugularis interna, A: A. carotis (12)
- Abbildung 4: honigwabenartiges Aussehen eines polyfaszikulären Nervs (N.medianus) (12)
- Abbildung 5: verschiedene Nervenstimulationsgeräte (8)
- Abbildung 6: Bedienungselement eines Nervenstimulators (8)
- Abbildung 7: Out-of-plane- Technik (11)
- Abbildung 8: Darstellung des Querschnitts einer Punktionskanüle im Ultraschallbild, 1: Kanülenquerschnitt, 2: Gebiet um den Plexus brachialis, 3: Arteria carotis communis (11)
- Abbildung 9: Punktion mittels In-line-Technik (11)
- Abbildung 10: Darstellung des Kanülenschafte im Längsschnitt im Ultraschallbild, 1: Plexus brachialis, 2: Punktionsnadel (11)
- Abbildung 11: Plexus brachialis, Verlauf aus den Segmenten C5-Th1, rechte Seite in ventraler Ansicht (30)
- Abbildung 12: Aufteilung des Plexus brachialis, Innervation des rechten Armes in ventraler Ansicht (30)
- Abbildung 13: Trunci des Plexus brachialis zwischen den Skalenusmuskeln im Ultraschallbild. SCM: M. sternocleidomastoideus, ASM: M. scalenus anterior, MSM: M. scalenus medius, IJV: V. jugularis interna, CA: A. carotis (31)
- Abbildung 14: Interskalenäre Blockade- Schallkopf- und Nadelposition (33)
- Abbildung 15: Supraclaviculäre Blockade- Schallkopf- und Nadelposition (33)
- Abbildung 16: Sonographische Darstellung des Plexus brachialis beim supraclaviculärem Zugang, SA: A.subclavia, FR: erste Rippe (33)
- Abbildung 17: Axilläre Blockade - Schallkopf- und Nadelposition (In- plane- Technik) (33)
- Abbildung 18: Axilläre Blockade- Periphere Äste des Plexus brachialis im Ultraschallbild. BM: M.biceps brachii, MN: N. medianus, UN: N. ulnaris, MCN: N.musculocutaneus, AA: A. axilaris, RN: N. radialis, CBM: M. coracobrachialis, TM: M. triceps brachii (33)

- Abbildung 19: Plexus lumbosacralis- Verlauf aus den Segmenten Th12- S5, Co1 in ventraler Ansicht der rechten Seite (30)
- Abbildung 20: Aufteilung des Plexus lumbosacralis zur Innervation des Beines in ventraler und dorsaler Ansicht des rechten Beines (30)
- Abbildung 21: Sonographische Darstellung des N.ilioinguinalis und des N. iliohypogastricus zu deren Blockade. EOM: M. obliquus externus, IOM: M. obliquus internus, TAM: M.transversus abdominis, IM: M.iliacus (33)
- Abbildung 22: Schallkopf- und Nadelposition zur Durchführung einer Iliohypogastricus-/Ilioinguinalis- Blockade (33)
- Abbildung 23: Ultraschallbild des N.ischiadicus. SMN:M.semimembranosus, BFM: M.biceps femoris, PV: V.poplitea, PA: A. poplitea, SN: N.ischiadicus (33)
- Abbildung 24: Schallkopf- und Nadelposition beim distalen Ischiadicusblock (poplitealer Zugang) (33)
- Abbildung 25: N.femoralis im Sonographischen Bild. FV: V.femoralis, FA: A.femoralis, LA: Lokalanästhetikum, NT: Nadelspitze, FN: N. femoralis (31)
- Abbildung 26: Schallkopf- und Nadelposition bei Blockade des N. femoralis in Out-of-plane-Technik (31)
- Abbildung 27: N.saphenus im Ultraschallbild. MVM: M. vastus medialis, SM: M.sartorius, SN: N.saphenus, FA: A. femoralis (33)
- Abbildung 28: Position von Schallkopf und Nadel in In-line-Technik zur N.saphenus Blockade (33)
- Abbildung 29: Sonographische Darstellung der Rektusscheide. RAM: M.rectus abdominis, EOM: M. obliquus externus, IOM: M. obliquus internus, TAM: M. transversus abdominis (33)
- Abbildung 30: Rektusscheidenblock - Schallkopf- und Einstichposition in In-line-Technik (33)
- Abbildung 31: wichtige anatomische Strukturen bei Durchführung eines Peniswurzelblocks im Sagittalschnitt
- Abbildung 32: Schallkopf- und Nadelposition zur Durchführung eines Peniswurzelblocks (33)
- Abbildung 33: Sonographische Darstellung der anatomischen Strukturen beim Peniswurzelblock, mit Pfeil markiert Arterien (33)

1 Einleitung

1.1 Allgemeine Einleitung

Regionalanästhesiologische Verfahren eignen sich im Kindesalter besonders gut und bringen viele Vorteile für das Kind. Intraoperativ wird weniger Schmerzmittel benötigt, die Allgemeinanästhesie kann oberflächlich geführt, hämodynamische Nebenwirkungen können minimiert werden und postoperativ besteht Schmerzfreiheit. Dies steigert nicht nur das kindliche Wohlbefinden, sondern ermöglicht auch eine bessere postoperative Compliance und frühere Mobilisation.

(1)

Die Durchführung regionalanästhesiologischer Verfahren im Kindesalter mit Hilfe von Ultraschall sollte die Methode der Wahl sein, auch wenn es bis heute keine Evidenz dafür gibt. (1)

Mit Hilfe von Ultraschall können die Nervenstrukturen gut dargestellt werden, was ein genaueres Arbeiten bei der Positionierung der Nadel oder des Katheters und der Applikation des Lokalanästhetikums ermöglicht und somit die Erfolgsrate erhöht. (1)

In dieser Arbeit soll ein Überblick über die ultraschallgesteuerte Durchführung verschiedener Regionalanästhesieverfahren bei Kindern gegeben werden. Es sollen die Vorteile der ultraschallgezielten Durchführung gegenüber herkömmlicher Methoden aufgezeigt werden.

1.2 Regionalanästhesie- Historischer Überblick

1884 bemerkten Sigmund Freud und Karl Koller erstmals bei Experimenten mit Cocain dessen lokalanästhetische Wirkung. Daraufhin wurden Versuche einer Lokalanästhesie am Auge durchgeführt, die allerdings fehlschlagen. Der junge Augenarzt Karl Koller führte weitere Versuche mit Cocain am Auge durch, schlussendlich gelang ihm die Lokalanästhesie. Damit ging er und nicht Sigmund Freud als Entdecker der Oberflächenanästhesie in die Geschichte ein. (2)

1885 führte James Leonard Corning den ersten Versuch einer Spinalanästhesie beim Hund durch, dieser gelang allerdings nur versehentlich. (2)

Die erste beabsichtigte Spinalanästhesie gelang August Bier, einem deutschen Chirurgen, im Jahre 1898 im Rahmen einer Fußamputation. (2)

1892 wurde von Carl Ludwig Schleich die Infiltrationsanästhesie entdeckt. (2)

In der weiteren Entwicklung rückte die Suche nach alternativen, lokalanästhetisch wirksamen Substanzen zunehmend in den Vordergrund, da die toxischen Wirkungen und das große Suchtpotenzial des Cocains immer problematischer wurden. (2)

Schließlich konnte 1904 erstmals Procain von Alfred Einhorn hergestellt werden, welches gemeinsam mit ähnlichen Esterverbindungen, Einzug in den klinischen Alltag hielt und somit Cocain ablöste. (2)

1934 wurde Lidocain von Nils Löfren und im weiteren Verlauf die Gruppe der Amid- Lokalanästhetika entdeckt. (2)

1976 wurde die Periduralanästhesie von Philip Bromage eingeführt. (2)

Erst 1994 wurde die ultraschallgezielte Regionalanästhesie von Kapral et al. etabliert. (3)

2 Grundlagen

2.1 Anatomische Grundlagen peripherer Nerven

Man unterscheidet grundsätzlich myelinisierte von nicht-myelinisierten peripheren Nerven. Die Erregungsleitung erfolgt in Nervenfasern ohne Myelinscheide, wesentlich langsamer als in myelinisierten Fasern. Daher findet man nicht-myelinisierte Fasern hauptsächlich im vegetativen Nervensystem. (4)

2.1.1 Aufbau peripherer Nerven

Ein peripherer Nerv setzt sich aus Axonen und Hüllengewebe zusammen. Im Hüllengewebe sind Schwannsche Zellen, Fibroblasten und Blutgefäße enthalten. Die Axone dienen entweder als Afferenz von der Peripherie ins ZNS oder in umgekehrter Weise als Efferenz vom ZNS in die Peripherie. (4)

Eine einzelne periphere Nervenfasern wird von lockerem Bindegewebe, dem sogenannten Endoneurium umgeben. (5)

Mehrere gebündelte Nervenfasern bilden einen Faszikel, welcher vom Perineurium umgeben wird, dessen innerste Schicht eine Schranke gegenüber dem umliegenden Gewebe bildet. Im Gelenksbereich peripherer Nerven findet sich ein verstärktes Perineurium. Die Anzahl der in einem Faszikel zusammengefassten Nervenfasern variiert stark. (5)

Die äußerste Schicht bildet das Epineurium, welches aus Bindegewebe, Fettzellen, Blut- und Lymphgefäßen besteht. (5)

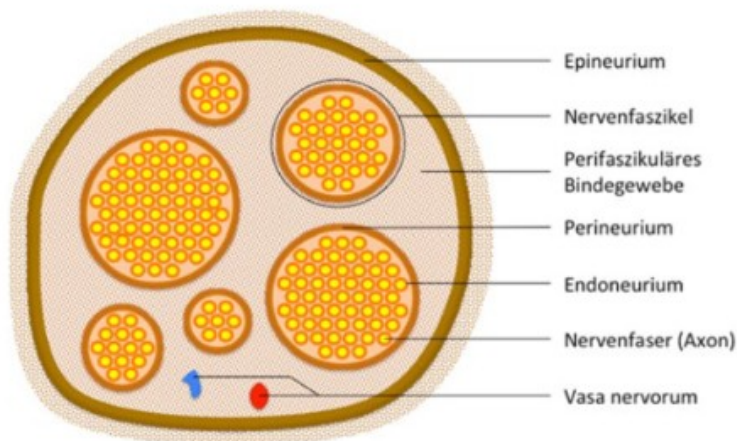


Abbildung 1: Aufbau eines peripheren Nervs (3)

2.2 Physikalische und technische Grundlagen des Ultraschalls

2.2.1 Definition

Als Ultraschall werden Schallwellen bezeichnet, deren Frequenz sich im Bereich über der Hörgrenze des Menschen befindet, das heißt über 20kHz. Der Frequenzbereich reicht bis ca. 100MHz. (6) (7)

Der Frequenzbereich, der in der Medizin zur Gewebedarstellung angewendet wird, liegt zwischen 1-15MHz. (6) (7)

2.2.2 Erzeugung von Ultraschall

Ultraschall kann künstlich erzeugt werden, indem man sich den so genannten piezoelektrischen Effekt in umgekehrter Form zur Nutze macht. Hierbei werden die in den Schallköpfen vorhandenen Piezokristalle elektrisch angeregt und in Schwingung versetzt, dadurch entstehen Schallwellen. Die Erzeugung des Bildes erfolgt computergestützt im jeweiligen Ultraschallgerät. (8)

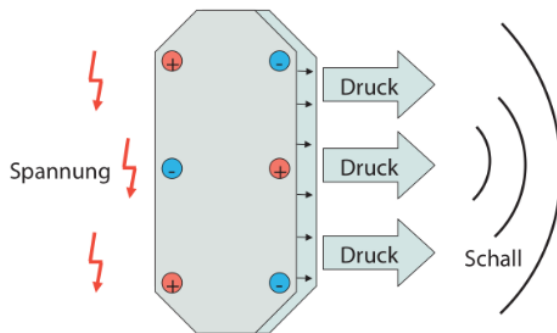


Abbildung 2: Darstellung des piezoelektrischen Effektes in umgekehrter Weise (8)

2.3 Bedeutung in der Medizin

Die Sonographie ermöglicht als Bedside Technik den Blick unter die Hautoberfläche und kann auch Schnittbilder von Organen erzeugen. Das geschieht, indem Ultraschallwellen ausgesendet werden, die dann je nach Art des Gewebes reflektiert, gestreut, gebrochen oder abgeschwächt werden. (9) (10) Die Ultraschalldiagnostik ist kostengünstig und schnell verfügbar, daher eignet sie sich sehr gut zur Erstdiagnostik, findet aber auch in der Beurteilung eines Krankheitsverlaufes Anwendung. (9)

In der Anästhesie wird Ultraschall häufig für invasive Verfahren verwendet, Diagnostik rückt hier eher in den Hintergrund. Im Ultraschallbild kann z.B. bei Regionalanästhesieverfahren, die Nadelführung zum gewünschten Nerv und die Verteilung des Lokalanästhetikums abgebildet werden. (11)

2.4 Darstellung von Nerven im Ultraschall

Um Nerven im Ultraschall zu erkennen ist ein grundlegendes anatomisches Wissen über die Lage der gesuchten Struktur nötig. Man orientiert sich an bestimmten Leitstrukturen (z.B. Gefäße, Muskeln, Faszien).

Aufgrund der anatomischen Varianten der einzelnen Patienten und Patientinnen, garantieren gesuchte Leitstrukturen nicht immer das Auffinden der gesuchten Struktur. (12)

Im Ultraschallbild zeigen Nerven ein Gemisch aus echoarmen Nervenfasern und echoreichen Myelinscheiden. Ein Nerv kann sich je nach Größe und Lokalisation mono- oder polyfaszikulär darstellen. (8) (12)

Ein monofaszikulärer Nerv stellt sich im Querschnitt typischerweise als echoarme, rundliche Struktur, umgeben von einer echoreicheren Demarkierungslinie dar. (siehe Abbildung 3.) (12) Typischerweise ist das, das sonographische Erscheinungsbild von Nerven im proximalen Verlauf z.B. Plexus brachialis in der Scalenuslücke.. (13)

Ein polyfaszikulärer Nerv kommt, wie in Abbildung 4 gezeigt, als honigwabenartige Struktur, zur Darstellung, die sich aus den verschiedenen Reflexionsarten des Endo- und Perineuriums ergibt. (12) Typischerweise ist das das sonographische Erscheinungsbild von Nerven im distalen Verlauf z.B. N.radialis in der hinteren Humeruslücke. (13)

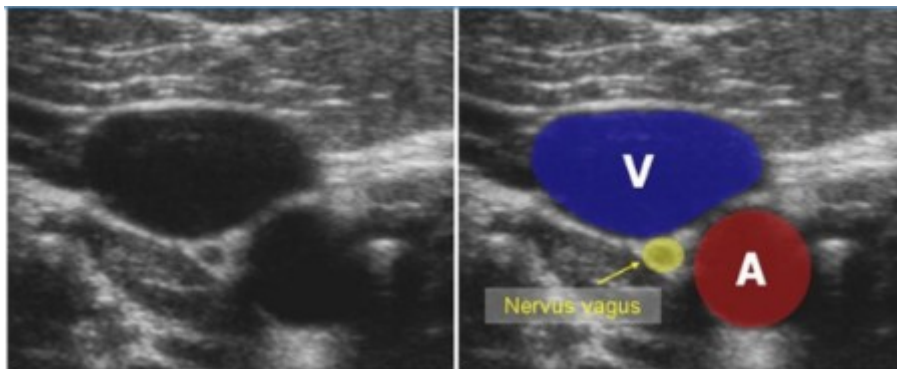


Abbildung 3: Monofaszikulärer Nerv (N.vagus), V:Vena jugularis interna, A: A. carotis (12)

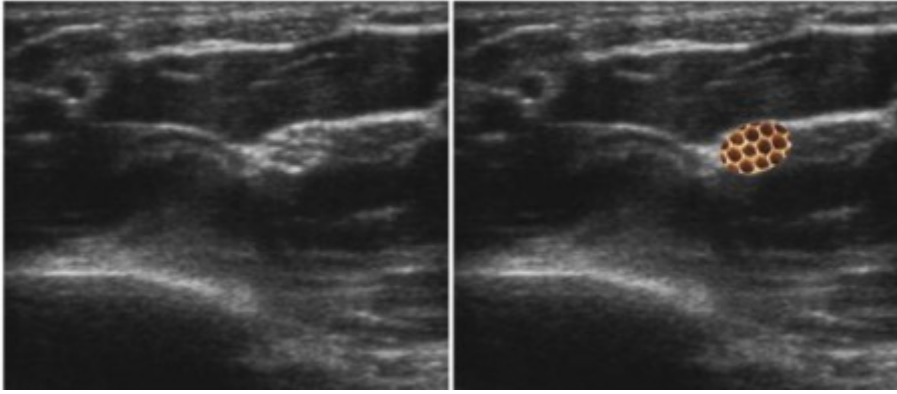


Abbildung 4: honigwabenartiges Aussehen eines polyfaszikulären Nervs (N.medianus) (12)

2.5 Methoden ohne Ultraschall- Nervenstimulationsmethode

Die elektrische Nervenstimulation stellt trotz zunehmender Anwendung von Ultraschall die klinisch am häufigsten verwendete Methode zur Auffindung und Bestimmung von Nerven für Regionalanästhesieverfahren dar. Häufig kommt diese Methode auch mit Ultraschall gemeinsam zur Anwendung. (8)

Die Nervenstimulation funktioniert durch Abgabe von Gleichstrom über die Nadelspitze, die als Kathode fungiert. Eine Hautelektrode stellt die Anode dar. Erreicht der Strom eine bestimmte Stärke, kommt es zur Kontraktion, Parästhesien oder Schmerz, je nachdem ob ein motorischer oder sensibler Teil des Nervs erreicht wurde. (8) (14)

Die Schwierigkeit dieser Methode besteht darin, dem Nerv mit der Nadel möglichst nahe zu kommen, um das Lokalanästhetikum zu applizieren und gleichzeitig den Nerv nicht direkt zu berühren, um keine Schäden zu verursachen. (8)



Abbildung 5: verschiedene Nervenstimulationsgeräte (8)



Abbildung 6: Bedienungselement eines Nervenstimulators (8)

3 Ultraschallgesteuerte Regionalanästhesieverfahren im Kindesalter

3.1 Besonderheiten im Kindesalter

Die Regionalanästhesie wird bei Kindern zumeist in Narkose oder Analgosedierung durchgeführt. Der Vorteil an dieser Vorgehensweise besteht in der Verhinderung von Verletzungen durch plötzliche Bewegungen der Kinder. (1)

Durch die im Kindesalter bestehende Feinheit der Nervenstrukturen, fällt auch deren Blockade leichter. Die Zeit bis zum Wirkeintritt, wie auch die Wirkdauer sind kürzer als bei Erwachsenen. (1) (15)

Aus pharmakokinetischer Sicht bestehen ein größeres Verteilungsvolumen, eine längere Halbwertszeit und eine verminderte Proteinbindung der Lokalanästhetika. Die verminderte Proteinbindung bei Säuglingen ist bedingt durch den niedrigeren sauren alpha-1 Glykoproteinspiegel in dieser Altersgruppe. Alle Lokalanästhetika sind in über 90% an dieses Protein gebunden. Wirksam, auch hinsichtlich der Toxizität ist aber nur der freie das heißt ungebundene Anteil eines Lokalanästhetikums. (1) (15) (16)

3.2 Vorbereitungen, Hygiene und Material

Die Anlage einer Regionalanästhesie unterliegt denselben Sterilitätsvorgaben wie die Durchführung einer Operation. Das Tragen eines Mundschutzes, einer Kopfhaube, steriler Handschuhe und im Falle einer Katheteranlage, eines sterilen Mantels sind für den durchführenden Anästhesisten/ die durchführende Anästhesistin obligat. (17)

Die Einstichstelle muss mehrfach desinfiziert werden, danach erfolgt die Abdeckung mit einem sterilen Tuch. (17)

Die Ultraschallsonde ist vor Verwendung zu desinfizieren und anschließend mit einem sterilen Überzug zu versehen, da sie mit der Nadel und der Punktionsstelle in direkten Kontakt kommt. (18)

Die Überwachung des Patienten/ der Patientin während der Anlage einer Regionalanästhesie sollte durch eine EKG-Ableitung, eine Blutdruckmessung und eine Pulsoxymetrie gewährleistet sein. Bei Kindern wird die Regionalanästhesie, wie eingangs, erwähnt zumeist in Allgemeinanästhesie durchgeführt. Ein i.v. Zugang ist aber auch bei der Anlage einer Regionalanästhesie ohne Narkose eine absolute Notwendigkeit (1) (17)

Präoperativ sollte, insbesondere vor einer neuroaxialen Regionalanästhesie, immer eine Gerinnungsanamnese erhoben werden, dafür kann man standardisierte Fragebögen verwenden. Ergibt sich daraus anamnestisch der Verdacht einer Gerinnungsstörung, muss präoperativ ein Gerinnungslabor gemacht werden. Letzteres ist bei Regionalanästhesie in Rückenmarksnähe mit Katheteranlage allerdings immer sinnvoll. (1)

3.3 Lokalanästhetika

3.3.1 Wirkung

Lokalanästhetika ermöglichen eine Ausschaltung der Schmerzwahrnehmung bei erhaltenem Bewusstsein. Ihre Wirkung beruht auf der Hemmung der Schmerzweiterleitung in peripheren Nerven, ist reversibel und beschränkt sich auf eine bestimmte Körperregion. (19)

Der genaue Wirkmechanismus funktioniert über eine Blockade spannungsabhängiger Natriumkanäle. Werden diese Kanäle blockiert, ist ein für die Weiterleitung eines Impulses erforderlicher Natrium- Einstrom in die Zelle nicht möglich und somit bleibt eine Erregung der Zelle aus. (19)

3.3.2 Häufig verwendete Lokalanästhetika in der Kinderanästhesie

Zu den verbreitetsten Lokalanästhetika in der Kinderanästhesie zählen Bupivacain, Levobupivacain und Ropivacain. Diese erfüllen den Anspruch einer guten, lange anhaltenden Schmerzausschaltung am besten. (1)

Alle drei gehören zur Gruppe der amidhaltigen Lokalanästhetika. Ihr Wirkmechanismus beruht auf einer reversiblen Natriumkanalblockade. Bei hoher Konzentration wird eine vollständige Anästhesie erreicht (sensorische und motorische Blockade), somit werden operative Eingriffe möglich. Bei niedriger Konzentration der Lokalanästhetika, erreicht man nur eine sensorische Blockade und somit wenigstens eine postoperative Analgesie. (20)

Die Dosierung, d.h. Konzentration und Volumen, richtet sich nach dem Körpergewicht, Alter, der Körperregion und der Verwendung von Ultraschall, wobei die Ausbreitung des Lokalanästhetikums gut erkennbar ist (1)

3.3.3 Bupivacain

Bupivacain zeichnet sich durch eine hohe Kardiotoxizität aus. Eine Maximaldosis von 2,5mg/kg sollte im Kindesalter nicht überschritten werden. Die Dosis für eine kontinuierliche Gabe liegt bei 0,25mg/kg/h. Besonders bei Säuglingen unter sechs Monaten sollte Bupivacain vorsichtig dosiert werden, da der freie Anteil im Serum höher ist. (15) (21)

3.3.4 Levobupivacain

Levobupivacain zählt, wie Bupivacain zur Gruppe der langwirksamen Lokalanästhetika. Der Wirkmechanismus beruht ebenfalls auf einer Natriumkanal-Blockade, zusätzlich erfolgt auch eine Blockade von Kalium- und Calcium-Kanälen. (22)

Levobupivacain stellt aufgrund des niedrigeren Toxizitätspotentials, insbesondere aufgrund der geringeren Kardiotoxizität, eine gute Alternative zu Bupivacain dar. Die Maximaldosis beträgt für Kinder 2,5mg/kg und sollte nicht überschritten werden. (15)

3.3.5 Ropivacain

Auch Ropivacain, ebenfalls ein Natriumkanal-blockierendes Lokalanästhetikum der Amid-Gruppe, zeichnet sich durch seine lange Wirkdauer und geringe Kardiotoxizität aus. Es ist das bei Kindern am meisten verwendete Lokalanästhetikum und wird zur kontinuierlichen Anwendung mit 0,4mg/kg/h dosiert, die Single-shot Maximaldosis beträgt 3-4mg/kg. (23) (15)

3.4 Sonographische Nadelführung

3.4.1 Out- of- plane- Technik

Bei der in Abbildung 7 gezeigten Out-of-plane- Technik wird die Punktionsnadel entlang der kurzen Achse des Schallkopfes vorgeschoben. Die Nadel kommt im Ultraschallbild im Querschnitt, als echoreiche, punktförmige Struktur zur Darstellung. Wie gesagt, erreicht man das, indem man senkrecht zum Schallkopf und somit zur Schallebene punktiert. Je steiler der Einstichwinkel, umso schlechter kommt die Nadelspitze im Schallbild zur Darstellung (11) (24)

Der im Ultraschallbild sichtbare echoreiche Punkt (siehe Abbildung 8), ist nicht immer die Nadelspitze, sondern kann auch der Querschnitt der Nadel auf einer anderen Höhe sein, dies stellt eine Fehlerquelle dieser Methode dar und ist stets zu bedenken. (11)



Abbildung 7: Out-of-plane- Technik (11)

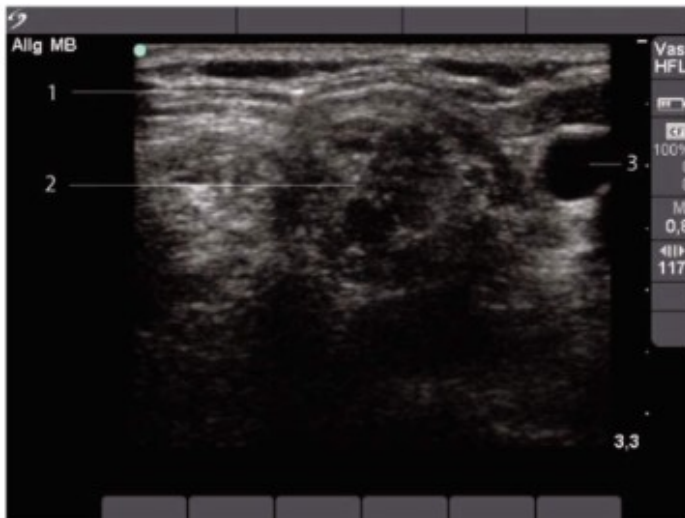


Abbildung 8: Darstellung des Querschnitts einer Punktionskanüle im Ultraschallbild, 1: Kanülenquerschnitt, 2: Gebiet um den Plexus brachialis, 3: Arteria carotis communis (11)

3.4.2 In- plane-Technik

Bei dieser in Abbildung 9 dargestellten Technik wird die Punktionsnadel entlang der langen Achse des Schallkopfes vorgeschoben. Die Nadel kommt im Ultraschallbild längs zur Darstellung, man erkennt also den gesamten Schaft der Kanüle.(wie in Abbildung 10) Dieses Bild erreicht man, indem man genau in der Schallebene punktiert. Die Schwierigkeit dieser Technik besteht darin, eben genau diese Ebene zu treffen d.h. es erfordert eine genaue achsengerechte Ausrichtung

von Schallkopf, Nadel und Nerv. Das erfordert eine gute Hand-Auge Koordination. (13) (11)

Gelingt das nicht, sieht man den Kanülenschaft nur teilweise oder überhaupt nicht. Dazu reicht schon eine leichte laterale Abweichung des Schallkopfes. Befindet man sich mit der Nadel genau in der Schallebene, kann man das Vorschieben der Punktionsnadel über die gesamte Wegstrecke im Schallbild beobachten und die Spitze der Kanüle somit zum gewünschten Ziel führen. Die Gefahr andere Strukturen dabei zu verletzen ist sehr gering. Insgesamt ist das die technisch schwierigere, aber elegantere Methode. (11) (13)



Abbildung 9: Punktion mittels In-line-Technik (11)

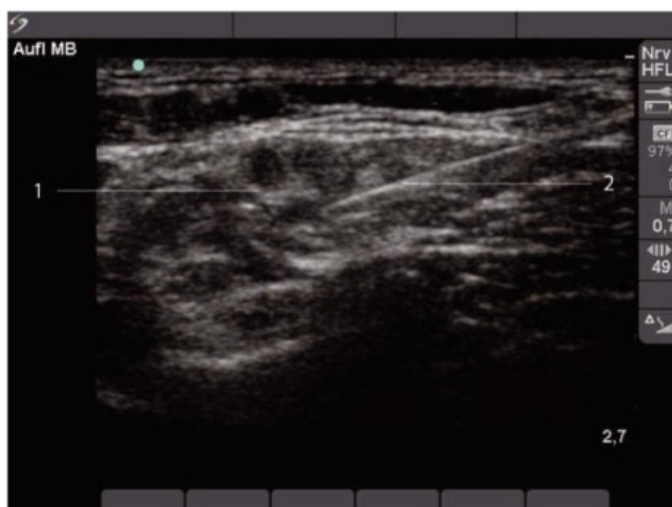


Abbildung 10: Darstellung des Kanülenschafts im Längsschnitt im Ultraschallbild, 1: Plexus brachialis, 2: Punktionsnadel (11)

3.5 Komplikationen und Kontraindikationen der Regionalanästhesie

3.5.1 Kontraindikationen

Absolute Kontraindikationen für die Durchführung von regionalanästhesiologischen Verfahren stellen folgende Punkte dar:

- Fehlendes Einverständnis des Patienten/der Patientin bzw. der Eltern bei Kindern
- Bei Vorliegen einer Gerinnungsstörung bei neuroaxialen Blockaden
- Entzündungen im Bereich der Einstichstelle (8)

Als relative Kontraindikation ist ein bereits bekanntes neurologisches Defizit zu nennen. In solch einem Fall ist es wichtig den Patienten genau zu untersuchen, eventuell unter Einbeziehung eines Neurologen/ einer Neurologin, genau zu dokumentieren und den Patienten/ die Patientin über etwaige Risiken aufzuklären. Bei überwiegendem Nutzen und nach Einwilligung des Patienten/ der Patientin kann eine Regionalanästhesie durchgeführt werden. (8)

3.5.2 Komplikationen

Eine gefürchtete Komplikation im Rahmen der Regionalanästhesie stellt die Schädigung von Nerven dar, für die es verschiedenste Gründe gibt. Schäden können z.B. durch die angewandte Punktionstechnik, das verwendete Nadelmaterial, Lokalanästhetika oder durch Druckausübung im Rahmen einer Blutung entstehen. Da derartige Schäden auch durch die Operation oder Lagerung entstehen können, ist es oftmals schwer die Ursache abzugrenzen. Grundsätzlich haben Nervenschäden eine gute Prognose, können aber bis zur vollständigen Heilung einige Monate an Zeit beanspruchen. (25) (8)

Die Punktion von Gefäßen und die damit verbundene Entstehung von Blutungen stellt eine weitere Komplikation der Regionalanästhesie dar und ist vor allem bei tief liegenden Nerven und ganz besonders bei neuroaxialen Blockaden gefährlich. (25)

Intoxikation können bei Regionalanästhesien vorkommen, wenn das Lokalanästhetikum zu hoch dosiert wird, es zu schnell vom Organismus aufgenommen wird oder im Falle einer zu hoch gewählten Konzentration. Auch eine unabsichtliche Injektion des Lokalanästhetikums in ein Gefäß, ein verminderter Abbau oder eine verminderte Toleranz können zur Vergiftung führen. (26)

In seltenen Fällen können anaphylaktische Reaktionen auf Lokalanästhetika auftreten (25)

Durch die zunehmende Verbreitung von Katheterverfahren im Rahmen der Regionalanästhesie nehmen auch Komplikationen durch Infektionen zu. Um dies zu vermeiden, ist es besonders wichtig auf steriles Arbeiten und regelmäßige Kontrolle der angelegten Katheter zu achten. (8) (25)

3.5.3 Lokalanästhetika- Intoxikation

Zu den häufigsten Ursachen einer systemischen Vergiftung mit Lokalanästhetika zählen die unabsichtliche Verabreichung ins Gefäßsystem, zu hohe Dosierung und schnellere Aufnahme, durch Verabreichung in gut vaskularisierten Gebieten. (27)

Eine systemische Lokalanästhetika- Intoxikation wirkt sich vor allem auf das Zentralnervensystem und in höherer Dosis auch auf das kardiovaskuläre System aus. (27)

Die typische ZNS-Symptomatik unterteilt sich in folgende vier Stadien:

- **Prodromalstadium:** In dieser Phase treten Symptome wie z.B. Taubheitsgefühl im Bereich des Mundes, Irritationen des Geschmackssinns oder Metallgeschmack auf.
- **Präkonvulsives Stadium:** In diesem Stadium zeigen sich die Patienten und Patientinnen oft bewusstseinsverändert, weiters können Tremor, Nystagmus und Tinnitus auftreten.

- **Konvulsives Stadium:** Diese Phase wird durch Krampfanfälle, zumeist in generalisierter, tonisch- klonischer Form geprägt.
- **ZNS- Depression:** Patienten und Patientinnen befinden sich in diesem Stadium oft in komatösem Zustand, die Atmung und das Herz werden zunehmend insuffizient, es kommt zu Blutdruckabfällen. (28) (27)

Zur kardialen Symptomatik lässt sich grundsätzlich sagen, dass die toxischen Effekte erst bei wesentlich höheren Plasmaspiegeln auftreten, als die ZNS-Symptomatik. (29) Bei den kardialen Wirkungen betreffend unterscheidet man:

- **Direkte kardiodepressive Wirkung:** Dabei kommt es zur Beeinflussung der Herzmuskelzellen des Arbeitsmyokards und jener, des Reizleitungssystems. Dies resultiert in verminderter Schlagfrequenz, geringerer Kontraktionskraft und einer verlangsamten Erregungsleitung. Die Symptomatik reicht von Hypotonie, bradykarden Rhythmusstörungen, EKG-Veränderungen, bis hin zu kardialen Durchblutungs- und Kontraktilitätsstörungen und Asystolie. (29) (27)
- **Indirekte kardiodepressive Wirkung:** Darunter versteht man den toxischen Effekt auf vegetative Zentren, die das Herz-Kreislauf-System regeln. Hierbei kommt es vor allem zur Beeinflussung des Nucleus tractus solitarii, welcher im Hirnstamm lokalisiert ist. Hemmende Nervenverbände werden blockiert, was zu einer verstärkten Sympathikusaktivität führt und Symptome wie Hypertonie, Tachykardie und Herzrhythmusstörungen bedingt (29) (27)

Sofortige Maßnahmen im Falle einer Lokalanästhetika- Intoxikation umfassen die sofortige Beendigung der Verabreichung der Substanz, ansonsten erfolgt eine symptomatische Therapie, wobei eine ausreichende Sauerstoffversorgung im Vordergrund stehen sollte und eine Atemwegssicherung inklusive Beatmung frühzeitig in Erwägung gezogen werden sollten. (27)

4 Blockaden an der oberen Extremität (Plexus brachialis)

4.1 Anatomie

Die Innervation der oberen Extremität erfolgt durch den Plexus brachialis, welcher aus den vorderen Ästen der Spinalnerven der Segmente C5 bis Th1 des Rückenmarks entspringt. Diese bilden zunächst drei übereinanderliegende Stämme (Truncus inferior, medius und superior) und bündeln sich im Bereich der Clavicula zu Faszikeln (Fasciculus lateralis, posterior und medialis, jeweils bezogen auf die Lage zur Arteria axillaris.) (30)

Aus topographischer Sicht wird der Plexus brachialis in eine Pars supraclavicularis, welche die Schulter innerviert, und eine Pars infraclavicularis, welche die Nerven des Armes hervorbringt, unterteilt. (30)

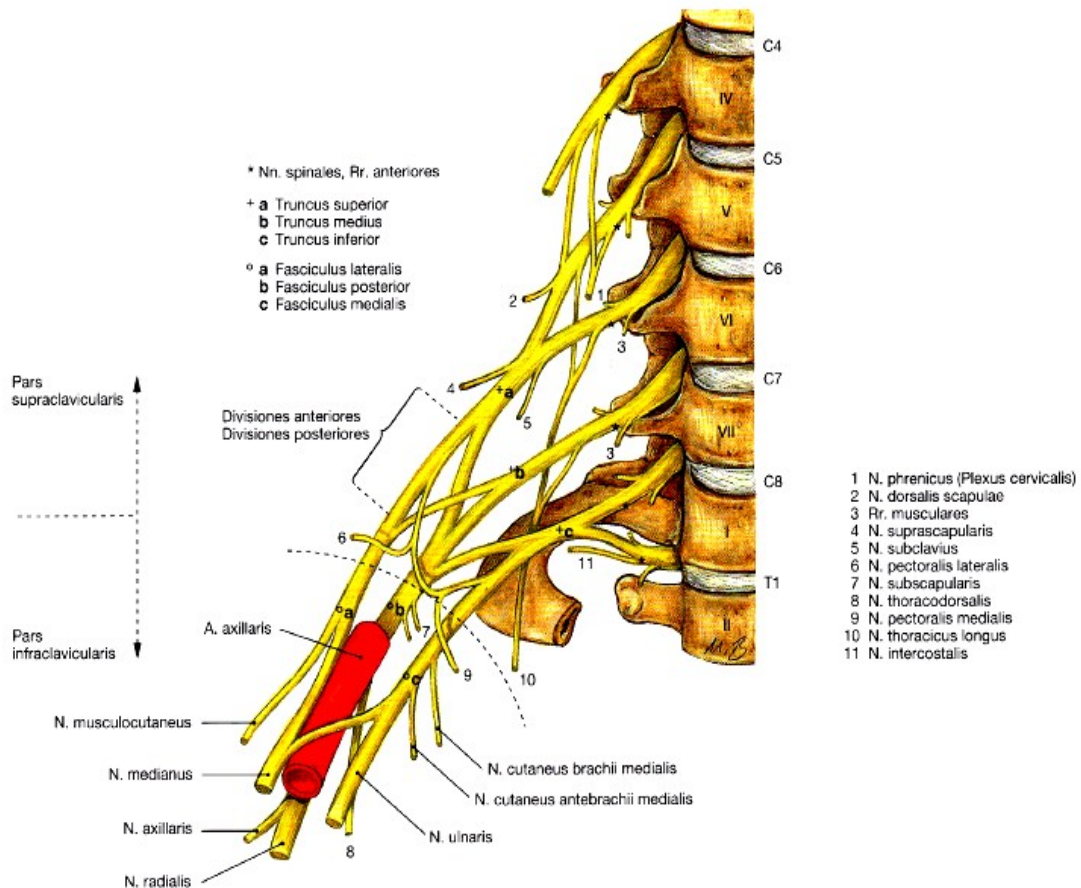


Abbildung 11: Plexus brachialis, Verlauf aus den Segmenten C5-Th1, rechte Seite in ventraler Ansicht (30)

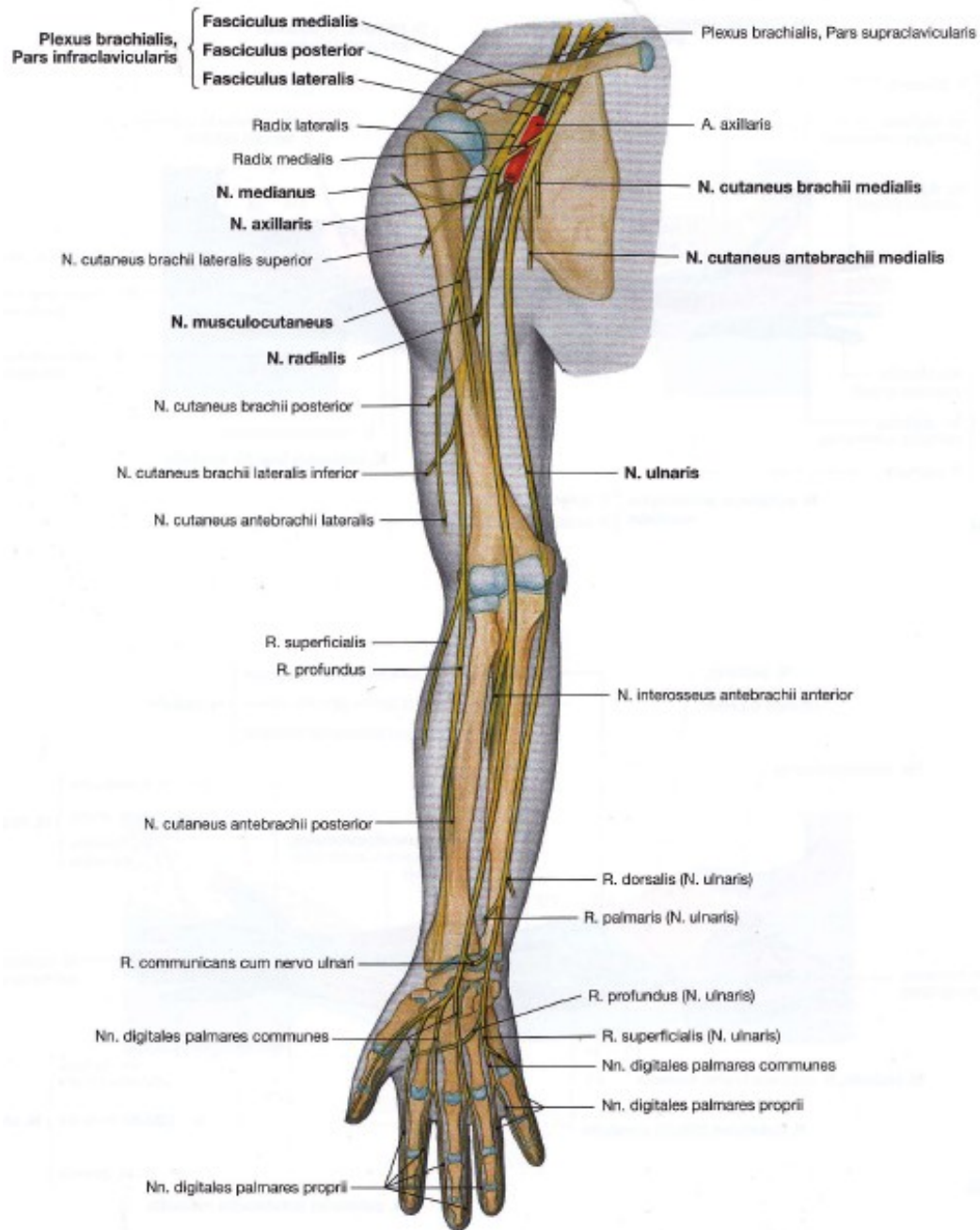


Abbildung 12: Aufteilung des Plexus brachialis, Innervation des rechten Armes in ventraler Ansicht (30)

4.2 Interscalenäre Blockade

4.2.1 Indikation

Die Blockade des Plexus brachialis im Bereich der Scalenuslücke kommt zur Anwendung, wenn Anästhesie im Bereich der Schulter, des lateralen Schlüsselbeines und des radialen Unterarmes im Rahmen von Schulteroperationen oder Reposition von Luxationen erwünscht ist. Es handelt sich um die am weitesten proximale Blockade des brachialen Plexus. (11)

4.2.2 Anatomie

Die Trunci des Plexus brachialis ziehen auf Höhe von C6 durch die Scalenuslücke. Diese findet sich zwischen dem vorderen und dem mittleren Scalenusmuskel. Hinter dem M. sternocleidomastoideus lässt sich die Scalenuslücke gut tasten. Als Orientierungspunkt für die richtige Punktionshöhe dient der Ringknorpel, welcher in etwa dem Niveau von C6 entspricht.

Unterhalb des Plexus brachialis durchlaufen Arteria subclavia und Vena jugularis externa die Scalenuslücke. (11) (31)

4.2.3 Sonographische Darstellung

Der Patient/ die Patientin wird am Rücken gelagert, der Kopf um ca. 45° zur Gegenseite gedreht. Man verwendet einen linearen Schallkopf und platziert diesen auf Höhe des Ringknorpels, parallel zur Clavicula. Die Trunci des Plexus brachialis können so im Querschnitt, zwischen dem M. scalenus anterior und dem M. scalenus medius, als hypoechogene, ovale bis rundliche Strukturen dargestellt werden. Die Vena jugularis interna und die Arteria carotis kommen medial davon zur Darstellung. (31)

Der Plexus brachialis lässt sich im, in Abbildung 13 gezeigten Ultraschallbild am besten auffinden, indem man systematisch vorgeht und bestimmte anatomische Orientierungspunkte Schritt für Schritt aufsucht. Gute Landmarken stellen die

Arteria carotis und die Vena jugularis interna, welche lateral der Arterie zu finden ist, dar. Medial der großen Gefäße finden sich die Schilddrüse und die Trachea. Cranial der großen Gefäße liegt der M. sternocleidomastoideus. Lateral der großen Gefäße findet sich der M. scalenus anterior, noch weiter lateral der M. scalenus medius. Zwischen diesen beiden Muskeln sind die gesuchten Nervenwurzeln darstellbar. (31)

4.2.4 Punktionstechnik

Die interscalenäre Blockade kann sowohl in Out-of-Plane- Technik, als auch in In-Plane- Technik durchgeführt werden, wobei die in Abbildung 14 dargestellte Out-of-Plane- Technik den konventionellen Zugangsweg darstellt. (11)

Wendet man die Out-of-plane Technik an, liegt die Einstichstelle ca. in der Mitte des Schallkopfes, an dessen cranialer Seite. Die Stichrichtung erfolgt entlang der kurzen Achse nach kaudal, mit einem Einstichwinkel von ca. 30°. (11) (31)

Das Erkennen der Nadel im Ultraschallbild kann bei dieser Technik Schwierigkeiten bereiten. Die Nadel stellt sich als echoreicher Punkt dar, der aber nicht zwingend die Spitze der Kanüle sein muss. Besteht diesbezüglich Unsicherheit, ist es hilfreich eine kleine Menge des Lokalanästhetikums zu spritzen um die Nadelspitze sicher identifizieren zu können. (31) (11)

Die Injektion des Lokalanästhetikums sollte unter Ultraschallkontrolle erfolgen. Im Ultraschallbild ist das verabreichte Lokalanästhetikum als hypoechogene Flüssigkeitsansammlung in der Scalenuslücke gut sichtbar. Bedingt durch die mögliche Beobachtung der Ausbreitung des Lokalanästhetikums benötigt man bei Kindern ein Volumen von lediglich 0,2-0,3ml/kg (31) (32)

4.2.5 Spezielle Komplikationen und Risiken

Bei der Interscalenären Blockade können in seltenen Fällen, trotz ultraschallgesteuerter Applikation des Lokalanästhetikums, Komplikationen auftreten. Durch die versehentliche Blockade des benachbarten Ganglion

stellatum kann es zum Horner Syndrom (Ptosis, Miosis, Enophthalmus) kommen. (11)

Eine Phrenicusparese kann entstehen, da der Nervus phrenicus über den vorderen Skalenusmuskel zieht. Dies führt zu einer vorübergehenden Lähmung des Zwerchfells der gleichen Seite, welche sich von selbst zurückbildet. (11)

Eine Sympathikolyse kann einerseits zum Hörverlust und sehr selten zum Bronchospasmus führen. (11)

Auch eine Rekurrensparese stellt eine mögliche Komplikation dar. (11)

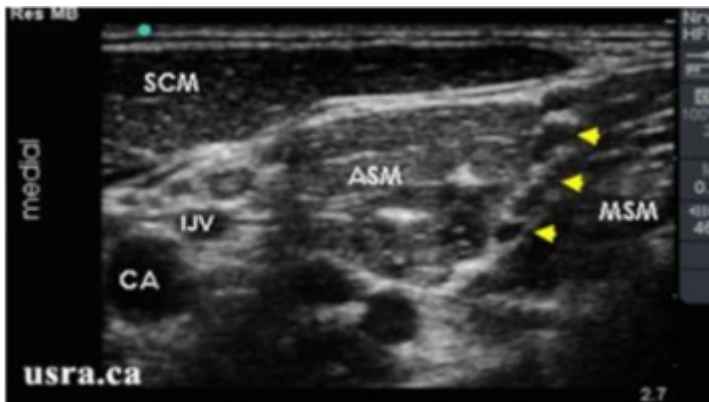


Abbildung 13: Trunci des Plexus brachialis zwischen den Skalenusmuskeln im Ultraschallbild. SCM: M. sternocleidomastoideus, ASM: M. scalenus anterior, MSM: M. scalenus medius, IJV: V. jugularis interna, CA: A. carotis (31)



Abbildung 14: Interskalenäre Blockade- Schallkopf- und Nadelposition (33)

4.3 Supraclaviculäre Blockade

4.3.1 Indikation

Bei diesem Regionalanästhesieverfahren wird der Arm, vom Oberarm weg, nach distal bis zur Hand, anästhesiert bzw. analgesiert. Diese Blockade wird im Rahmen von Operationen in diesem Gebiet und zur Schmerztherapie eingesetzt. (11)

4.3.2 Anatomie

Der Verlauf des Plexus brachialis führt ungefähr in der Mitte des Schlüsselbeines, zwischen diesem und der ersten Rippe nach distal in die Axilla. Die Arteria subclavia liegt medial des Plexus und verläuft mit ihm gemeinsam ebenfalls in Richtung Axilla. Die Pleurakuppel findet sich hinter der Arterie. (11)

4.3.3 Darstellung mittels Ultraschall

Verwendet wird ein linearer Schallkopf, welcher direkt cranial der Clavicula, parallel zu dieser aufgesetzt wird (Abbildung 15). Der Patient/ die Patientin befindet sich in Rückenlage mit dem Kopf etwas zur kontralateralen Seite gedreht. Im Ultraschallbild (siehe Abbildung 16) dient die Arteria subclavia als Leitstruktur und zeigt sich im Querschnitt echoarm, rund mit Pulsation. Direkt unter der Arterie findet sich als echoreiche Struktur die erste Rippe. Noch weiter kaudal davon zeigt sich die Zwerchfellkuppel, als ebenfalls echoreiche, mit der Atmung synchron bewegende Linie. (11) (31)

Der Plexus brachialis befindet sich lateral und posterior der Arteria subclavia, oberhalb der ersten Rippe. Die Trunci kommen als hypoechogene, rundliche bis ovale Strukturen zur Darstellung. (31)

4.3.4 Punktionstechnik

Die Punktion erfolgt mittels In-plane- Technik (in Abbildung 15 gezeigt). Man punktiert am lateralen Ende des Schallkopfes in Richtung medial, wobei darauf zu

achten ist, dass der gesamte Kanülenschaft immer dargestellt werden kann, da sonst die Gefahr einer Pleurapunktion besteht. (31) (11)

Auch hier benötigt man meist nur 0,2-0,3 ml/kg Volumen an Lokalanästhetikum, d.h. die Injektion des Lokalanästhetikums wird gestoppt, sobald sich das LA in gewünschter Weise unter Ultraschallsicht um die Nerven ausgebreitet hat (32)

Wenn die Verteilung des verabreichten Bolus zudem im Ultraschallbild inadäquat erscheint, muss die Injektion gestoppt werden. Die Nadel wird etwas zurückgezogen, und ein neuer Versuch muss unternommen werden. (31)



Abbildung 15: Supraclaviculäre Blockade- Schallkopf- und Nadelposition (33)

4.4 Axillärer Block

4.4.1 Indikationen

Die axilläre Blockade eignet sich gut für Operationen der Hand, des Ellbogens und des Unterarmes. (34) (35)

Es werden z.B. Synovektomien, Osteosynthesen und Weichteileingriffe im genannten Gebiet unter axillärer Plexusblockade durchgeführt. (35)

4.4.2 Anatomie

Die Axilla wird von Gefäßen und Nerven, die den Arm versorgen, durchzogen. Die vordere Begrenzung der Achselhöhle wird vom M. pectoralis major und vom M. pectoralis minor gebildet, die hintere Grenze stellt der M. latissimus dorsi dar. Betrachtet man die Gefäße, liegt die V. axillaris medial, lateral davon verläuft die A. axillaris. (36)

In der Achsel erfolgt die Aufteilung der Faszikel des Plexus brachialis in ihre Äste. Aus dem Fasciculus posterior, welcher dorsal der A. axillaris liegt, gehen der N. axillaris und der N. radialis hervor. (36)

Aus dem medial der Arterie gelegenen Fasciculus medialis und dem lateral der Arterie befindlichen Fasciculus lateralis geht die Medianusgabel hervor, aus der der N. medianus entsteht. Der laterale Faszikel bildet zusätzlich noch den N. musculocutaneus. (36)

Im Rahmen der axillären Blockade werden die beschriebenen peripheren Äste des Plexus brachialis (N. medianus, N. ulnaris, N. radialis und N. musculocutaneus) mit Lokalanästhetikum umspritzt. (31)

4.4.3 Darstellung mittels Ultraschall

Der Patient/ die Patientin wird am Rücken gelagert, der Arm 90° abduziert und im Ellbogen um 90° gebeugt. (11)

Der lineare Schallkopf wird in der Achselfalte quer aufgesetzt, um die Äste des Plexus brachialis bestmöglich im Querschnitt darzustellen. (31)

Die Nerven der Achsel werden in Abbildung 18 sonographisch dargestellt und sehen honigwabenartig aus, wobei die Bindegewebsstrukturen echoreich, die Nerven echoarm und rundlich bis oval zur Darstellung kommen. (31)

Man orientiert sich am besten von der Oberfläche aus in die Tiefe und vom Bereich über der A. axillaris zum darunterliegenden Gebiet. (31)

Zunächst sollten der M. triceps brachii, der M. biceps brachii und der M. coracobrachialis, welche die Arterie umgeben, erkannt und dargestellt werden. In der Tiefe findet sich der Humerus. Die gesuchten Nervenäste liegen relativ oberflächlich, um die Arterie angeordnet, außerhalb der Muskelschichten. (31)

4.4.4 Punktionstechnik

Der axilläre Block kann sowohl mit In-plane-Technik als auch mit Out-of-plane-Technik durchgeführt werden (11) (31)

In dieser Arbeit wird die In-plane- Technik genauer beschrieben und in Abbildung 17 gezeigt.

Man verwendet eine 5cm, 22G Kanüle und sticht sehr flach, entlang der langen Achse des Schallkopfes ein, da die gesuchten Nervenäste sehr oberflächlich liegen. Es ist empfehlenswert, den am tiefsten gelegenen N. radialis zuerst zu blocken und im Anschluss, beim Zurückziehen der Nadel, den N. medianus und den N. ulnaris, welche oberflächlicher liegen, zu umspülen. (31)

Der N. musculocutaneus muss separat geblockt werden. (31)

Zur Anästhesie der einzelnen Nervenäste sind meist jeweils 0,1-0,2 ml/kg Volumen an Lokalanästhetikum erforderlich, wobei es wichtig ist die Umspülung jedes einzelnen Nervs im Ultraschallbild zu kontrollieren. (32) (31)



Abbildung 17: Axilläre Blockade - Schallkopf- und Nadelposition (In- plane-Technik) (33)

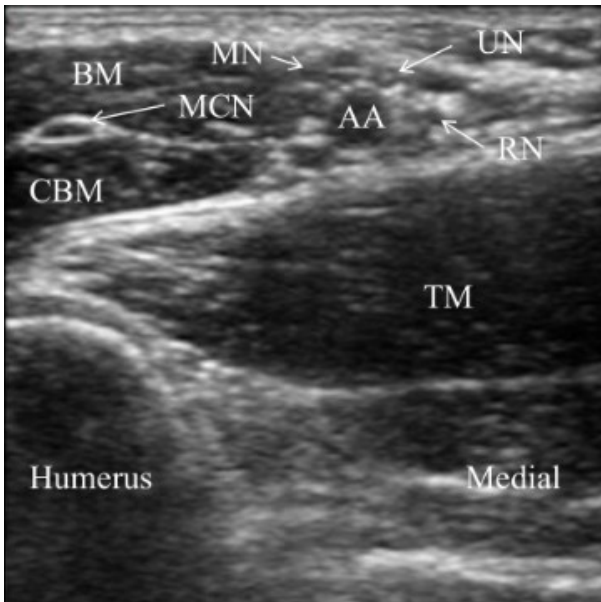


Abbildung 18: Axilläre Blockade- Periphere Äste des Plexus brachialis im Ultraschallbild. BM: M.biceps brachii, MN: N. medianus, UN: N. ulnaris, MCN: N.musculocutaneus, AA: A. axilaris, RN: N. radialis, CBM: M. coracobrachialis, TM: M. triceps brachii (33)

5 Blockaden des Plexus lumbosacralis

5.1 Allgemeine Anatomie

Die nervale Versorgung des Beines erfolgt durch den Plexus lumbosacralis. Dieses, in Abbildung 19 gezeigte Nervengeflecht entspringt aus den vorderen Ästen der Spinalnerven der Segmente Th12-S5 bzw Co1, wobei der aus Th12-L4 hervorgehende Teil Plexus lumbalis und der aus L4-S5, Co1 Plexus sacralis genannt wird. (30)

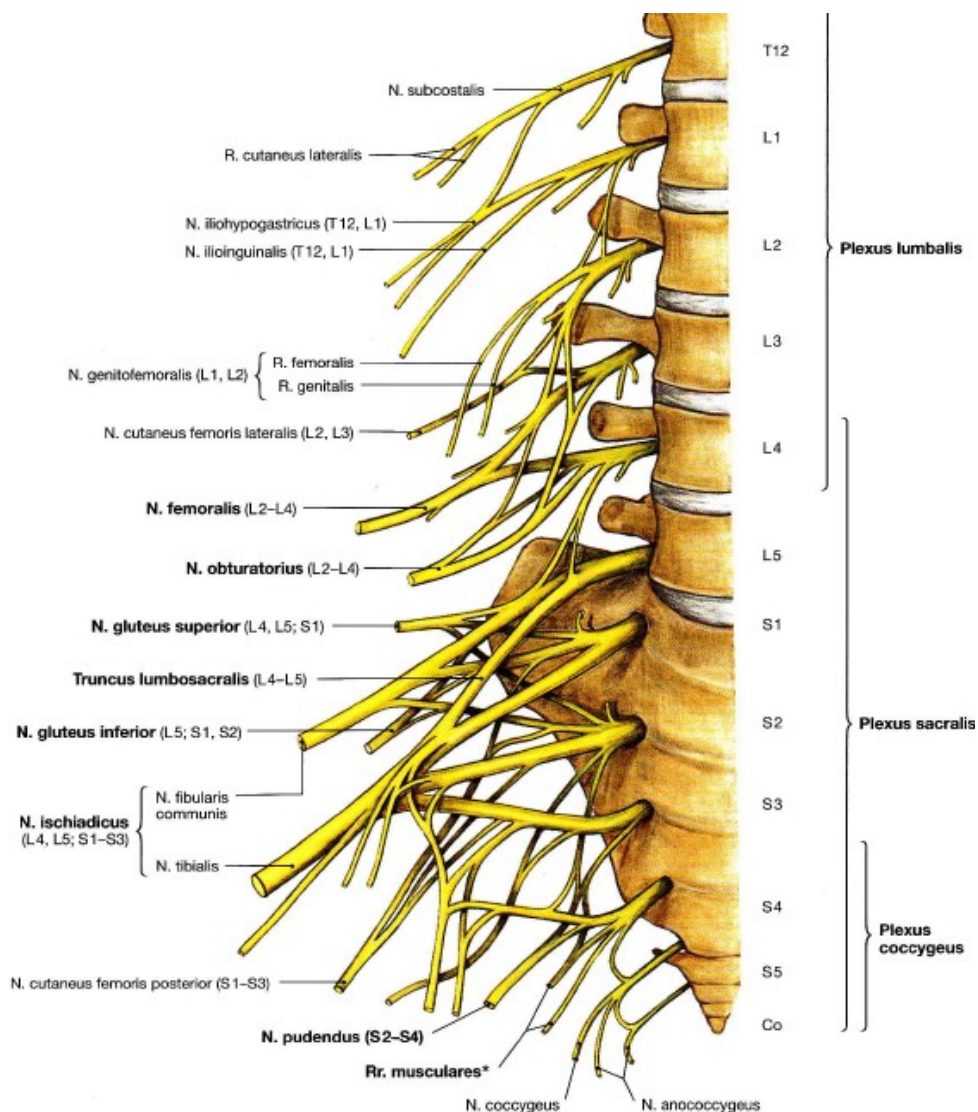


Abbildung 19: Plexus lumbosacralis- Verlauf aus den Segmenten Th12- S5, Co1 in ventraler Ansicht der rechten Seite (30)

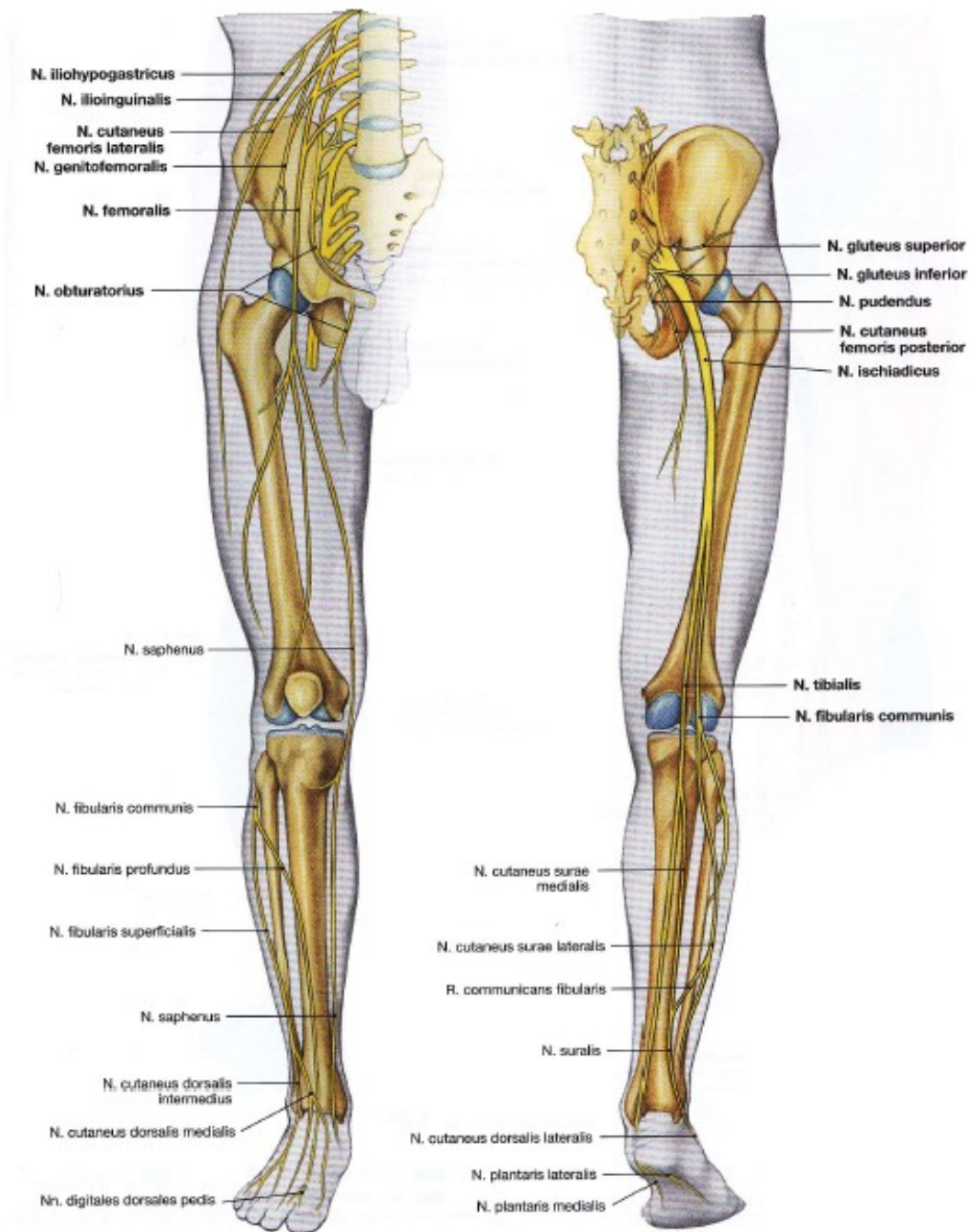


Abbildung 20: Aufteilung des Plexus lumbosacralis zur Innervation des Beines in ventraler und dorsaler Ansicht des rechten Beines (30)

5.2 N. Ilioinguinalis-/ N. Iliohypogastricus Block

5.2.1 Indikationen

Diese Blockade wird bei Kindern, anstatt eines Kaudalblocks im Rahmen von Eingriffen im Bereich der Leiste angewendet. (11) (1)

5.2.2 Anatomie

Sowohl der N.iliohypogastricus, als auch der N. ilioinguinalis entspringen aus dem Rückenmarkssegment L1. (31)

Der Verlauf des N.iliohypogastricus führt durch den großen Psoasmuskel, kreuzt dann den M. quadratus lumborum an seiner vorderen Seite und erstreckt sich an der Hinterseite des unteren Nierenpols nach unten und lateral. (37)

Der N. ilioinguinalis verläuft gemeinsam, allerdings etwas nach unten versetzt mit dem N. iliohypogastricus. (37) (31)

Die beiden Nerven sind vor allem für die Versorgung der Haut im Bereich der Bauchwand, des unteren Abdomens, des oberen Bereiches der Hüfte und des proximalen Oberschenkels zuständig. (31)

5.2.3 Darstellung mittels Ultraschall

Der Patient/ die Patientin wird in Rückenlage gebracht, die Crista iliaca und die Spina iliaca anterior superior sollen am besten markiert werden. Der lineare Schallkopf wird schräg auf einer gedachten Linie zwischen Bauchnabel und Spina iliaca anterior superior aufgesetzt. (Abbildung 22). (31) (33)

Der N. ilioinguinalis und der N. iliohypogastricus liegen in der Faszienebene zwischen dem M. transversus abdominis und dem M. obliquus internus. Das wird in Abbildung 21 im Ultraschallbild gezeigt. Ein wichtiger Orientierungspunkt ist die Spina iliaca anterior superior, welche sich lateral der gesuchten Nerven befindet. (31) (11)

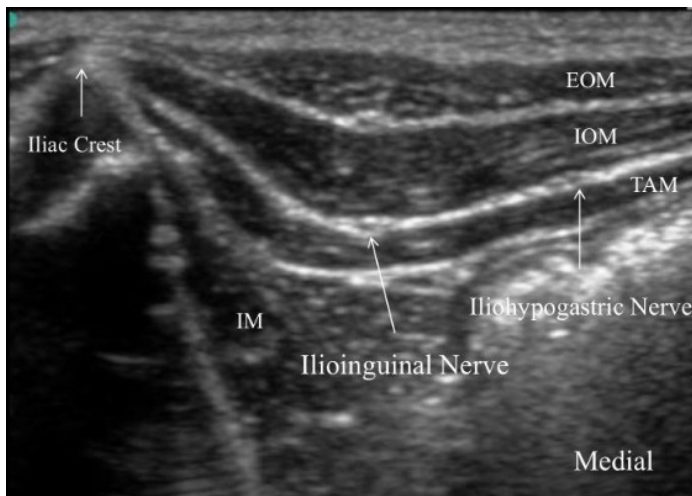


Abbildung 21: Sonographische Darstellung des N.ilioinguinalis und des N.iliohypogastricus zu deren Blockade. EOM: M. obliquus externus, IOM: M. obliquus internus, TAM: M.transversus abdominis, IM: M.iliacus (33)

5.2.4 Punktionstechnik

Die Punktion ist mit beiden Techniken (OUP und IP) möglich. (31)

An dieser Stelle und in Abbildung 22 wird die In-plane-Technik genauer beschrieben.

Man punktiert bei Verwendung der In-plane-Technik parallel zum Schallkopf in der langen Achse. Der gesamte Nadelschaft soll zur Darstellung kommen und beim Vorschieben in die Faszienebene zwischen dem M. obliquus internus und dem M. transversus abdominis beobachtet werden. Die Nadelspitze soll in dem schmalen zwischen diesen beiden Muskelbäuchen befindlichen Raum zu liegen kommen. Es werden 10-20ml Lokalanästhetikum in diesen Raum injiziert. (31)

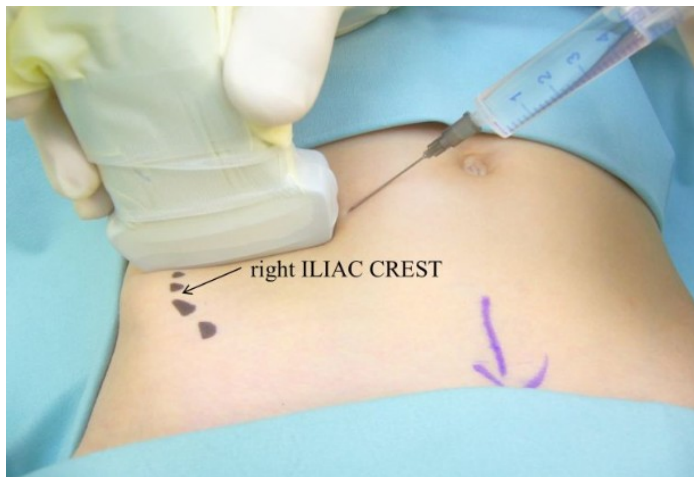


Abbildung 22: Schallkopf- und Nadelposition zur Durchführung einer Iliohypogastricus-/Ilioinguinalis-Blockade (33)

5.2.5 Spezielle Komplikationen und Risiken

Als spezielle Risiken bei dieser Blockade sind Organverletzung durch Manipulation mit der Kanüle oder die unabsichtliche Applikation des Lokalanästhetikums in den Bauchraum zu nennen. (11)

5.3 Distaler N. Ischiadicus- Block (poplitealer Zugangsweg)

5.3.1 Indikationen

Diese Blockade wird vor allem im Rahmen von Eingriffen am Unterschenkel angewendet und gehört zu den im Kindesalter am häufigsten verwendeten Regionalanästhesieverfahren der unteren Extremität. (1)

5.3.2 Anatomie

Der N. ischiadicus zieht im Bereich des Oberschenkels zwischen den beiden Köpfen des M. biceps femoris nach unten. Ungefähr im Bereich der Kniekehle, bei jedem individuellen Patienten/ jeder individuellen Patientin in etwas unterschiedlicher Höhe erfolgt die Aufteilung des Ischiasnervs in den N. tibialis und

den N. fibularis communis. Vor dieser Aufteilung zweigt noch ein Nervenast in Richtung M. biceps femoris, zu dessen Versorgung ab. (11) (36)

5.3.3 Darstellung mittels Ultraschall

Der Patient/ die Patientin wird in Bauchlage gebracht, der lineare Schallkopf wird, wie in Abbildung 24 quer über der Kniekehle aufgesetzt. Der Schallkopf wird auf und ab bewegt, um die Aufteilung des N. ischiadicus in seine Äste aufzufinden und somit Orientierung zu bekommen. Der Nerv wird im Bereich vor seiner Aufteilung blockiert. Er zeigt sich im Ultraschallbild als echoreiche Struktur lateral der A. poplitea. (31)

Bei der ultraschallgezielten Suche nach dem Nerv geht man am besten systematisch von der Oberfläche in die Tiefe und von medial nach lateral. Zuerst sollen Femur und Poplitealarterie aufgesucht werden. Der Knochen findet sich in der Tiefe und wirft einen Schallschatten, die Arterie lässt sich durch ihre Pulsation leicht erkennen und liegt oberhalb des Knochens. Die V. poplitea ist in manchen Fällen auch gut erkennbar. Medial befinden sich der M. semitendinosus und der M. semimembranosus, lateral liegt der M. biceps femoris. (31)(siehe Abbildung 23)

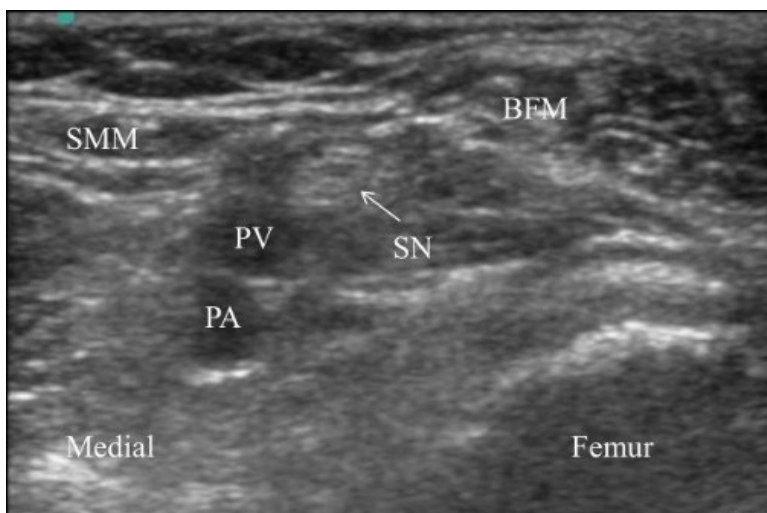


Abbildung 23: Ultraschallbild des N.ischiadicus. SMN:M.semimembranosus, BFM: M.biceps femoris, PV: V.poplitea, PA: A. poplitea, SN: N.ischiadicus (33)

5.3.4 Punktionstechnik

Sowohl die In-plane-Technik, als auch die Out-of-plane Technik sind bei dieser Blockade möglich, allerdings wird zumeist die Out-of-plane-Methode verwendet. Bei dieser Technik wird wie in Abbildung 24 gezeigt, die Kanüle entlang der kurzen Achse vorgeschoben. (31)



Abbildung 24: Schallkopf- und Nadelposition beim distalen Ischiadicusblock (poplitealer Zugang) (33)

5.4 N. Femoralis Block

5.4.1 Indikation

Mit einer alleinigen Blockade des N.femoralis kann die ventrale Seite des Oberschenkels und das Knie anästhesiert werden, was kleine Operationen in dieser Region möglich macht. (1) (11)

Für größere Eingriffe, ab dem unteren Bereich des Oberschenkels nach distal, ist eine gemeinsame Blockade mit dem N. ischiadicus nötig, wobei hier die vom N. obturatorius versorgte Region an der Innenseite des Knies nicht erreicht wird. (11)

Auch als Schmerztherapie zeigt diese Blockade bei Frakturen des Oberschenkels und auch postoperativ gute Erfolge. (11)

5.4.2 Anatomie

Der N. femoralis ist für die motorische Versorgung der Flexoren des Hüftgelenks und für die Extensoren im Kniegelenk verantwortlich. Darüber hinaus werden der ventrale Oberschenkel und der mediale Unterschenkel sensorisch innerviert. (30)

Der N. femoralis verläuft entlang des Sulcus zwischen dem Psoasmuskel und dem M. iliacus, tritt durch die Lacuna musculorum, unter dem Ligamentum inguinale zur ventralen Seite des Oberschenkels durch und teilt sich dort in seine Äste auf. (37) Der N. femoralis verläuft stets lateral der A. femoralis. (31)

5.4.3 Darstellung mittels Ultraschall

Der Patient/ die Patientin wird am Rücken gelagert, mit dem Bein in Neutralposition. Es ist vorteilhaft, die Leistenfalte mit einem Stift zu markieren. Der lineare Schallkopf wird dann schräg, wie in Abbildung 26, entlang der markierten Linie aufgesetzt. (31)

Beim Aufsuchen des Nervs, empfiehlt es sich von medial nach lateral und von der Oberfläche in die Tiefe systematisch vorzugehen und die abgebildeten Strukturen zu benennen. (31)

Zuerst soll die Femoralarterie aufgesucht werden, diese befindet sich lateral der V. femoralis, wobei diese möglicherweise, durch den, mit dem Schallkopf ausgeübten Druck komprimiert wird und somit nicht gleich sichtbar ist. (31) Die Arterie zeigt sich rund, echoarm mit guter Begrenzung und Pulsation. (11)

Der N. femoralis liegt oft in einem echoreichen, aus Binde- und Fettgewebe bestehendem Dreieck, lateral der Femoralarterie und oberhalb des M. iliopsoas. Oberhalb des Nervs stellt sich die Fascia iliaca als echoreiche Linie dar. (31) (11)

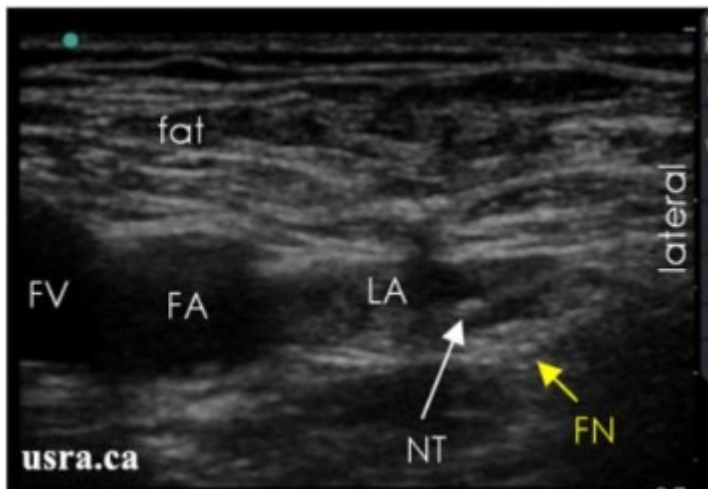


Abbildung 25: N.femoralis im Sonographischen Bild. FV: V.femoralis, FA: A.femoralis, LA: Lokalanästhetikum, NT: Nadelspitze, FN: N. femoralis (31)

5.4.4 Punktionstechnik

Die Punktion kann sowohl in In-plane-Technik, als auch in Out-of-plane-Technik durchgeführt werden. (31)

An dieser Stelle wird die Out-of-plane- Technik näher beschrieben (siehe Abbildung 26).

Bei Verwendung der Out-of- plane- Technik wird, entlang der kurzen Achse, mittig eingestochen. Im Ultraschallbild kommt die Nadel nur als kleiner, weißer Punkt zur Darstellung, was ihr Auffinden schwierig machen kann. Kann man die Nadelspitze nicht gleich lokalisieren, soll die Nadel vorsichtig hin und her und nach oben und unten bewegt werden. (31)

Der hintere Ast des Femoralnervs, welcher den M. quadriceps innerviert, liegt meistens im lateralen Bereich des oben beschriebenen Dreiecks, es ist empfehlenswert diesen Anteil zuerst aufzusuchen und zu blockieren. (31)

Ist die gewünscht Nadelposition erreicht und der Nervenanteil optimal sonographisch dargestellt, werden 20-30ml des Lokalanästhetikums appliziert. Dabei soll Verteilung der echoarmen Flüssigkeit ringförmig um die Nervenstruktur beobachtet werden. (31)



Abbildung 26: Schallkopf- und Nadelposition bei Blockade des N. femoralis in Out-of-plane-Technik (31)

5.5 N. saphenus Block

5.5.1 Indikationen

Der N.saphenus wird zumeist gemeinsam mit dem N. ischiadicus, für Eingriffe am Unterschenkel blockiert. (35)

5.5.2 Anatomie

Der N.saphenus ist der längste Hautast des N. femoralis, das bedeutet also, dass er ausschließlich sensibel versorgt. (31) (36)

Der N. saphenus liegt lateral der Femoralarterie. Sein Verlauf führt durch den Adduktorenkanal, durch die Membrana vastoadductoria, weiter durch die Fascia cruris und schließlich, die V.saphena magna begleitend, an den Innenknöchel. (37)

5.5.3 Darstellung mittels Ultraschall

Der Patient/ die Patientin wird in Rückenlage, mit dem Bein etwas nach außen rotiert positioniert. Der lineare Schallkopf wird am proximalen Oberschenkel quer aufgesetzt. (siehe Abbildung 28). Um den Nerv im Ultraschallbild darzustellen bewegt man sich am besten, mit dem Schallkopf von proximal nach distal in Richtung Knie. Der Nerv kann in der Regel gut im distalen Drittel des Oberschenkels blockiert werden. (31)

Der N. saphenus erscheint, als überwiegend echoreiche Struktur. Zuerst stellt man die Femoralarterie und den M. sartorius, welcher die Arterie von lateral nach medial kreuzt, dar. (31)

Der gesuchte Nerv liegt stets neben der A. femoralis, oft weit in der Tiefe, im Kompartiment unter dem M. sartorius. Im distalsten Bereich des Oberschenkels kommt er an die Oberfläche und ist, wie in Abbildung 27 dargestellt, in der Faszienebene zwischen dem M. sartorius und dem M. vastus medialis zu erkennen. (31)



Abbildung 27: N.saphenus im Ultraschallbild. MVM: M. vastus medialis, SM: M.sartorius, SN: N.saphenus, FA: A. femoralis (33)

5.5.4 Punktionstechnik

Bei Durchführung mittels In-plane- Technik wird, wie in Abbildung 28 gezeigt, eine 5-8cm lange, 22G Nadel entlang der langen Achse des Schallkopfes von lateral nach medial vorgeschoben. Die Kanüle soll in der Faszienebene zwischen den oben beschriebenen Muskel zu liegen kommen. Auch genügt hierbei unter Ultraschallsicht zumeist ein Volumen von 0,2-0,3 ml/kg Lokalanästhesikum, um den Nerv zu blockieren. Das LA wird dabei so injiziert, dass es den Nerven unter Ultraschallsicht ausreichend umspült. (38)



Abbildung 28: Position von Schallkopf und Nadel in In-line-Technik zur N.saphenus Blockade (33)

5.6 Rektusscheidenblock

5.6.1 Indikationen

Die Blockade der Rektusscheide eignet sich gut für Eingriffe im Bereich des Nabels und darüber. Ein Beispiel stellt die Pylorotomie dar, bei der dieses Verfahren sowohl während, als auch nach dem Eingriff für Schmerzfremheit sorgt. (1)

5.6.2 Anatomie

Die Rektusscheide ist ein Bindegewebsüberzug, welcher den M. rectus abdominis und den M. pyramidalis umhüllt. Gebildet wird diese Bindegewebshülle aus den Aponeurosen der lateral gelegenen Bauchmuskeln und den Bauchwandfaszien. Die Rektusscheide kann in ein vorderes und ein hinteres Blatt, einen oberen und einen unteren Bereich unterteilt werden. (30) (4)

Im Abschnitt ober dem Nabel werden vorderes und hinteres Blatt von den Aponeurosen der seitlichen Bauchmuskeln gebildet, unter dem Nabel, im Bereich der Linea arcuata vereinigen sich die beiden Blätter und verlaufen vor dem M. rectus abdominis. (4)

Im unteren Bereich weist die Lamina posterior nur eine geringe Dicke auf und besteht nur mehr aus der Fascia transversalis und dem Peritoneum parietale. (4) (30)

Die aus den Segmenten Th9-12 und L1 entspringenden Spinalnerven sind mit ihren Ästen für die Versorgung der Bauchwand verantwortlich (11)

5.6.3 Darstellung mittels Ultraschall

Der Patient/ die Patientin wird am Rücken gelagert, die lineare Ultraschallsonde seitlich etwas oberhalb des Nabels positioniert. Der M. rectus abdominis und der hintere Teil der Rektusscheide sollen zur Darstellung kommen. (11)

Wie in Abbildung 29 zu sehen, sind auch der M. obliquus externus, der M. obliquus internus und der M. transversus abdominis einzustellen. (33)



Abbildung 29: Sonographische Darstellung der Rektusscheide. RAM: M.rectus abdominis, EOM: M. obliquus externus, IOM: M. obliquus internus, TAM: M. transversus abdominis (33)

5.6.4 Punktionstechnik

Bei kleinen Kindern und Babies ist es aufgrund der geringen Dicke der Muskulatur von Vorteil, die in Abbildung 30 gezeigte In-plane-Technik zu verwenden. Die Stichrichtung erfolgt von lateral nach medial. (11)

Vom Lokalanästhetikum werden ca 0,1-0,25ml/kg auf jeder Seite zwischen den M. rectus abdominis und die hintere Rektusscheide appliziert. (11) (1)



Abbildung 30: Rektusscheidenblock - Schallkopf- und Einstichposition in In-line-Technik (33)

5.6.5 Spezielle Komplikationen und Risiken

Mögliche Komplikationen im Rahmen dieses Verfahrens, stellen Verletzungen des Darms oder Einblutungen in die Bauchwand dar. Durch die Verwendung von Ultraschall kann das Auftreten solcher Komplikationen allerdings stark minimiert werden. (1)

5.7 Peniswurzelblock

5.7.1 Indikationen

Der Peniswurzelblock wird v.a. zur Durchführung von Zirkumzisionen angewendet, er kann aber auch bei anderen Eingriffen (z.B. Hypospadie) verwendet werden. (39)

5.7.2 Anatomie

Die sensible Innervation des Penis erfolgt durch den N. dorsalis penis, welcher aus dem N. pudendus entspringt. Die sympathische Versorgung erfolgt durch die aus den Segmenten L1-L3 hervorgehenden Nerven, die parasympathische Innervation aus den Segmenten S2-S4 des Rückenmarks. (37)
Beim Peniswurzelblock wird der N. dorsalis penis blockiert. (15)

Abbildung 31 zeigt eine Übersicht der bei dieser Blockade relevanten anatomischen Strukturen im Sagittalschnitt. (39)

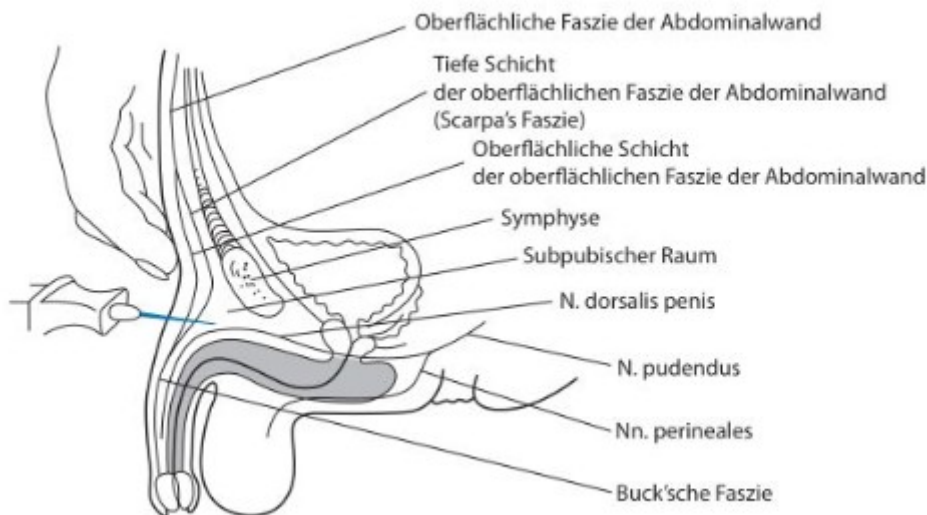


Abbildung 31: wichtige anatomische Strukturen bei Durchführung eines Peniswurzelblocks im Sagittalschnitt

5.7.3 Darstellung mittels Ultraschall und Punktionstechnik

Die Symphyse wird markiert, der lineare Schallkopf darunter quer aufgesetzt. (siehe Abbildung 32). (33)

Ziel ist es unter Ultraschall-Kontrolle beidseits den N. dorsalis penis, welcher sich im subpubischen Raum befindet zu blockieren. Hierbei muss die tief liegende Scarpa's Faszie mit der Nadel durchdrungen werden. Im Ultraschallbild soll überwacht werden, dass die tiefe Faszie beidseits vom applizierten Lokalanästhetikum erreicht wird. (40)

Die Punktion erfolgt in Out-of-plane- Technik, also entlang der kurzen Achse. (33)

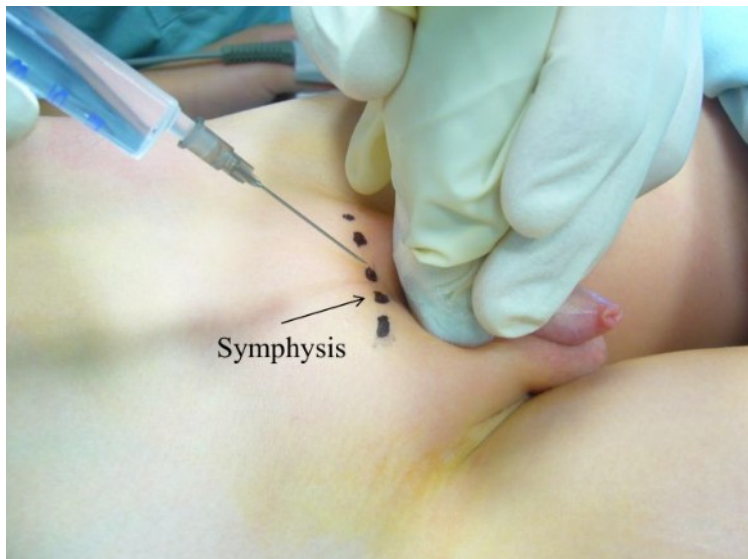


Abbildung 32: Schallkopf- und Nadelposition zur Durchführung eines Peniswurzelblocks (33)

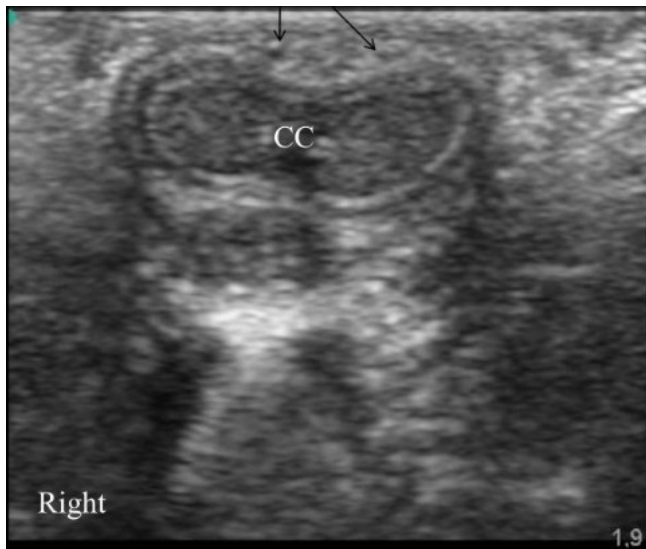


Abbildung 33: Sonographische Darstellung der anatomischen Strukturen beim Peniswurzelblock, mit Pfeil markiert Arterien (33)

6 Abschlussstatement

Abschließend kann gesagt werden dass die Anwendung von Regionalanästhesieverfahren im Kindesalter grundsätzlich, wie in der Arbeit bereits erwähnt, schon viele Vorteile bringt.

Bezüglich der Durchführung konnten einige Studien zeigen, dass die ultraschallgezielte Methode von Vorteil ist.

So konnten z.B. Ponde V.C. et al. zeigen, dass die Durchführung einer N.Ischiadicus- und N. Femoralis- Blockade, bei Operationen am Fuß bezüglich der Erfolgsrate mit Hilfe von Ultraschall der Nervenstimulationsmethode überlegen ist.

(41) (42)

Oberndorfer et al verglichen die ultraschallgezielte Methode mit der Nervenstimulationsmethode beim Ischiadicus- und Femoralisblock, bezüglich Erfolgsrate, Blockadedauer bis zum ersten postoperativen Schmerzmittelbedarf und benötigte LA Menge. Es konnte gezeigt werden, dass mit Ultraschallsteuerung die Erfolgsrate höher ist und eine längere Blockadedauer mit einer geringeren Menge an LA erreicht werden kann. (43)

Der Umfang der Studienlage zu diesem Thema ist derzeit noch begrenzt, aber es zeigt sich jetzt schon ein klarer Trend in Richtung der ultraschallgezielten Durchführung von Regionalanästhesieverfahren im Kindesalter. Um diese Aussagen noch zu untermauern, sind weitere Studien nötig.

7 Literaturverzeichnis

1. Messerer B, Platzer M, Justin C, Vittinghoff M. Regionalanästhesiologische Verfahren im Kindesalter. *Der Schmerz*. 2014;28(1): p. 67-81.
2. Striebel HW. *Die Anästhesie*. 3rd ed. Frankfurt: Schattauer; 2013.
3. Gorsemski G, Dinse-Lambracht A, Tugtekin I, Gauss A. Ultraschallgesteuerte periphere Regionalanästhesie. *Der Anästhesist*. 2012;61(8): p. 711-721.
4. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. *Prometheus- LernAtlas der Anatomie*. 2nd ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2007.
5. Kahle W, Frotscher M. *Taschenatlas Anatomie in 3 Bänden- 3 Nervensystem und Sinnesorgane*. 9th ed. Stuttgart: Thieme; 2005.
6. Seibt W. *Physik für Mediziner*. 6th ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2012.
7. Trautwein , Kreibig , Hüttermann. *Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten*. 7th ed. Berlin: Walder de Gruyter; 2008.
8. Birnbaum , Albrecht. *Ultraschallgestützte Regionalanästhesie*. 1st ed. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2008.
9. Kauffmann W, Moser E, Sauer R. *Radiologie*. 3rd ed. München: Urban & Fischer; 2007.
10. Reisner M, Kuhn FP, Debus J. *Radiologie- Duale Reihe*. 3rd ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2013.
11. Birnbaum J, Albrecht R. *Ultraschallgestützte Regionalanästhesie*. 2nd ed. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag; 2013.
12. Keßler J, Marhofer P, Rapp HJ, Hollmann MW. Ultraschallgezielte Anästhesie peripherer Nerven. *Der Anästhesist*. 2007;56(7): p. 642-655.
13. Marhofer P. *Ultrasound Guidance for Nerve Blocks: Principles and Practical Implementation*. 1st ed. Oxford: Oxford University Press; 2008.
14. Neuburger M, Schwemmer U, Volk T, Gogarten W, Kessler P, Steinfeldt T. Lokalisation peripherer Nerven. *Der Anästhesist*. 2014;63(5): p. 422-427.
15. Jöhr M. *Kinderanästhesie*. 8th ed. München: Urban& Fischer; 2013.
16. Lerman J, Strong H, LeDez K, Swartz J, Rieder M, Burrows F. Effects of age on the serum concentration of alpha 1- acid glycoprotein and the binding of lidocaine in pediatric patients.

- Clinical Pharmacology and Therapeutics. 1989;46(2): p. 219-225.
17. Striebel HW. Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin- Für Studium und Ausbildung. 8th ed. Frankfurt am Main: Schattauer ; 2012.
 18. Kock-Institut KfKlB.R. Anforderungen an die Hygiene bei Punktionen und Injektionen. Bundesgesundheitsblatt. 2011;54: p. 1135-1144.
 19. Mutschler E, Geisslinger G, Kroemer HK, Schäfer-Korting M. Mutschler Arzneimittelwirkungen. 8th ed. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH; 2001.
 20. GmbH, AstraZeneca Österreich. www.pharmazie.com. [Online].; 2013 [cited 2016 März 11. Available from: www.pharmazie.com/graphic/A/09/0-14209.pdf.
 21. Breschan C, Hellstrand E, Likar R, Lönnquist P. Early signs of toxicity and "subtoxic" conditions in infant monitoring. Bupivacaine plasma levels following caudal anesthesia. Der Anästhesist. 1998;47(4): p. 290-294.
 22. GmbH A. www.pharmazie.com. [Online].; 2015 [cited 2016 März 15. Available from: www.pharmazie.com/graphic/A/75/1-23475.pdf.
 23. GmbH AÖ. www.pharmazie.com. [Online].; 2015 [cited 2016 März 15. Available from: www.pharmazie.com/graphic/A/01/1-21501.pdf.
 24. Notheisen T, Eichholz R, Armbruster W, Weber S, Greim C. Nadelspitzennavigation 2,0 - Aktuelle Techniken für Gefäßpunktionen und ultraschall- gesteuerte Regionalanästhesie. Anästhesiologie & Intensivmedizin. 2016;57(3): p. 112-9.
 25. Neuburger M, Büttner J. Komplikationen bei peripherer Regionalanästhesie. Der Anästhesist. 2011;60(11): p. 1014-1026.
 26. Kretz FJ, Schäffer J. Anästhesie, Intensivmedizin, Notfallmedizin, Schmerztherapie. 5th ed. Heidelberg: Springer Medizin Verlag; 2008.
 27. Hein L, Graf BM. Pharmakotherapie in der Anästhesie und Intensivmedizin- Grundlagen und klinische Konzepte. 1st ed. Tonner PH, Hein L, editors. Heidelberg: Springer-Verlag GmbH; 2011.
 28. Plata C, Böttinger BW, Dagtekin O. Lokalanästhetikaintoxikation und "lipid resuscitation". Notfall und Rettungsmedizin. 2013;16(3): p. 188-195.
 29. Zink W, Graf BM. Toxikologie der Lokalanästhetika- Pathomechanismen- Klinik- Therapie. Der Anästhesist. 2003;52(12): p. 1102-1123.
 30. Paulsen F, Waschke J, editors. Sobotta - Atlas der Anatomie des Menschen. 23rd ed. München: Elsevier GmbH; 2010.

31. Hospital TW. USRA- Regional Anesthesia. [Online].; 2008 [cited 2016 April 26. Available from: www.usra.ca.
32. Marhofer P, Willschke H, Kettner SC. Ultrasound-guided upper extremity blocks- tips and tricks to improve the clinical practice. *Pediatric Anesthesia*. 2012;22(1): p. 65-71.
33. Breschan C. Präsentation: Häufige Blockaden bei Kindern. 2014..
34. Schulz-Stübner S. Plexus brachialis- Anästhesie und Analgesie. *Der Anästhesist*. 2003;52(7): p. 643-652.
35. Hatzenbühler M. Pocket Guide - Regionalanästhesie. 1st ed. Neustadt/Weinstraße: Springer-Verlag GmbH; 2011.
36. Platzer W. Taschenatlas Anatomie- 1 Bewegungsapparat. 10th ed. Innsbruck und Leutasch: Georg Thieme Verlag; 2009.
37. Waldeyer AJ. Waldeyer Anatomie des Menschen- Lehrbuch und Atlas in einem Band. 18th ed. Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R, editors. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co. KG; 2009.
38. Oberndorfer U, Marhofer P, Bösenberg A, Willschke H, Felfernig M, Weintraud M. Ultrasonographic guidance for sciatic and femoral nerve blocks in children. *British Journal of Anaesthesia*. 2007;98(6): p. 797-801.
39. Frei F, Erb T, Jonmarker C, Sümpelmann R, Werner O. Kinderanästhesie. 4th ed. Heidelberg: Springer Medizin verlag; 2009.
40. Sandeman D, Dilley A. Ultrasound guided dorsal nerve block in children. *Anaesthesia and Intensive Care*. 2007;35(2): p. 266-9.
41. Ponde VC, Desai AP, Dhir S. Ultrasound-guided sciatic nerve block in infants and toddlers produces successful anaesthesia regardless of the motor response. *Pediatric Anaesthesia*. 2010;20: p. 633-637.
42. Ponde V, Desai AP, Shah D. Comparison of success rate of ultrasound-guided sciatic and femoral nerve block and neurostimulation in children with arthrogyrosis congenita: a randomized clinical trial. *Pediatric Anesthesia*. 2012;23: p. 74-78.
43. Oberndorfer U, Marhofer P, Bösenberg A, Willschke H, Felfernig M, Weintraud S, et al. Ultrasonographic guidance for sciatic and femoral nerve blocks in children. *British Journal of Anaesthesia*. 2007;98(6): p. 797-801.