Universitätsklinikum Ulm
Klinik für Anästhesiologie
Ärztlicher Direktor Prof. Dr. med. M. Georgieff

Überprüfung geeigneter anatomischer Landmarken für einen distalen, lateralen Zugang zum Nervus ischiadicus

- Eine anatomische und magnetresonanz-tomographische Untersuchung -

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
Medizinischen Fakultät
der Universität Ulm

vorgelegt von
Ida Anneli Morken
aus Oslo, Norwegen

2009

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Klaus-Michael Debatin

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Alexander Brinkmann

2. Berichterstatter: PD Dr. Ulrich Liener

Tag der Promotion: 23.04.2010

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis **V**

1 Einleitung und Fragestellung **7**

1.1 Ischiadikusblockaden *8*

1.2 Distale Ischiadikusblockaden *8*

2 Material und Methoden **12**

2.1 Studiendesign *12*

2.2 Probanden *12*

2.3 Anatomische Präparate *12*

2.4 Versuchsaufbau der Probandenstudie *13*

2.4.1 Erfasste Parameter 14

2.4.2 Durchführung der Messungen im MRT 15

2.4.3 Versuchsaufbau der Anatomiestudie (Sektionsstudie) 20

2.4.4 Durchführung der Messungen an den anatomischen Präparaten 21

2.5 Statistische Auswertung *21*

3 Ergebnisse **22**

3.1 Biometrische Daten der anatomischen Präparate *22*

3.1.1 Biometrische Daten der Probanden 24

3.1.2 Vergleich des Abstands der Punktionsorte zur Bifurkationsstelle des N. ischiadicus 29

3.1.3 Abstand Kniegelenkspalt von den Punktionsorten 30

3.1.4 Darstellung des Abstands von Gefäß, Knochen und Nerv zu den Punktionsorten 30

3.1.5 Vergleich der minimalen Abstände Gefäß von Nerv und Knochen von Nerv 31

3.1.6 Vergleich der Winkel zur Horizontalen an den Punktionsorten 1 und 2 33

3.1.7 Vergleich des Oberschenkeldurchmessers mit der Tiefe des Nervs 34

3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse *36*

4 Diskussion **38**

4.1 Ergebnisse dieser Arbeit *38*
4.1.1 Überprüfung von zwei neuen distalen, lateralen Zugangswegen zum N. ischiadicus 38
4.1.2 Bedarf an neuen komfortableren und zuverlässigeren Punktionsorten 39
4.1.3 Zentrale Ergebnisse 40
4.2 Bifurkation *40*
4.3 Zugangswege und Landmarken *43*
4.4 Einstichwinkel, Einstichtiefe und Beziehung zu Knochen und Gefäßen *49*
4.5 Einflussfaktoren auf den Blockadeerfolg *52*
4.5.1 Nervenstimulationstechnik 52
4.5.2 Wahl des Lokalanästhetikums 57
4.6 Rolle der MRT für die Studie *59*
4.7 Schlussfolgerung *60*

5 Zusammenfassung 62

6 Literaturverzeichnis 64

Lebenslauf 69

Danksagung 71

Abkürzungsverzeichnis

®	eingetragenes Warenzeichen
3D	dreidimensional
A.	Arterie
ASA	American Society of Anesthesiologists
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
D	Durchmesser
et al.	und andere
F	Frau
FA	Flipwinkel (flip angel)
FoV	Field of view
h	Stunde
HF	Hochfrequenz
kg	Kilogramm
LA	Lokalanästhetikum
M	Mann
M.	Musculus
MAD	mean absolute deviation
min	Minute
mm	Millimeter
Mm.	Musculi
MPR	multiplanare Rekonstruktion
MPRAGE	Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo Imaging
MR	Magnetrezonanz
MRT	Magnetrezonanztomographie
N.	Nervus
n	Anzahl
Nn.	Nervi
OP	Operation
p	Signifikanzniveau
PO	Punktionsort
TA	Akquisitionszeit

TE	“Time to echo”, Echozeit
TI	Inversionszeit
TR	“Time to repeat”, Repetitionszeit
V.	Vena

1 Einleitung und Fragestellung

Periphere Nervenblockaden spielen eine zunehmende Rolle in der anästhesiologischen Routine. Für die untere Extremität ist der Nervus (N.) ischiadicus als einer der Hauptnerven in der sensomotorischen Versorgung des Beines von besonderer Relevanz. Operative Eingriffe am Oberschenkel, Knie, Unterschenkel und Fuß sind deshalb mögliche Indikationen für Blockaden des N. ischiadicus.

Obwohl periphere Nervenblockaden in den letzten Jahren wieder deutlich an Bedeutung gewonnen haben, sowohl als Anästhesieverfahren als auch als Katheterverfahren zur Schmerztherapie und Sympatikolyse, kamen Blockaden des Plexus lumbosacralis im Vergleich zu regionalanästhesiologischen Blockaden der oberen Extremität deutlich seltener zur Anwendung.[43] In einer Umfrage zeigte sich, dass 60-70% der befragten Mitglieder der American Society of Anesthesiologists (ASA), Blockaden des Plexus brachialis durchführten, während proximale Ischiadikusblockaden nur von 20 % und distale Ischiadikusblockaden sogar lediglich von 11% der befragten amerikanischen Anästhesisten eingesetzt wurden.[28] Nervenblockaden an der oberen Extremität sind zum Teil technisch einfacher durchzuführen als die Nervenblockaden an der unteren Extremität.

Ergebnisse aus mehreren Studien zeigten sehr unterschiedliche Erfolgsraten für distale, laterale Ischiadikusblockaden. Eine Studie von Taboada et al. erbrachte, dass die Erfolgsrate dieser Ischiadikusblockade mit 68% deutlich niedriger lag als bei proximalen Blockaden. Der Einsatz einer Vollnarkose oder einer zusätzlichen Fentanylgabe wurde auch signifikant häufiger benötigt.[62] Hadzic et al. hatten laut ihrer Untersuchungen eine viel höhere Erfolgsrate (96 %) bei dem distalen, lateralen Zugang zum N. ischiadicus.[27] Paqueron et al. erreichten wiederum nur eine Erfolgsrate von 54% für ihre distalen, lateralen Blockaden.[53] In diesen Studien wurden unterschiedliche Techniken und Punktionsorte benutzt, um den N. ischiadicus von distal und lateral zu

erreichen. Die zahlreichen, unterschiedlichen Zugangswege spiegelten sich zusammenfassend auch in der hohen Variabilität der Erfolgsraten wieder.

1.1 Ischiadikusblockaden

Seit der Erstbeschreibung von Ischiadikusblockaden durch Läwen 1911 sind viele Zugangswege zum N. ischiadicus beschrieben worden; hierzu gehören Blockadetechniken vom Austritt des N. ischiadicus aus dem Foramen infrapiriforme im Bereich des Beckens bis zur kniegelenknahen Gabelung des N. ischiadicus in seine zwei Hauptäste.[3,24,27,33,34,42,52,54,66,70] Es wird deshalb in der klinischen Praxis zwischen proximalen und distalen Zugängen zum N. ischiadicus unterschieden.[43]

Ein Nachteil der proximalen, dorsalen Blockaden ergibt sich durch die Erfordernis, dass der Patient in Seitenlage liegt, was z.B. bei schwangeren, adipösen und polytraumatisierten Patienten ungünstig sein kann.[13,33,36,52].Bei diesen proximalen Techniken werden als Leitstrukturen beim Aufsuchen des Punktionsortes knöcherne Strukturen benutzt. Die anatomische Orientierung kann bei adipösen Patienten und bei Patienten mit Hüftendoprothesen aufgrund mangelnder knöcherner Leitpunkte problematisch sein.[47] Eine andere Schwierigkeit ist die Gefahr einer akzidentiellen Gefäß- und Nervenverletzung (Arterie [A.] bzw. N. femoralis [anteriore Blockade] und A. glutea inferior bzw. N. gluteus inferior [transgluteale Blockade]).[43] Der mögliche Knochenkontakt, der bei der transglutealen Punktion vorkommen kann, vermindert wegen der hohen Schmerzhaftigkeit die Akzeptanz des Verfahrens durch den Patienten.[3,44,54]

1.2 Distale Ischiadikusblockaden

Distale Blockaden haben im Vergleich zu proximaleren Blockaden den Vorteil, dass sie die Funktion der Hüfte und des Oberschenkels nicht beeinträchtigen und deshalb eine frühe ambulante Betreuung ermöglichen.[40]

Die distale Ischiadikusblockade wird schon 1922 von Labat beschrieben.[33] Es gibt Zugänge von dorsal und von lateral am distalen Oberschenkel.

Vorteile der distalen, lateralen Blockade sind unter anderem, dass aufwändige Lagerungsmaßnahmen unterbleiben können und auf dem Weg der Nadel zum Nerven die großen Gefäße des Oberschenkels vor deren Durchtritt durch die Lacuna vasorum nach dorsal nicht verletzt werden können. Distal des Durchtritts liegen sie medial des N. ischiadicus.[35]

Die Beurteilung der distalen, lateralen Blockademethoden in der Literatur wird bisher aber kontrovers geführt. Inkomplette Blockaden kommen gelegentlich vor, denn die Einstichpunkte liegen häufig doch distal der Aufteilung des N. ischiadicus in seine Hauptäste.[70] Die erfolgreiche Anlage eines Katheters zur kontinuierlichen Schmerztherapie ist somit problematisch, da eine suffiziente Blockade beider Hauptäste des N. ischiadicus distal der Bifurkation des Nervs unwahrscheinlich wird. Das Problem der überwiegenden Mehrheit der lateralen Methoden ist auch ein zu ventraler Einstichpunkt, der letztendlich zu einem potentiellen schmerzhaften Knochenkontakt führt.[50,51]

Das Aufsuchen des zu blockierenden Nervs richtet sich häufig an knöchernen Orientierungspunkten aus. Dies ist bei vielen Patientengruppen schwierig. Wenn zur Behebung dieser Schwierigkeiten von festen Maßen ausgegangen wird, um die Leitpunkte zu identifizieren, wie z.B. 5-10 cm oberhalb der Kniegelenkspalte, wie sie zum Teil in der Literatur diskutiert werden, tritt das Problem auf, dass sie nur bei einem Teil der Erwachsenen tatsächlich zutreffen. Bei den Patienten, bei denen diese Maße nicht stimmen, kann es zu Komplikationen kommen, wie z.B. schmerzhafter Knochenkontakt, Nervenschädigungen, Gefäßpunktionen und Zeitverzögerung.

Das Wissen über die Topographie des N. ischiadicus orientiert sich hauptsächlich an fixierten anatomischen Präparaten. Die natürlichen anatomischen Verhältnisse sind möglicherweise verfälscht durch Veränderungen bei der Fixation und Deformation sowie durch Verlust von

natürlichem Muskeltonus.[20,65] Durch moderne Bildgebungsverfahren wie z.B. die Magnetresonanztomographie (MRT) ist es möglich, unter Benutzung von Querschnittsaufnahmen anatomische Informationen von höchster Qualität und Präzision zu erzielen. Diese Methoden sind bis jetzt nur in wenigen anatomischen Untersuchungen verwandt worden.[20,29]

Die in der Literatur beschriebenen distalen Zugangswege zum N. ischiadicus erbringen offensichtlich sehr unterschiedliche Blockadeerfolgsquoten. [53,59,67] Es bedarf daher weiterer Untersuchungen, um die distalen, lateralen Zugangswege zu verbessern. Um solch eine Studie, in der zwei mögliche Punktionsorte konkret diskutiert werden, geht es in der vorliegenden Arbeit.

Zwei neue, reliable Punktionstellen am distalen Oberschenkel entlang der Muskelloge zwischen M. vastus lateralis und M. biceps femoris sollen mit Hilfe der MRT und anatomischen Präparationen dargestellt und unter bestimmten Kriterien verglichen werden (siehe Abb. 1).

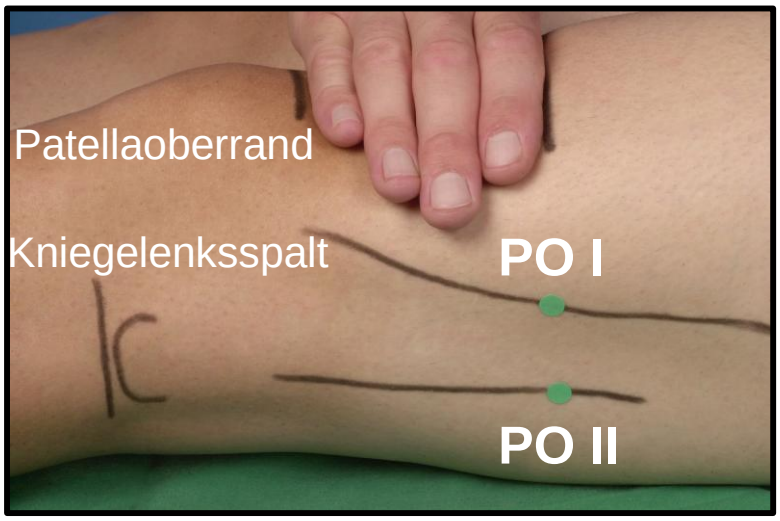


Abb. 1 Punktionsorte (PO) 1 und 2 in der Übersicht.[7]

- **Punktionsort 1:** Eine Patientenhandbreit proximal dem Oberrand der Patella am anterioren Unterrand des M. vastus lateralis.

- **Punktionsort 2**: Eine Patientenhandbreit proximal dem Oberrand der Patella oberhalb der langen Bizepssehne.

Die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit lauten:

- Wie liegen die auf der Haut markierten Punktionsorte in anatomischer Beziehung zum N. ischiadicus und zu umgebenden Gefäßen und Knochen?

- Wo befindet sich die Bifurkation des N. ischiadicus in Bezug zu den verwendeten Landmarken und in Bezug zum Kniegelenkspalt?

- Eignete sich die Handbreite (Höhe Fingergrundgelenke) des Patienten, um individuelle Landmarken für den distalen, lateralen Zugang zu determinieren?

- Unterscheiden sich die Ergebnisse der MRT-Untersuchungen von den Ergebnissen der anatomischen Messungen und Präparationen an den Leichenpräparaten?

Aus obigen Ergebnissen ergibt sich die Hauptfragestellung:

- Welcher der beiden oben erwähnten Punktionsorte wäre am geeignetsten für den distalen, lateralen Zugangsweg zum N. ischiadicus und somit im klinischen Alltag primär zu bevorzugen?

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign

Nach der Genehmigung durch die Ethikkommission Ulm wurde eine prospektive Untersuchung bei gesunden Probanden durchgeführt.

2.2 Probanden

Um die Punktionsorte für den distalen, lateralen Zugang zum N. ischiadicus evaluieren zu können, wurden gesunde Probanden mit Hilfe der MRT untersucht.

Nach Aufklärung und Einwilligung in die vorliegende Studie wurden 20 gesunde Probanden rekrutiert (14 Männer und 6 Frauen).

Als Ausschlusskriterien bei der Auswahl der Probanden galten die Kontraindikationen für MRT wie z.B. Herzschrittmacher, Innenohrimplantate, Granatsplitter und endovaskuläre Implantate (z.B. Stents, Kavafilter jeweils abhängig vom verwendeten Material). Die Probanden waren an den unteren Extremitäten nicht operiert und besaßen keine Fehlbildungen.

Nach Aufklärung über das Verfahren, die Art der Studie und nach radiologischer Beurteilung bezüglich ihrer Eignung zur MRT-Untersuchung unterzeichneten die Probanden eine schriftliche Einverständniserklärung, mit der sie sowohl die Teilnahme an der Studie als auch die Erlaubnis zur wissenschaftlichen Auswertung, der von ihnen erhobenen Daten und Messwerte bestätigten. Die Probanden wurden auf einer Liege positioniert und lagen auf dem Rücken. Das zu behandelnde Bein befand sich in Neutralposition.

2.3 Anatomische Präparate

Im anatomischen Teil der Studie wurden 23 Leichen von Erwachsenen untersucht, davon waren 8 männlich und 15 weiblich (46 Leichenbeine). Die untersuchten Leichen waren ohne deutlich pathologische Befunde an den

unteren Extremitäten. Es handelte sich um frische, nicht fixierte Leichen. Sie waren für anatomische Ausbildungszwecke bereitgestellt worden. Die Untersuchungen waren genehmigt und wurden unter Oberaufsicht der Abteilung Anatomie der Universität Ulm im Anatomiesaal derselben Universität durchgeführt. Die Leichen wurden auf einem Tisch in Bauchlage gelagert, so dass die Längsrichtung der unteren Extremität horizontal auf dem Tisch ausgerichtet war. Die Füße der Leichen bildeten einen Winkel von 90° zur Horizontalebene. Die anatomischen Orientierungsstrukturen von der Regio glutaea bis zur Fossa poplitea wurden freipräpariert.

2.4 Versuchsaufbau der Probandenstudie

Mit Dokumentationsbögen wurden die studienrelevanten Daten der Probanden erfasst.

Die zwei potentiellen Einstichstellen bei den Probanden wurden anhand der Leitpunkte zunächst mit einem geeigneten Filzstift gekennzeichnet und dann mit einer Nitro-Kapsel Nitrolingual® markiert. Mit Hilfe der Nitrokapsel konnte die potentielle Einstichstelle in der MRT gut identifiziert werden. Diese Methode war bereits in der Literatur evaluiert und dokumentiert.[49] Die Probanden befanden sich in Rückenlage. Die Unterschenkel waren mit Hilfe eines Lagerungskissens unterpolstert, sodass sowohl der distale Oberschenkel als auch die Kniekehle frei lagen. Die Längsachse der Beine war so ausgerichtet, dass die Füße der Probanden in einem Winkel von 90 Grad zur Unterlage fixiert werden konnten. Nach Markierung der Punktionsorte I und II erfolgte die MRT-Untersuchung. Im Bereich des distalen Oberschenkels wurden beidseits Schnittbilder mit einer Schichtdicke von 1 mm Voxelgröße erstellt. An der Stelle, an der sich die Nitrokapsel auf dem späteren MRT-Bild abbildete, wurden die Messungen am transversalen sowie am coronaren Schnittbild vorgenommen.

Im Folgenden wurde der Einfachheit halber meistens die A. und die Vena (V.) poplitea als „Gefäß“ sowie der N. ischiadicus bzw. seine Teiläste nach der

Bifurkation (N. tibialis und N. fibularis communis) als „Nerv“ zusammengefasst und anstelle des Femurs wurde nur vom „Knochen“ gesprochen.

2.4.1 Erfasste Parameter

Von den Probanden wurden folgende Parameter registriert:

Biometrische Daten:

- Alter
- Geschlecht
- Gewicht
- Größe
- Durchmesser der Hand (auf Höhe der Fingergrundgelenke)

Folgende Daten wurden am MRT-Bild im Bereich der markierten Punktionsorte vermessen:

- Durchmesser des Oberschenkels auf Höhe der Punktionsorte 1 und 2
- Abstand der Punktionsorte 1 und 2 vom N. ischiadicus
- Winkel zur Horizontalen der Strecke von den Punktionsorten 1 und 2 zum N. ischiadicus
- Abstand der Bifurkation des N. ischiadicus vom Kniegelenkspalt
- Abstand der Bifurkation des N. ischiadicus von den Punktionsorten 1 und 2
- Abstand der Punktionsorte 1 und 2 vom Kniegelenkspalt
- Abstand der Punktionsorte 1 und 2 zum Gefäß (A. poplitea)

- Winkel zur Horizontalen der Strecke von den Punktionsorten 1 und 2 zum Gefäß (A. poplitea)
- Abstand der Punktionsorte 1 und 2 zum Knochen (Femur)
- Winkel zur Horizontalen der Strecke von den Punktionsorten 1 und 2 zum Knochen (Femur)

2.4.2 Durchführung der Messungen im MRT

Zur Untersuchung der Punktionsstellen bei den Probanden wurden ein 1,5 Tesla Magnet Siemens Symphony® Tomograph (Fa. Siemens, Erlangen, Deutschland) mit einer Oberflächenspule verwendet. Das 3D-Datenvolumen wurde mit der Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo Imaging (MPRAGE)-Funktion der MRT-Arbeitsstation analysiert.

Diese Kernspintechnik, 3D-TurboFLASCH (Fast Low Angel Shot)-Technik mit MPRAGE-Funktion, unterscheidet sich von anderen Techniken dadurch, dass die Messdauer auf Werte zwischen einigen hundertstel Millisekunden und wenigen Sekunden reduziert wird. T1-gewichtete 3D-Datenvolumen mit hoher Auflösung werden innerhalb kürzester Zeit erzeugt und die Bewegungsartefakte werden bei dieser Kernspintechnik stark reduziert. Die Vorteile, die die konventionelle 3D-Bildgebung bietet (hohes Signal-zu-Rausch-Verhältnis, dünne, zusammenhängende Schichten und die Möglichkeit der multiplanaren Rekonstruktion), sind bei der 3D-TurboFLASCH mit MPRAGE gegeben.[14]

Für die Studie wurde eine in Coronal-, Transversal- und Sagitalebene T1-gewichtete MPRAGE-Sequenz verwendet, mit 1x1x1 mm isotropen Voxel Größe, einer Bildmatrix von 512x512, 144 Schichten mit 22% Schichtüberlappung und einem „Field of view“ (FOV) von 500 mm als Protokoll. Die Repetitionszeit (TR) betrug 1680 ms, die Echozeit (TE) 4,38 ms, die

Inversionszeit (TI) 810 ms, der Flipwinkel α 15°, die Bandbreite 130 Hz/px und die Akquisitionszeit (TA) 14 min 22s.

Der Nerv wurde rekonstruiert zwischen dem Ausgang aus dem Becken hinter dem M. quadratus femoris und der Aufteilung des Nervs in N. tibialis und N. fibularis. Die Bifurkation des N. ischiadicus in ihre zwei Teiläste wurde in der Axialebene festgelegt. Wenn der Abstand zwischen N. fibularis und N. tibialis größer als der Durchmesser des N. tibialis war, wurde dies als Bifurkation definiert. Die Höhe der Bifurkation wurde als der Abstand vom Kniegelenkspalt auf der X-Achse festgelegt. Der Querschnitt von N. tibialis und N. fibularis wurde gemessen.

Die jeweils größten Diameter in dem entsprechenden Schnittbild wurden als Durchmesser bestimmt und ausgemessen. Für die Bestimmung der Winkel wurde im geeigneten Schnittbild eine Gerade durch den jeweils zu untersuchenden Punkt (z.B. Punktionsort 1 oder 2) und die entsprechende anatomische Struktur (z.B. Knochen, Nerv oder Gefäß) gezogen. Danach wurde die Horizontale ebenfalls durch den zu untersuchenden Punkt gelegt und der Winkel zur Geraden bestimmt. Dieser wurde als Winkel des entsprechenden Punktes zur anatomischen Struktur angegeben (z.B. Winkel Punktionsort 1 zum Nerv). Negative Winkelangabe bedeutet einen Winkel der Strecke zur Horizontalen nach dorsal, positive Winkelangabe bedeutet einen Winkel zur Horizontalen nach ventral, jeweils ausgehend von der Markierung auf der Haut zum angegebenen Ort. Zur Messung der Abstände wurde eine Gerade zwischen den Punktionsorten (Außenrand) und der jeweiligen anatomischen Struktur (Außenrand) gezogen und diese ausgemessen (siehe Abb. 2).

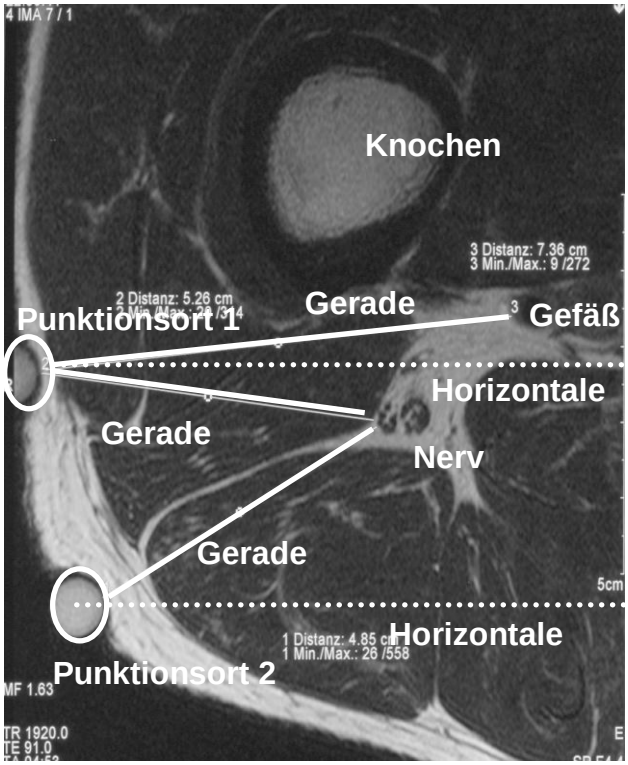


Abb. 2 Messung der Winkel an den Punktionsorten 1 und 2 zwischen der Horizontalen und den jeweiligen Geraden der anatomischen Strukturen. Die Abstände zu den anatomischen Strukturen entsprechen den Geraden.[7]

Bei der MRT wird ein lokales Magnetfeld erzeugt, wodurch sich die Protonen innerhalb dieses Magnetfelds entsprechend ausrichten. Diese Protonen (oder “spins“) werden durch einen elektrischen Hochfrequenz-Puls (elektro-magnetischer Puls) angeregt. Das dabei entstehende elektro-magnetische Induktionsfeld zeichnen Detektorspulen auf. Der Hochfrequenz-Impuls (HF-Impuls) und die Protonen müssen die gleiche Geschwindigkeit und Frequenz haben. Abhängig von der Kernrelaxationszeit unterscheidet man zwei Relaxationszeiten – T1 (ca. 300-2000 ms) und T2 (30-150 ms). Das empfangene Signal hängt von der Protonendichte, der Bewegung und dem Fluss, der molekularen Diffusion, der T1- und T2-Zeit, dem Sequenztyp, der Parameterwahl und weiteren Faktoren ab. Um ein Bild von ausreichender Qualität zu erhalten wrden bestimmte HF-Impulse wiederholt. Das Zeitintervall zwischen zwei Pulsen wird als Repetitionszeit bzw. “time to repeat“, TR,

bezeichnet. Die Zeit vom ersten HF-Impuls bis zum Auftreten eines Echos wird Echozeit oder “time to echo“, TE, genannt.[17,18]

Anders als z.B. bei der Computertomographie (CT) sind beim MRT die Schnittebenen in frei wählbarer Raumrichtung möglich, ohne dass der Patient dabei umgelagert werden muss. Es werden lediglich durch Zuschalten anderer Spulen die Magnetfeldgradienten geändert.

Bei der MRT entspricht “weiß“ einer hohen Signalintensität und “schwarz“ einer geringen. Dabei unterscheiden Fayad und Fuster[17] zwischen:

- T1- gewichteten Bildern, wie bei der vorliegenden Untersuchung benutzt, mit kurzer Echo- und Repetitionszeit, in denen Fett und Knochenmark hell, Leber, Milz, Darm, Liquor und Wasser dagegen dunkel erscheinen.
- T2 gewichteten Bildern mit längerer Echo- und Repetitionszeit, in denen Wasser, Liquor, Zysten und Ödeme hell und Fett dunkel dargestellt sind.
- Protonen-dichten-Bildern mit langer Repetitions- und kurzer Echozeit, in denen Fett hell und Liquor dunkel sind.

Die ersten Artikel über die Bildgebung von peripherem, nervalem Gewebe mit Hilfe von MRT wurden 1987 und 1989 publiziert.[6,26] Die Terminologie Magnetresonanz (MR)-Neurographie wurde 1992 eingeführt.[30]

Die meisten Techniken, die in der Klinik Verwendung finden, um periphere Nerven zu beurteilen, benutzen T2-gewichtete spin-echo Sequenzen und inversion-recovery (IR) - Sequenzen für Fettsättigung.[12,71] Aber für optimale anatomische Informationen sollten T1-gewichtete Sequenzen benutzt werden.[19,45,71]

Wegen ähnlicher T1- und T2- Relaxionszeit für Nerv und Muskel, ist die MR-Neurographie häufig behindert durch schlechte Trennschärfe zwischen Nerven und angrenzendem Gewebe.[30] Als eine mögliche Lösung wird eine Kombination von diffusionsgewichteter Bildgebung und fettunterdrückten, T2-

gewichteten Sequenzen vorgeschlagen[30], was aber nicht im klinischem Alltag zur Anwendung kommt.

In wenigen Studien werden bislang 3D Datenvolumen mit unterschiedlichen Sequenzen für intrakranielle MR-Neurographie benutzt.[32,48,56] MR-Neurographie von peripheren Nerven wird bisher nur mit 2D Sequenzen beschrieben. Aber periphere, hochauflösende 3D Datenvolumen mit isotropen Auflösungen machen es möglich, gekrümmt verlaufende Strukturen - wie periphere Nerven - anhand der multiplanare Rekonstruktions (MPR) - Technik deutlicher darzustellen. In dieser Arbeit wurde deshalb eine isotropen T1-gewichtete MPRAGE-Sequenz gewählt, um ein Maximum an anatomischen Informationen zu erhalten. Gleichzeitig ergab sich damit die Möglichkeit mit Hilfe der MPR-Technik besser den gekrümmten Verlauf der Nerven darstellen zu können.[22]

Um den Verlauf des N. ischiadicus über den ganzen Oberschenkel und die nahe liegenden Strukturen (d.h. Gefäße und Knochen) mit MR-Neurographie zu untersuchen, ist ein großes „Field of view“ von 500 mm in der Frontalebene nötig.[22]

T1-gewichtete Bilder sind besonders gut geeignet, um regionale Anatomie, periphere Nerven, Muskulatur und Blutgefäße darzustellen.[37] Es hat sich herausgestellt, dass die MRT über ein großes Potential zur Darstellung und Charakterisierung von Körperbestandteilen verfügt. Die MRT unterscheidet Körperkomponenten auf der Basis von biophysikalischen und biochemischen Parametern (wie z.B. chemischer Zusammensetzung und Konzentration, Wassergehalt, physikalischer Zustand, Molekularbewegung und Diffusion). Der Vorteil der MRT gegenüber anderen bildgebenden Verfahren zeigt sich in der diagnostischen Radiologie durch eine oft bessere Darstellbarkeit vieler Organe. Dies resultiert aus der unterschiedlichen Signalintensität, die von verschiedenen Weichteilgeweben ausgeht. Darüberhinaus kann bei der MRT-Technik auf eine potenziell schädliche ionisierende Strahlung verzichtet werden. Oftmals ist auch die Verwendung eines Kontrastmittels unnötig. Dadurch ist die MRT für den Patienten kaum belastend und kann oft wiederholt

werden. Manche Organe werden erst durch die MRT-Untersuchung darstellbar (z. B. Nerven- und Hirngewebe). Auch kann durch Variation der Untersuchungsparameter eine sehr hohe Erkennbarkeit von Details erreicht werden. Somit übertrifft die MRT das konventionelle Röntgen als auch die Computertomographie bei der Darstellbarkeit in gewissen Bereichen. Hochauflösende MRT ist eine sensitive, diagnostische Methode, um periphere Nerven zu identifizieren und zu untersuchen. Sie stellt eine geeignete Technik dar, um Plexus lumbosacralis und N. ischiadicus zu evaluieren.[37,46]

2.4.3 Versuchsaufbau der Anatomiestudie (Sektionsstudie)

Mit Dokumentationsbögen wurden die studienrelevanten Daten der anatomischen Präparate erfasst und folgende Parameter gemessen und registriert:

Biometrische Daten der anatomischen Präparate:

- Geschlecht
- Körpergröße
- Durchmesser der Hand (auf Höhe der Fingergrundgelenke)
- Abstand der Bifurkation des N. ischiadicus vom Kniegelenkspalt
- Durchmesser des N. tibialis auf Höhe der Bifurkation
- Durchmesser des N. fibularis auf Höhe der Bifurkation
- Durchmesser des N. ischiadicus auf Punktionshöhe

2.4.4 Durchführung der Messungen an den anatomischen Präparaten

Die zu untersuchenden anatomischen Strukturen (z.B. Gefäß, Knochen oder Hand) wurden dargestellt und falls nötig freipräpariert. Danach wurden sie mit Hilfe von Zirkel und Lineal auf den Millimeter genau vermessen. Die Messwerte wurden tabellarisch erfasst. Wenn der Abstand zwischen N. tibialis und N. fibularis größer als der Durchmesser von N. tibialis war, war die Bifurkation gefunden.

2.5 Statistische Auswertung

Die Analysen der Daten erfolgte mit dem Programm Statview, SAS (Version 5.0, Statview for windows, SAS Institute Inc. Copyright© 1992-1998, USA).

Im Text, in den Tabellen und Abbildungen wurden die Werte als Median sowie Minimum und Maximum und/oder MAD (mean absolute deviation) angegeben. Da es sich um nicht normalverteilte Werte handelte, wurden die Ergebnisse in den folgenden Abbildungen verteilungsfrei als Box-plot (Median, 5%-, 25%-, 75%- und 95%- Perzentile) präsentiert. Im Rahmen der Berechnung der Interferenzstatistik kam zum Gruppenvergleich der Mann-Whitney U-Test zur Anwendung. Das Signifikanzniveau lag bei $p < 0,05$.

3 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die in der vorliegenden Studie ermittelten Daten und Auswertungen grafisch und tabellarisch dargestellt.

3.1 Biometrische Daten der anatomischen Präparate

Im Folgenden sind die wesentlichen biometrischen Daten der Auswertung der anatomischen Studie aufgeführt. Die Daten wurden in Tab. 1 und Tab. 2 aufgelistet.

Tab. 1 Biometrische Daten von allen anatomischen Präparaten. Durchmesser (D); Nervus (N.); Median; mean absolute deviation (MAD); Minimum; Maximum; Anzahl (n).

Präparate n=23	**Median**	**MAD**	**Minimum**	**Maximum**
Größe (cm)	161,0	7,0	147,0	175,0
D Hand (cm)	7,6	0,5	6,5	8,9
D N. tibialis (cm)	0,6	0,1	0,4	1,1
D N. fibularis (cm)	0,4	0,1	0,3	0,8
D N. ischiadicus (cm)	1,0	0,1	0,7	1,6

Tab. 2 Biometrische Daten der anatomischen Präparate - rechts versus links. (Mann-Whitney). Durchmesser (D); Nervus (N.); Median; mean absolute deviation (MAD); Minimum; Maximum; Signifikanzniveau (p); Anzahl (n).

rechts/links, n=23	**Median**	**MAD**	**Minimum**	**Maximum**	**p rechts/links**
D Hand rechts (cm)	7,6	0,5	6,6	8,7	0,8951
D Hand links (cm)	7,6	0,5	6,5	8,9	
D N. tibialis rechts (cm)	0,6	0,1	0,4	1,1	0,7335
D N. tibialis links (cm)	0,6	0,1	0,5	1,0	
D N. fibularis rechts (cm)	0,4	0,1	0,3	0,8	0,3677
D N. fibularis links (cm)	0,4	0,1	0,3	0,7	
D N. ischiadicus rechts (cm)	1,0	0,1	0,7	1,6	0,7752
D N. ischiadicus links (cm)	1,0	0,1	0,7	1,2	

Darstellung des Abstandes der Bifurkationsstelle des N. ischiadicus vom Kniegelenkspalt.

An den anatomischen Präparaten wurde der Abstand der Bifurkationstelle des N. ischiadicus vom Kniegelenkspalt ermittelt. Dabei lag der Median der Bifurkationsstelle des N. ischiadicus 6,5 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes. Dies wurde auch grafisch in Abb. 3 dargestellt.

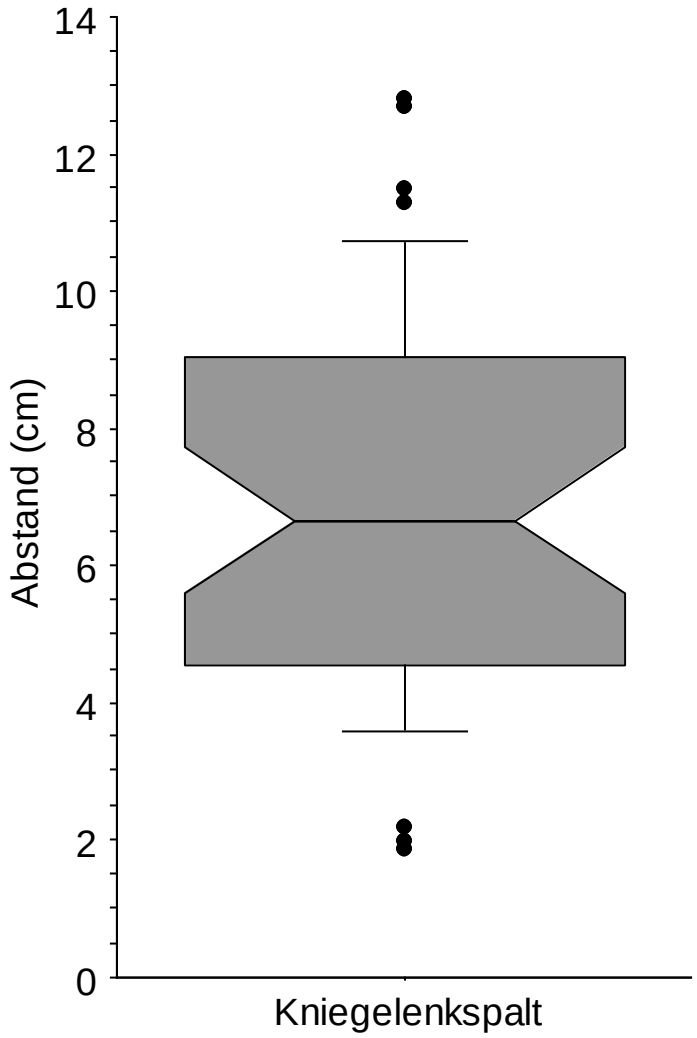


Abb. 3 Darstellung des Abstands der Bifurkation des Nervus ischiadicus vom Kniegelenkspalt, aufgezeichnet als Boxplot (Mediane, 25%- und 75%- Quartile sowie Minimum und Maximum).

3.1.1 Biometrische Daten der Probanden

Im Folgenden (siehe Tab. 3 und Tab. 4) wurden die wesentlichen biometrischen Daten der Probanden aufgeführt. Die Daten wurden geschlechtsspezifisch erhoben.

Tab. 3 Biometrische Daten aller Probanden. Durchmesser (D); Nervus (N.); Median; mean absolute deviation (MAD); Minimum; Maximum; Signifikanzniveau (p); Anzahl (n).

Probanden n=20	**Median**	**MAD**	**Minimum**	**Maximum**
Gewicht (kg)	73,0	6,0	45,0	95,0
Größe (cm)	177,5	5,0	155,0	185,0
Alter (a)	30,0	3,5	12,0	49,0
D Hand (cm)	8,5	0,4	7,2	9,1
D N. tibialis (cm)	0,6	0,1	0,4	0,8

Tab. 4 Biometrische Daten der Probanden - rechts versus links (Mann-Whitney). Punktionsort (PO); Durchmesser (D); Nervus (N.); Median; mean absolute deviation (MAD); Minimum; Maximum; Signifikanzniveau (p); Anzahl (n).

Rechts versus links, n=20	**Median**	**MAD**	**Minimum**	**Maximum**	**p rechts/links**
D Oberschenkel PO 1 rechts (cm)	13,4	0,6	11,1	15,3	0,6949
D Oberschenkel PO 1 links (cm)	13,5	0,4	10,7	15,2	
D Oberschenkel PO 2 rechts (cm)	13,4	0,7	11,1	15,3	0,5075
D Oberschenkel PO 2 links (cm)	13,4	0,3	10,7	10,2	
D Hand rechts (cm)	8,5	0,5	7,2	9,1	0,5075
D Hand links (cm)	8,5	0,3	7,3	9,0	
D N. tibialis rechts (cm)	0,5	0,1	0,4	0,7	0,1677
D N. tibialis links (cm)	0,6	0,0	0,4	0,8	

N. ischiadicus, Gefäße und Knochen

Bei allen Probanden ließ sich der N. ischiadicus bilateral identifizieren auch in Arealen mit engem Kontakt zu isointensen Muskeln. A. und V. femoralis, A. und V. poplitea und Femur ließen sich ebenfalls gut darstellen.

Bifurkationsstelle des N. ischiadicus bei den Probanden

Bei der statistischen Auswertung der Probandendaten zeigte sich, dass die Bifurkationsstelle des N. ischiadicus im Median in einem Abstand von 5,5 cm vom Kniegelenkspalt entfernt lag, wie es aus der Grafik in Abb. 4 zu entnehmen ist.

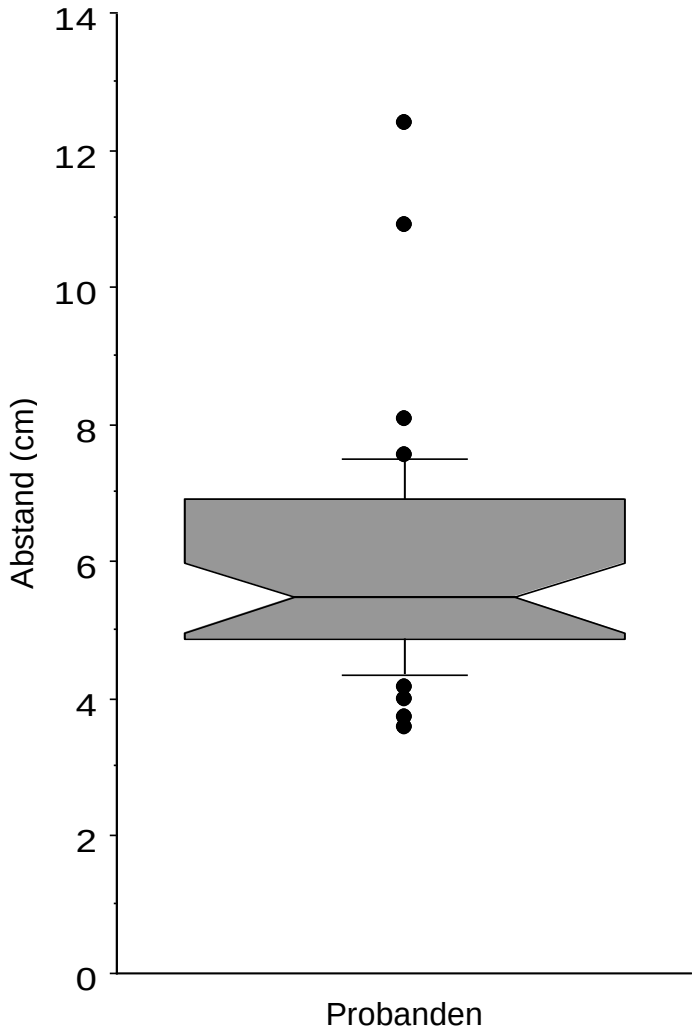


Abb. 4 Abstand der Bifurkation des Nervus ischiadicus vom Kniegelenkspalt bei den Probanden. Dargestellt als Boxplot (Mediane, 25%- und 75%- Quartile sowie Minima und Maxima).

Vergleich zwischen den Bifurkationsstellen des N. ischiadicus einerseits bei den Probanden und andererseits bei den anatomischen Präparaten.

Es wurde der Abstand der Bifurkation des N. ischiadicus vom Kniegelenkspalt bei den Probanden und den anatomischen Präparaten verglichen (siehe Grafik in Abb. 5). Dabei konnte der Median für die Probanden von 5,5 cm und für die anatomischen Präparate von 6,5 cm ermittelt werden. Die statistische Auswertung ergab somit keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen.

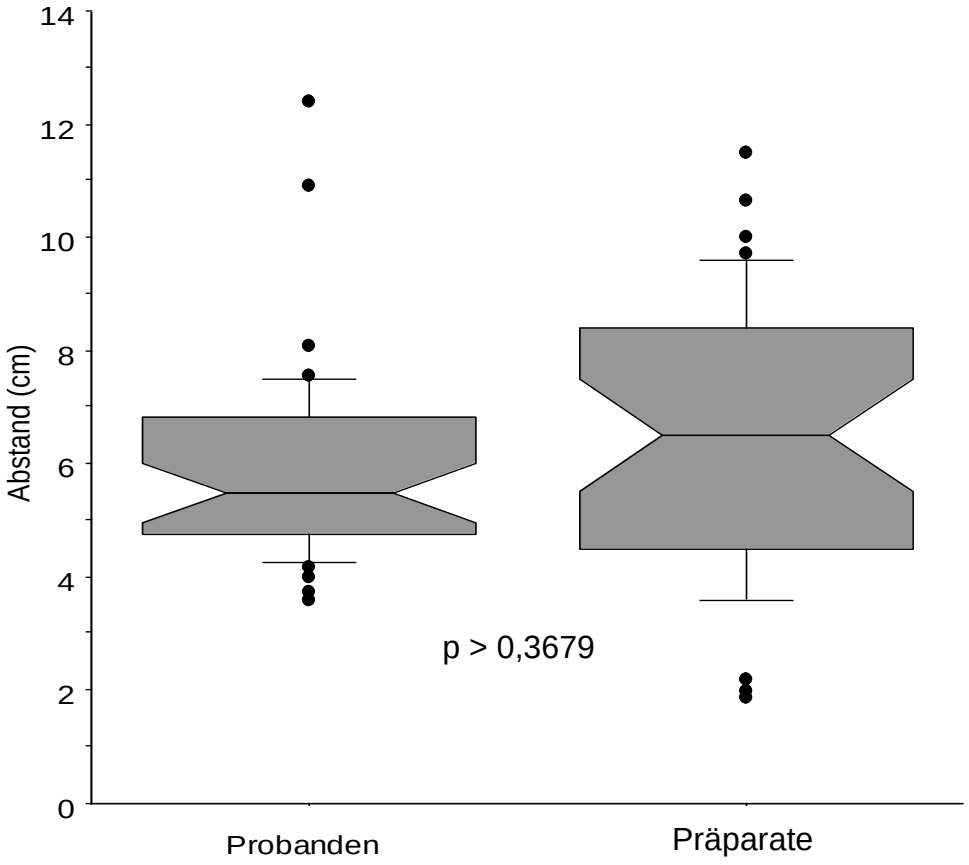


Abb. 5 Abstand der Bifurkation des Nervus ischiadicus vom Kniegelenkspalt bei den Probanden im Vergleich zu den anatomischen Präparaten (Signifikanzniveau (p) mit Mann-Whitney Test).

3.1.2 Vergleich des Abstands der Punktionsorte zur Bifurkationsstelle des N. ischiadicus

Im Folgenden wurde der Abstand der Punktionsorte 1 und 2 von der Bifurkation des N. ischiadicus untersucht. Hier war kein Unterschied zu erwarten, da beide Punktionsorte eine Patientenhandbreit proximal dem Oberrand der Patella lagen, d.h. in gleicher Höhe am Oberschenkel. Dabei wurde für Punktionsort 1 und 2 ein Abstand von 7,8 cm im Median ermittelt. Damit war der Abstand von beiden Punkten annähernd gleich (siehe grafische Darstellung in Abb. 6).

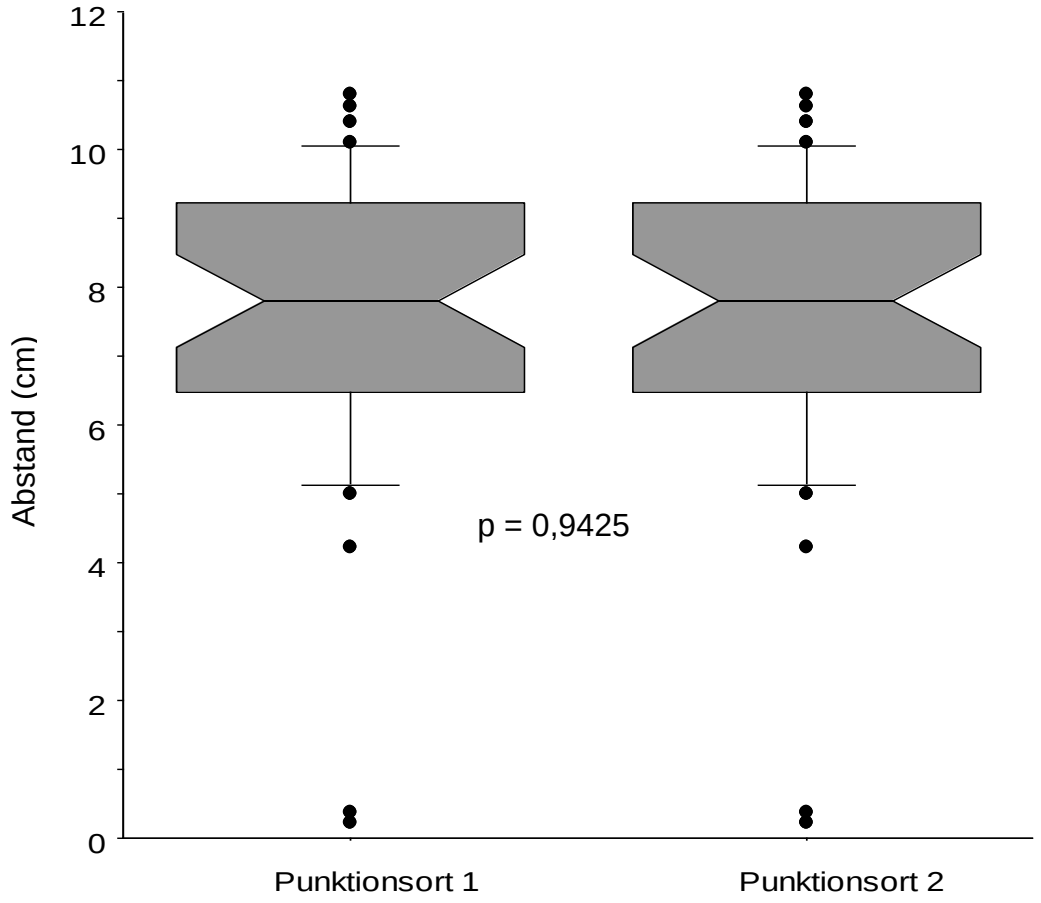


Abb. 6 Vergleich des Abstands der Bifurkation des Nervus ischiadicus zum Punktionsort 1 und 2 (Signifikanzniveau (p) mit Mann-Whitney Test).

3.1.3 Abstand Kniegelenkspalt von den Punktionsorten

Bei der Messung des Abstandes der Punktionsorte vom Kniegelenkspalt betrug der Median 13,4 cm für beide Punktionsorte.

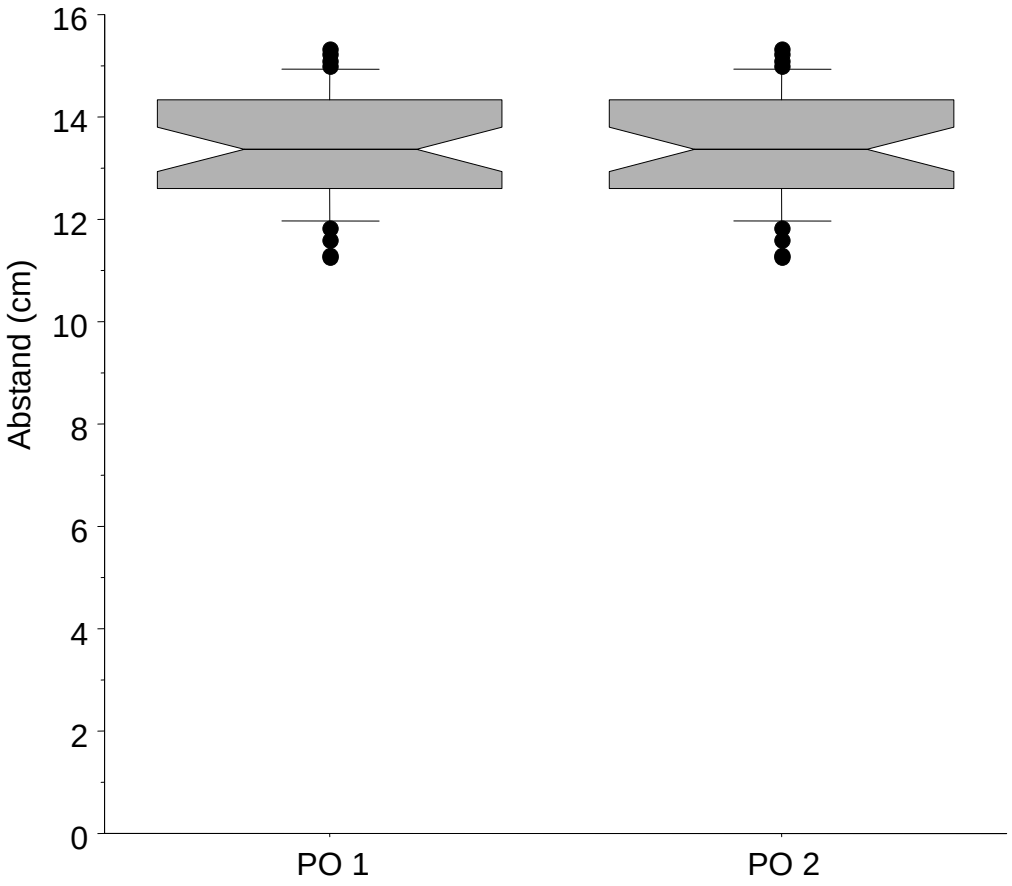


Abb. 7 Abstand der Punktionsorte (PO) vom Kniegelenkspalt.

3.1.4 Darstellung des Abstands von Gefäß, Knochen und Nerv zu den Punktionsorten

Der Abstand zum Gefäß, Knochen und Nerv an den Punktionsorten 1 und 2 wurde verglichen. Hierbei wurde an Punktionsort 1 für Gefäß, Knochen und Nerv jeweils der Median von 5,9 cm, 4,9 cm und 5,2 cm aus den Messwerten ermittelt. An Punktionsort 2 ergab sich für Gefäß, Knochen und Nerv ein

Median von 5,7 cm, 5,3 cm und 4,2 cm (siehe grafische Darstellung in Abb. 8). Damit lag der Nerv an Punktionsort 2 im Median 1,0 cm oberflächlicher als an Punktionsort 1 ($p < 0{,}0001$).

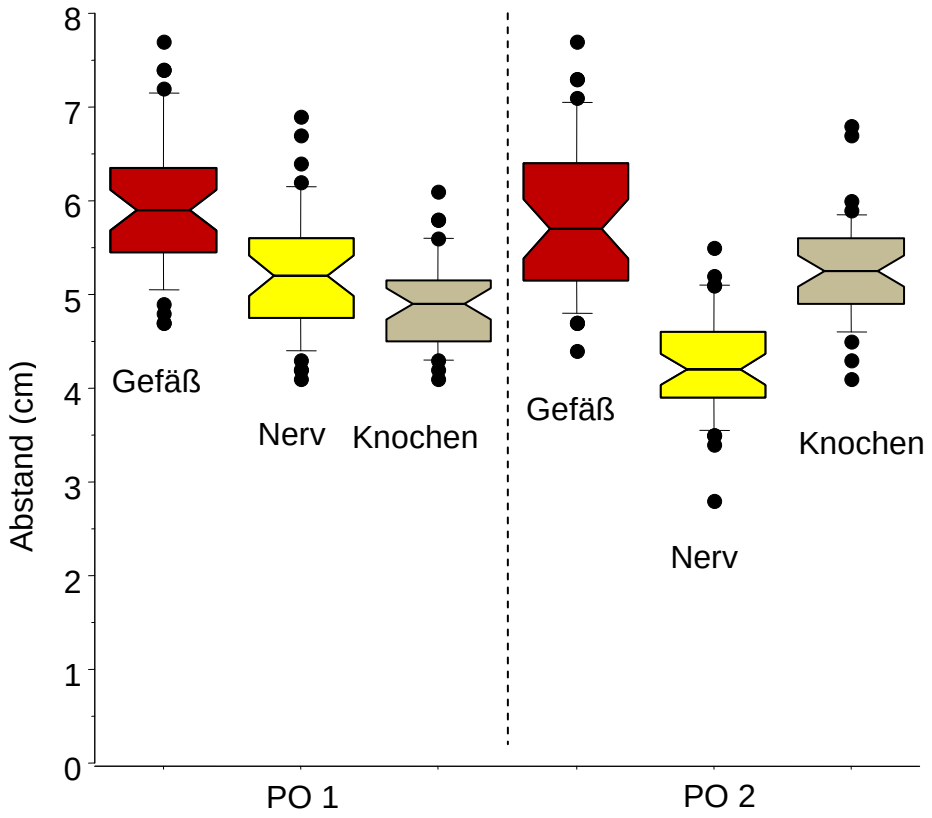


Abb. 8 Darstellung des Abstands von Gefäß, Knochen und Nerv zu den Punktionsorten (PO) 1 und 2.

3.1.5 Vergleich der minimalen Abstände Gefäß von Nerv und Knochen von Nerv

Im Folgenden wurden der Abstand zwischen Gefäß und Nerv bzw. Knochen und Nerv ohne Berücksichtigung der Winkel verglichen, d.h. es wurde angenommen, dass alle Strukturen in der gleichen Ebene lagen. Unter dieser Hypothese wurde der theoretisch kleinste mögliche Abstand zwischen den Strukturen verglichen. Dabei zeigte sich, dass dieser sowohl an Punktionsort 1 als auch 2 signifikant unterschiedlich war. Im Median betrug die Differenz an Punktionsort 1 zwischen Gefäß und Nerv 0,9 cm bzw. zwischen Knochen und

Nerv -0,2 cm und an Punktionsort 2 zwischen Gefäß und Nerv 1,6 cm bzw. zwischen Knochen und Nerv 1,1 cm. Dies wurde nochmals in Abb. 9 und Abb. 10 grafisch verdeutlicht.

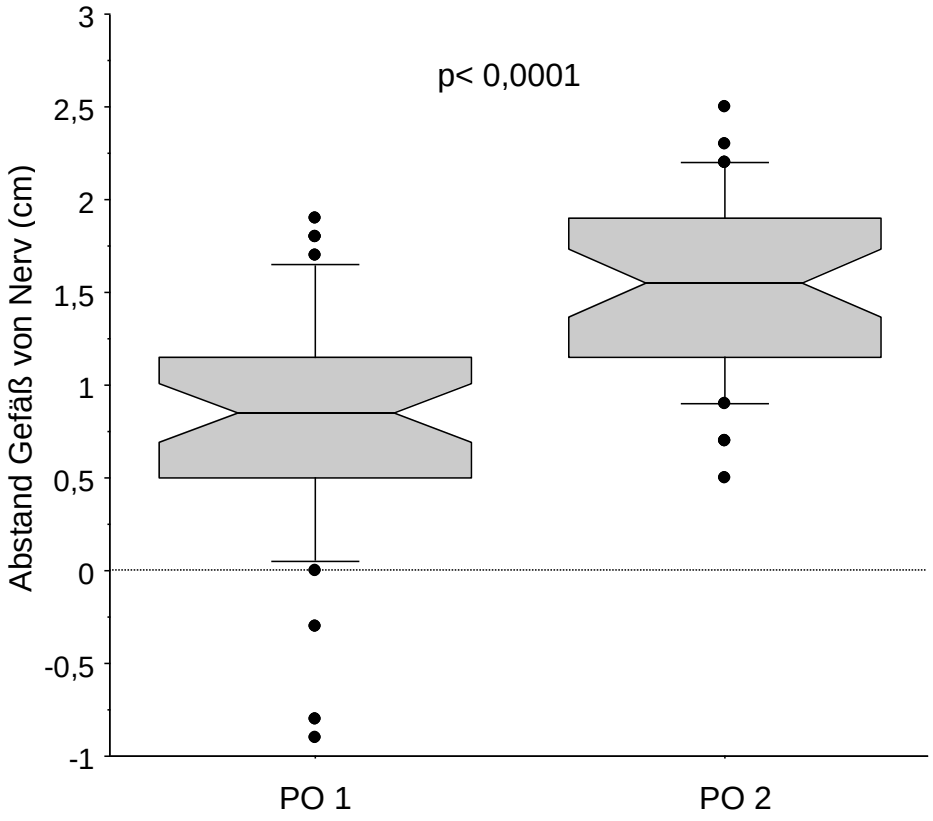


Abb. 9 Vergleich des Abstands von Gefäß und Nerv an den Punktionsorten (PO) 1 und 2. (Signifikanzniveau (p) mit Mann-Whitney Test)

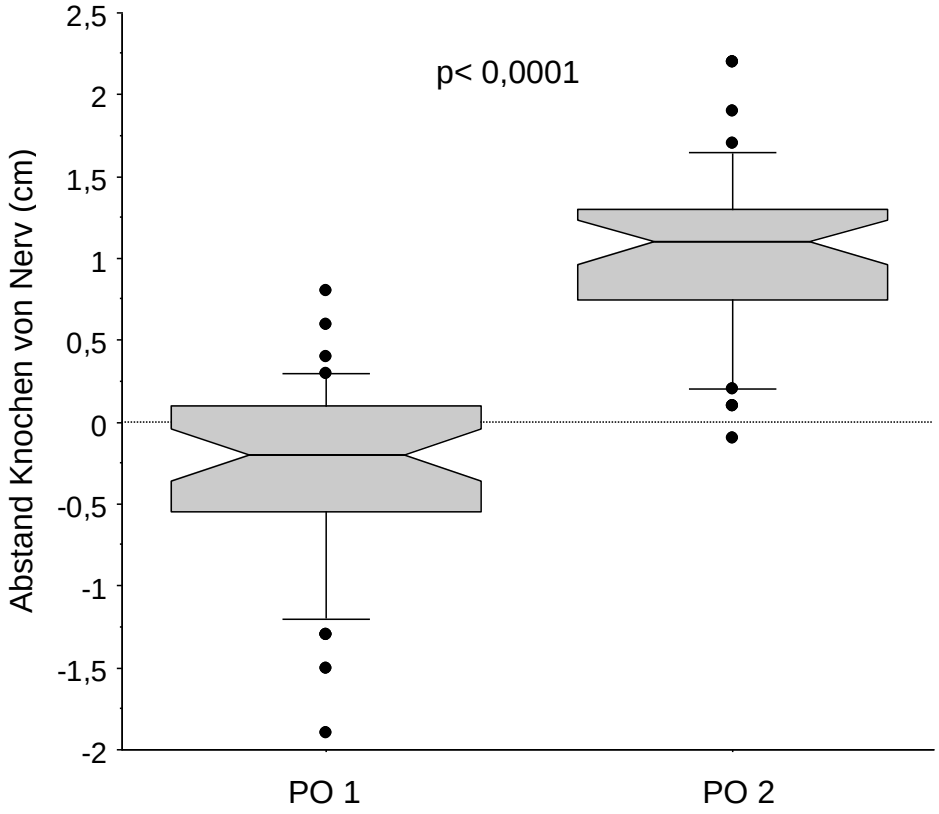


Abb. 10 Vergleich des Abstands von Knochen und Nerv an Punktionsort (PO) 1 und 2. (Signifikanzniveau (p) mit Mann-Whitney Test)

3.1.6 Vergleich der Winkel zur Horizontalen an den Punktionsorten 1 und 2

Im Folgenden wurde der Winkel zur Horizontalen an Punktionsort 1 und 2 zum Gefäß, Nerv bzw. Knochen bestimmt und verglichen. Dabei ergab sich für den Winkel zum Nerv an Punktionsort 1 und 2 ein Winkel von -10,5 ° (Minuswerte liegen unterhalb der Horizontalen) und 12,0 °. Für den Winkel zum Gefäß erhielt man 6,0 ° und 24,0 ° jeweils an Punktionsort 1 bzw. 2. Der Winkel zum Knochen an den Punktionsorten 1 und 2 betrug jeweils 16,0 ° und 44,0 °. Damit unterschieden sich alle Winkeln an den Punktionsorten 1 und 2 signifikant $p < 0,0001$ (siehe auch Abb. 11).

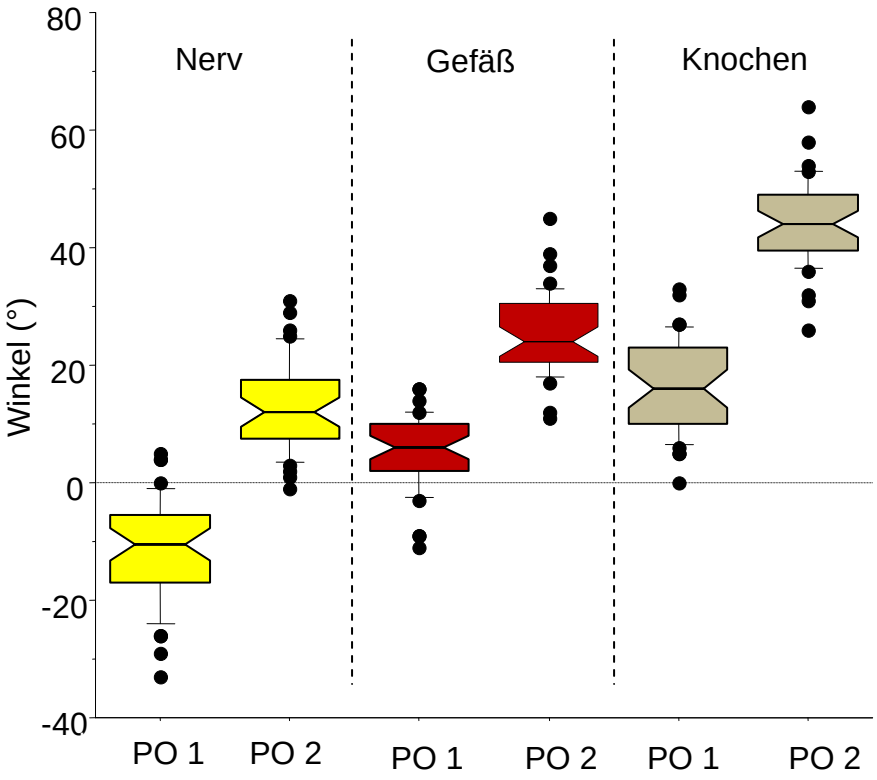


Abb. 11 Winkel zur Horizontalen für Nerv, Gefäß und Knochen an Punktionsort (PO) 1 und 2.

3.1.7 Vergleich des Oberschenkeldurchmessers mit der Tiefe des Nervs

Die Durchmesser des Oberschenkels und die Tiefe der Nerven wurden in Höhe der Punktionsorte gemessen. Danach wurden die Durchmesser an den Punktionsorten 1 und 2 mit der entsprechenden Tiefe des Nervs in Prozent des Oberschenkeldurchmessers verglichen (siehe Abb. 12). Dabei zeigte sich, dass der Nerv im Median auf einer Tiefe von 39 % bzw. 32 % (Punktionsort 1 und 2) des Oberschenkeldurchmessers angetroffen werden konnte. Die Punktionsorte unterschieden sich signifikant $p < 0{,}0001$.

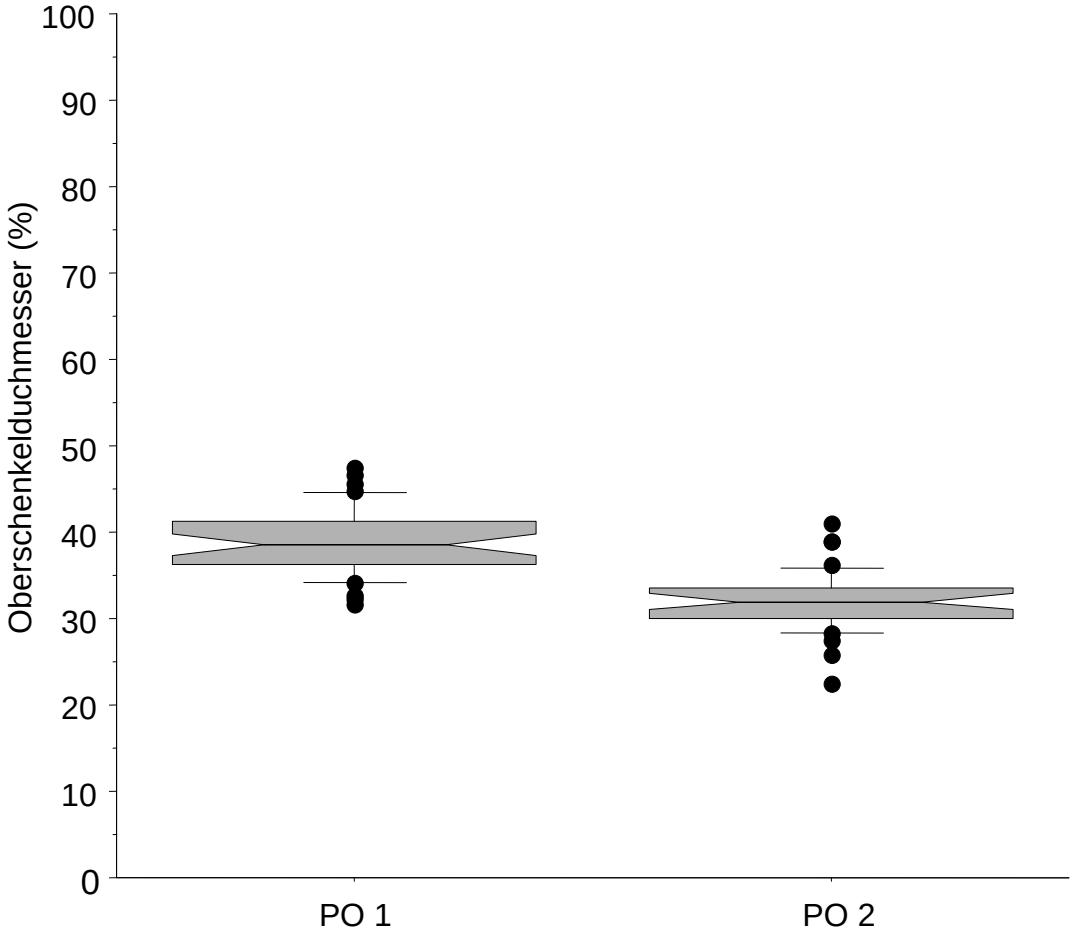


Abb. 12 Entfernung der Einstichstelle bis zum Nerv im Verhältnis zum Oberschenkeldurchmesser in % an den Punktionsorten (PO) 1 und 2.

3.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Folgenden wurden die oben aufgeführten zentralen Ergebnisse noch einmal übersichtlich in Tabellenform zusammengefasst (siehe Tab. 5, Tab. 6, Tab. 7 und Tab. 8).

Tab. 5 Vergleich der Abstände (Tiefe) von Nerv, Gefäß und Knochen zu den Punktionsorten 1 und 2. Angegeben wurde jeweils der Median.

Abstand (cm) Median	**Punktionsort 1**	**Punktionsort 2**
Nerv	5,2	4,2
Gefäß	5,9	5,7
Knochen	4,9	5,3

Tab. 6 Vergleich der Abstände Gefäß von Nerv und Knochen von Nerv an den Punktionsorten 1 und 2. Angegeben wurde jeweils der Median.

Abstand (cm) Median	**Punktionsort 1**	**Punktionsort 2**
Gefäß – Nerv	0,9	1,6
Knochen – Nerv	-0,2	1,1

Tab. 7 Übersicht der Winkel an den Punktionsorten 1 und 2 zu Nerv, Gefäß und Knochen in Bezug zur Horizontalen. Angegeben wurde jeweils der Median.

Winkel (°) Median	**Nerv**	**Gefäß**	**Knochen**
Punktionsort 1	-11	6	16
Punktionsort 2	12	24	44

Tab. 8 Vergleich des Oberschenkeldurchmessers mit der Tiefe des Nervs an den Punktionsorten 1 und 2. Außerdem Angabe der Lage des Nervs in Prozent des Oberschenkeldurchmessers.

Abstand Median	**Punktionsort 1**	**Punktionsort 2**
Oberschenkel (cm)	13,4	13,4
Nerv (cm)	5,2	4,2
Oberschenkel - Nerv (%)	39	32

4 Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der vorliegenden Studie mit anderen Studien verglichen und es wird eine Beurteilung des Verfahrens erstellt.

4.1 Ergebnisse dieser Arbeit

4.1.1 Überprüfung von zwei neuen distalen, lateralen Zugangswegen zum N. ischiadicus

In der durchgeführten Studie wurden zwei mögliche neue distale, laterale Zugangswege zum N. ischiadicus am distalen Oberschenkel entlang der Muskelloge zwischen M. vastus lateralis und M. biceps femoris untersucht. Punktionsort 1 lag eine Patientenhandbreit proximal dem Oberrand der Patella am anterioren Unterrand des M. vastus lateralis. Punktionsort 2 war eine Patientenhandbreit proximal dem Oberrand der Patella oberhalb der langen Bizepssehne. Die Punktionsorte wurden am MRT-Bild vermessen und mit den gleichen zwei Punktionsorten an anatomischen Präparaten verglichen. So wurde es auch möglich, die Ergebnisse vorausgegangener Studien, welche sich durch Messungen an Leichen orientierten, mit den Verhältnissen in vivo zu vergleichen.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die potentiellen Punktionsorte mit Nitrokapseln auf der Haut markiert, um die Verbindung der theoretischen Ausmessung am Schnittbild zur tatsächlichen Durchführung in der Praxis möglich zu machen.[20] Die hieraus errechneten biometrischen Daten bezüglich der Lage des Nervs zur Markierung und somit zum potentiellen Punktionsort lieferten perfekte Orientierungshilfen für die klinische Praxis. Vergleichbare Techniken wurden auch bereits im klinischen Alltag angewendet.[51]

4.1.2 Bedarf an neuen komfortableren und zuverlässigeren Punktionsorten

Die Punktionsorte wurden untersucht, um geeignetere Landmarken als bislang vorhanden zu finden. Dabei sollte die technische Durchführung der Blockade einfacher gemacht, der Blockadeerfolg und der Patientenkomfort erhöht und gleichzeitig das Verletzungsrisiko für Gefäße und Nerven minimiert werden.

Die am weitesten verbreiteten Blockademethoden zur distalen, lateralen Ischiadikusblockade ist zur Zeit die Technik nach Vloka und Hadzic.[27] Sie hat drei wesentliche Nachteile:

- notwendiger Knochenkontakt zur Orientierung, der in aller Regel zu Schmerzen führt;
- ungünstigere Beziehung zum N. ischiadicus, insbesondere zur Bifurkation;
- hohe Gefahr für eine unbeabsichtigte Gefäßpunktion.

Die Bifurkation, Aufteilung des N. ischiadicus (L4-S3) in seine beiden Hauptäste, N. tibialis (L4-S3) und N. fibularis communis (L4-S2), kann wie beschrieben (siehe weiter oben) auf höchst variablen Höhen auftreten.[65] Wenn der Nerv auf der Einstichhöhe schon aufgeteilt ist, steigt die Wahrscheinlichkeit für eine inkomplette Blockade und ab einem gewissen Abstand zum Kniegelenkspalt auch die Wahrscheinlichkeit für eine unbeabsichtigte Gefäßpunktion.[68]

Das angestrebte Ziel war deshalb, alternative Landmarken zu überprüfen, die möglichst proximal der Bifurkation lagen, um die Wahrscheinlichkeit für inkomplette Blockaden zu verringern. Um zu klären, ob sich durch Rigidität, Schrumpfungsprozesse und lange Lagerung die Studien an anatomischen Präparaten von den Verhältnissen in vivo unterschieden, wurden die

biometrischen Messungen an Leichen mit den MRT- gestützten Daten bei gesunden Probanden verglichen.

4.1.3 Zentrale Ergebnisse

Die zentralen Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass die Bifurkation sich 5,5 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes bei den Probanden und 6,5 cm proximal des Kniegelenkspaltes bei den anatomischen Präparaten befand. Beide Punktionsorte lagen im Median 7,8 cm proximal der Bifurkationsstelle. Bei allen Probanden, einschließlich der Ausreißer, befanden sich die Punktionsorte proximal der Bifurkation.

Unter Berücksichtigung der Ergebnisse der biometrischen Daten konnte der Schluss gezogen werden, dass Punktionsort 2 der geeignetere Punktionsort ist. Am Punktionsort 2 ist der Abstand zum Nerv um 1 cm kürzer als am Punktionsort 1. Im Weiteren war der Abstand von Nerv und Gefäßen beim Punktionsort 2 signifikant größer und somit die Gefahr für eine potentielle Gefäßverletzung geringer.

In dieser Arbeit wurde außerdem untersucht, inwieweit formalinfixierte Präparate in der Anatomie im Einzelfall Unterschiede zu den Bedingungen in vivo aufwiesen.[49] Die Bifurkation lag im MRT bei den gesunden Probanden im Median bei 5,5 cm proximal des Kniegelenksplalts und bei den anatomischen Präparaten bei 6,5 cm proximal des Kniegelenkspalts. Nach der Auswertung dieser Studie konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Bedingungen in vivo und bei anatomischen Präparaten gefunden werden.

4.2 Bifurkation

Der N. ischiadicus (L4-S3) ist der größte und längste Nerv des Menschen. Im kleinen Becken und am proximalen Oberschenkel sind N. tibialis und N. fibularis communis von einer gemeinsamen Bindegewebshülle umgeben und imponieren daher als einheitlicher Nervenstamm, dem Ischiasnerv.[35] Im

Bereich der Kniekehle befindet sich die Aufteilung, Bifurkation, des N. ischiadicus in seine beiden Hauptäste , sodass bei einer distalen Punktion im Bereich der Beugefalte des Kniegelenks das Risiko steigt, den N. ischiadicus nur teilweise zu blockieren (siehe auch Abb. 13).[62,63]

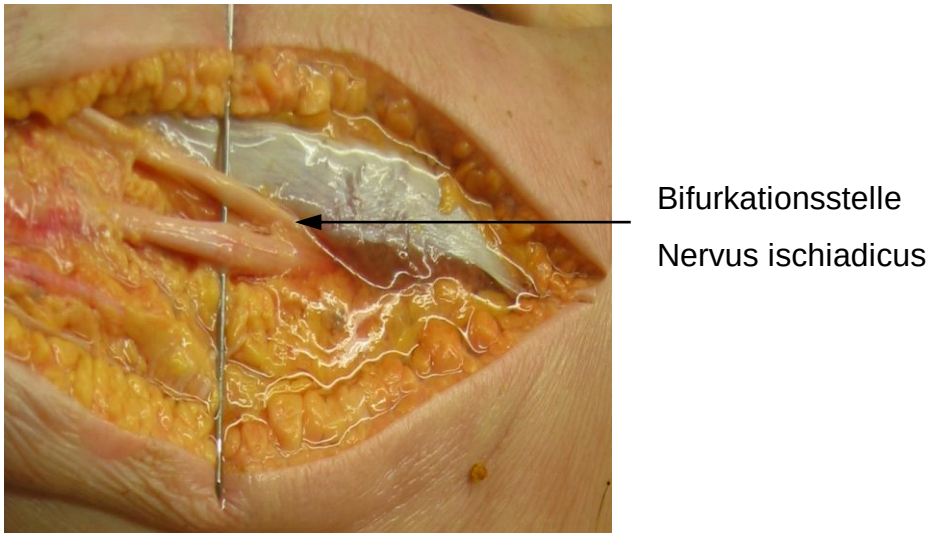


Abb. 13 Bifurkationsstelle des Nervus ischiadicus dargestellt am anatomischen Präparat.[7]

Bereits frühe Untersuchungen an anatomischen Präparaten lieferten Hinweise darauf, dass die Bifurkation des N. ischiadicus ca. 6 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes liegt.[58] In einer aktuellen Studie von Vloka et al. wurde dies an 28 anatomischen Präparaten bestätigt. Die Bifurkation wurde bei 6,5 ±2.7 cm mit einer Variationsbreite von 1 bis 11,5 cm proximal von dem Kniegelenkspalt identifiziert.[65] Das stimmte gut mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit überein. Bei den anatomischen Präparaten lag die Bifurkation 6,5 cm vom Kniegelenkspalt entfernt mit einer Variationsbreite (Minimum/Maximum) von 1,9 cm bis 12,8 cm. In einer älteren Studie von Vloka et al. an 10 anatomischen Präparaten wurde die Bifurkation im Median 4.5±2 cm von Kniegelenkspalt entfernt mit einer Variationsbreite (Minimum/Maximum) von 0-7,3 cm gefunden.[68] Benzon et al. stellten in ihrer Studie an 10 anatomischen Präparaten fest, dass die Bifurkation bei 8 ± 3 cm mit einer Variationsbreite von 4 bis 13 cm proximal des Kniegelenkspaltes zu finden ist.

Vloka et al. demonstrierten die Existenz eines kontinuierlichen gemeinsamen Epineuriums bis zur Bifurkation, die den N. tibialis und den N. fibularis communis gemeinsam umgeben.[68] Diese Fazienscheide umhüllt den N. ischiadicus komplett und ermöglicht die Kommunikation zwischen den zwei Hauptästen. Bei einer intraepineuralen Applikation des Lokalanästhetikums (LA) verteilte sich dieses entlang des gemeinsamen Epineuriums; dies führte zu einer vollständigen Leitungsblockade des N. ischiadicus. Da die Aufteilung des N. ischiadicus in N. tibialis und N. fibularis communis im Bezug zum Kniegelenkspalt einer großen Variation unterliegt, befindet sich eine 5-7 cm oberhalb der Fossa poplitea platzierte Nadel oftmals nur in der Nähe zu einem der Äste des N. ischiadicus. Falls die Nadel im gemeinsamen Epineurium platziert wird, breitet sich das LA entlang des Epineuriums aus, was dann schließlich in einer kompletten Leitungsblockade des N. ischiadicus resultiert. Wird die Nadel auf der anderen Seite außerhalb des Epineuriums platziert, wird ein Depot des LA in naher Relation entweder zum Hauptstamm des N. ischiadicus oder zu einem seiner Teiläste appliziert. Daraus resultiert entweder eine komplette Leitungsblockade des N. ischiadicus oder nur des N. tibialis oder des N. fibularis communis. Oben Gesagtes könnte auch die komplette Leitungsblockade des N. ischiadicus erklären, wenn zuvor nur in einem Teilgebiet des N. ischiadicus eine Reizantwort oder Parästhesien beobachtet werden konnten. Das Epineurium als flüssigkeitsleitender Kanal hat daher große klinische Bedeutung für die Leitungsblockade des N. ischiadicus.[68]

In der Regel wird davon ausgegangen, dass 12 cm proximal des Kniegelenkspaltes noch nicht mit einer anatomischen Trennung des Nervs zu rechnen ist.[42] In einer Studie von Neuburger et al. wurde ein Querschnitt auf dieser Höhe untersucht. Größtenteils wurde der Nerv hier zwar bereits anatomisch durch ein mehr oder weniger dünnes Septum getrennt gefunden, die Distanz der beiden Nervenäste war jedoch so gering, dass sich hieraus vermutlich keine klinische Relevanz ergab.[51] Viele Studien sprechen für erfolgreiche Blockaden auf dieser Höhe.[42,63,65,66]

Floch et al. studierten in einer computertomografischen Untersuchung die Bifurkationhöhe des N. ischiadicus. Sie maßen den Abstand zur Bifurkation vom Trochanter major und fanden, dass bei 25 cm distal des Trochanter majors der Nerv bei 29 von 40 Probanden aufgeteilt war (72%) und bei 30 cm war dies bei 32 von 40 Probanden (90%) der Fall.[20]

Bei Betrachtung der in der Literatur beschriebenen Daten und denen in der vorliegenden Studie ist erkennbar, dass die Lage der Bifurkation des N. ischiadicus sehr variabel sein kann. Bei den in dieser Studie erfassten Daten war der minimale Abstand zwischen der Bifurkation und dem Kniegelenkspalt 1,9 cm, der maximale Abstand 12,8 cm.

4.3 Zugangswege und Landmarken

In der Vergangenheit wurden in unterschiedlichen Studien verschiedene distale Zugangswege zum N. ischiadicus beschrieben. Diese wurden in einer kurzen Übersicht der Zugangswege bzw. Landmarken und deren Einflüsse auf den Blockadeerfolg zusammengestellt. Die erzielten Ergebnisse der hier dargestellten Studie wurden mit dieser kurzen Übersicht verglichen und zwar in Bezug auf die zwei in dieser Arbeit untersuchten Punktionsorte (siehe auch Abb. 14).

Die Punktionsorte, die in dieser Arbeit untersucht wurden, lagen wie oben beschrieben am distalen Oberschenkel entlang der Muskelloge zwischen M. vastus lateralis und M. biceps femoris. Punktionsort 1 befand sich eine Patientenhandbreit proximal des Oberrands der Patella am anterioren Unterrand des M. vastus lateralis. Punktionsort 2 war eine Patientenhandbreit proximal des Oberrands der Patella oberhalb der langen Bizepssehne.

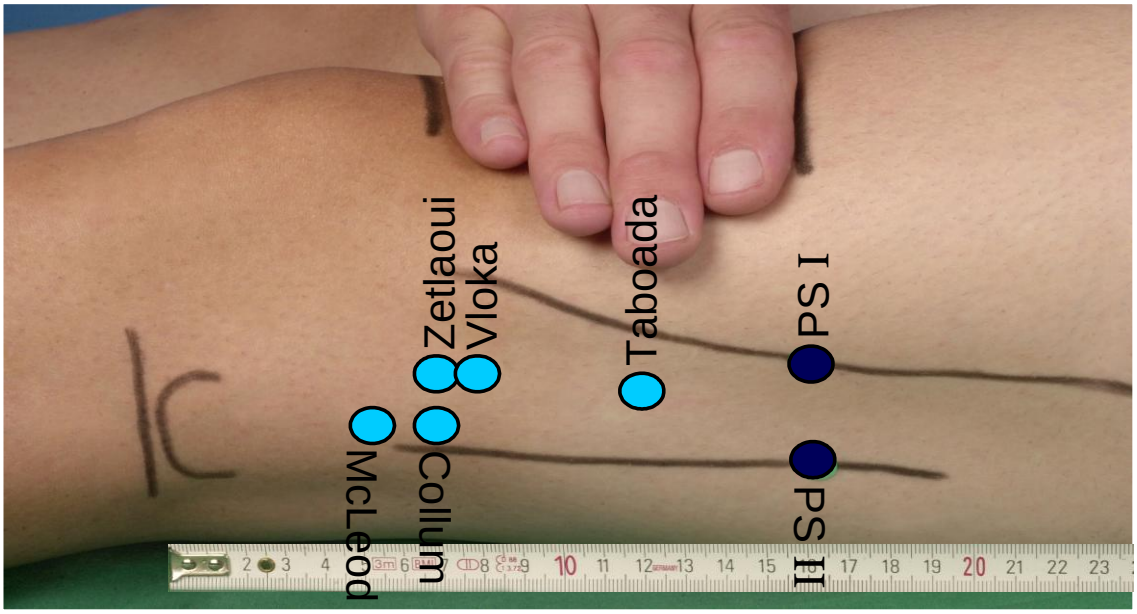


Abb. 14 Lokalisation verschiedener in der Literatur beschriebener Punktionsorte (nach Zetlaoui, Vloka, Taboada, Mc Leod, Collum) sowie Position der in dieser Studie untersuchten Punktionsorte (PS) 1 und 2.[7]

Im Jahre 1980 beschrieben Rorie et al. den klassischen (posterioren) distalen, poplitealen Zugang, der schon 1923 von Labat erwähnt wurde.[33] Diese Blockadetechnik fand wegen ihrer vergleichsweise niedrigen Erfolgsrate von 82% keine weite Verbreitung .[55] Die modifizierte Technik für den posterioren, distalen Zugang nach Meier setzte proximal zum klassischen Zugang in der Kniekehle an, in einem Bereich, in dem N. fibularis und N. tibialis relativ dicht beieinander verlaufen und die Erfolgsrate daher höher ist.[42] Die Orientierung bei dieser Technik erfolgte an den Femurepikondylen und der Kniegelenkspalte. Der Punktionsort lag ca. 7 cm oberhalb des Kniegelenkspalts am medialen Rand des M. biceps femoris.

Eine aktuelle Studie von Guntz et al. beschrieb eine distale, popliteale Blockademethode von medial, die auch in Rückenlage durchführbar war. Leitpunkte für das Aufsuchen der Punktionstelle stellten eine tastbare Vertiefung zwischen M. sartorius, M. gracilius, M. vastus medialis und M. adductor magnus und von unten die Begrenzung vom Tuberculum adductorium

dar. Die Poplitealgefäße, die medial zum N. ischiadicus lagen, waren potentiell gefährdet, akzidentiell punktiert zu werden.[25]

Die distale, laterale Blockade wurde 1993 von Collum und Coutney erstmals beschrieben.[11] Leitstrukturen beim Aufsuchen der Einstichstelle waren bei Collum und Coutneys Technik Patella, Tractus iliotibialis und M. biceps femoris. McLeod empfahl in seiner Beschreibung der Technik eine Rückenlage des Patienten mit einer Außenrotation des unteren Beines auf einem Lagerungskissen.[40,41] Der geschilderte Einstichpunkt lag bei McLeods Technik knapp über der langen Bizepssehne, 5 cm kranial des Kniegelenkspalts. Bei dem distalen, lateralen Zugang nach Meier et al.[43] wurden als Leitstrukturen Tractus iliotibialis, Patella, M. bizeps femoris und M. vastus lateralis benutzt. Der Punktionsort lag 12 cm oberhalb der Patella zwischen Bizeps und Vastus.

Die am weitesten verbreitete Methode zur distalen, lateralen Ischiadikusblockade ist die nach Vloka und Hadzic et al.[66,67] Dabei liegt der Patient ebenfalls in Rückenlage, mit Knie und Hüfte gebeugt. Der Einstichpunkt befindet sich bei dieser Technik 7 cm oberhalb des Epicondylus lateralis in der Lücke zwischen M. vastus lateralis und M. biceps femoris. Zunächst wird vorsätzlich auf den Femur gestochen, um dann die Nadel zurückzuziehen und erneut in einem Winkel von 30 ° nach dorsal vorzuschieben. Der Knochenkontakt, der bei dieser Methode erforderlich ist, führt in aller Regel zu schmerzhaften Sensationen.

Eine Studie von Hadzic et al. zeigte eine Erfolsquote von bis zu 96% für den distalen, lateralen Zugang. Dabei wurde die Nadel horizontal in die Lücke zwischen M. biceps femoris und M. vasus lateralis, 7 cm proximal zum Epicondylus femoris lateralis eingestochen. Nachdem die Nadel Knochenkontakt hatte, wurde die Nadel zurückgezogen und in einem Winkel von 30° nach posterior positioniert, um schließlich zum Nerv zu gelangen. In der Studie wurden 25 Patienten untersucht. Die Blockade gelang, außer bei einer Person, bei allen. 92% der untersuchten Patienten gaben an, dass sie keine Schmerzen unter Ausführung der Blockade hatten. Es wurde eine

Einmalinjektionstechnik angewandt. In der Studie wurde der Schluss gezogen, dass die hohe Erfolgsrate ein Resultat von einer genauen Nervenlokalisation mit Hilfe eines Nervenstimulators (mit einer niedrigen Stromstärke < O,4 mA) und der Injektion eines großen Volumens von 40 ml LA in unmittelbare Nähe zum Nerv war. Dadurch wurde es dem LA ermöglicht, sich innerhalb der gemeinsamen Nervenscheide auszubreiten, um so beide Teiläste des Nervs zu blockieren.

Bei der modifizierten distalen, lateralen Ischiadikusblockade nach Zetlaoui et al. wurden die laterale Seite der Fossa poplitea, der obere Rand der Patella, die Fossa zwischen dem lateralen Rand des M. vastus lateralis und dem anterioren Rand der langen Bizepssehne als Leitpunkte benutzt.[70]

Paqueron et al. erreichten nur eine Erfolgsquote von 54%.[53] Es wurde der distale, laterale Zugang nach Zetlaoui et al.[70] benutzt, welcher ebenfalls in Rückenlage ausgeführt wurde. Der Punktionsort lag an der Kreuzungsstelle zwischen einer vertikalen Linie vom Oberrand der Patella und der Fossa zwischen M. vastus lateralis und M. biceps fermoris. Der Einstichwinkel betrug 30° posterior zur Horizontalebene mit leichter Justierung in distaler Richtung. Es wurde eine Einmalinjektion und weniger LA (nur 20 ml) als in Hadzics Studie benutzt und die Stimulationsstromstärke war < 0,5 mA. In der Studie wurden 24 Patienten untersucht, 6 brauchten eine zusätzliche Allgemeinanästhesie wegen einer inkompletten Nervenblockade.

Taboada et al. beschrieben in mehreren Artikeln verschiedene Aspekte der distalen, lateralen Zugänge, wobei sie von der Methode nach Hadzic und Vloka ausgingen.[66,67] Es wurde in diesen Studien eine Doppelinjektion mit jeweils 10 ml Ropivacain für den N. fibularis communis und den N. tibialis benutzt. Die zwei Teiläste wurden getrennt aufgesucht. Die Stimulationsstromstärke betrug < 0,5 mA.

Beim Vergleich der Studien fällt auf, dass als Orientierungsmaß einmal 7 cm proximal des Epicondylus femoris lateralis auf Höhe des Kniegelenkspalts und

in einer anderen Studie die gleichen anatomischen Landmarken benutzt werden, aber sie dieses Mal 11 cm proximal des Epicondylus femoris lateralis liegen.[59,60,62] Eine genaue Erklärung, warum nun 4 cm weiter proximal eingestochen wurde, blieben die Autoren allerdings schuldig. Wird 11 cm proximal des Epicondylus Femoris lateralis als Einstichstelle benutzt, ergibt sich eine sehr viel höhere Erfolgsquote. Dabei erweisen sich 93 % der Blockaden als komplett und 96% der Patienten geben an, mit der Blockadetechnik zufrieden zu sein. Dem gegenüber kann bei einem Einstich bei 7 cm proximal des Epicondylus lateralis nur eine Erfolgsquote von 68% erzielt werden. Eine zusätzliche intraoperative Fentanylgabe wird bei 32% der untersuchten Patienten benötigt und weitere 24% benötigen eine zusätzliche Allgemeinanästhesie.[59,60] Es stellt sich die Frage, wie die Ergebnisse in der Literatur so variabel sein können. Der verwendete Zugangsweg und die anatomischen Landmarken spielen eine entscheidende Rolle für den Erfolg der Blockade des N. ischiadicus oberhalb des Kniegelenkes.

Die in der Literatur dargestellten Methoden orientieren sich ausschließlich an fixen Distanzen von bestimmten Landmarken wie z.B. der Fossa poplitea, dem Kniegelenkspalt bzw. dem Epicondylus lateralis. Nicht nur die unsichere Identifikation von bestimmten Landmarken sondern vielmehr die Verwendung fixer Abstände von diesen Landmarken erschweren die Reliabilität und damit die Reproduzierbarkeit der bekannten Techniken.[40,53,66,67] Die Einstichhöhe für die laterale Blockade des N. ischiadicus reicht von der Kniegelenksfalte bis ca. 12 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes.[11,40,53,60,66,70]

Die Orientierungspunkte bei den Methoden von McLeod[40] und Hadzic und Vloka[66,67] liegen mit 5 bzw. 7 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes deshalb bei vielen Patienten bereits distal der Aufteilung des N. ischiadicus, und es muss mit inkompletten Blockaden gerechnet werden. Wird eine Nadel bei 5 oder 7 cm proximal der Kniegelenkspalte eingestochen, beträgt die Wahrscheinlichkeit nur 46 % bzw. 57 % für eine Lokalisation proximal der Bifurkation.[40,66] Im Gegensatz dazu stellt eine Positionierung der Nadel 10 cm

distal des Kniegelenkspalts, wie in einer Studie von Singelyn et al. und Taboada et al. empfohlen, eine Platzierung in der ummittelbaren Umgebung oder proximal der Bifurkationsstelle sicher.[57,60]

Der Erfolg der distalen, lateralen Ischiadikusblockade hängt wesentlich von der Punktionshöhe ab. Eine zuverlässige Blockadequalität ist vermutlich nur bei einem Zugangsweg zu gewährleisten, der proximal der Bifurkation liegt. Bei der sogenannten Doppelstimulations- und Injektionstechnik, bei der die Äste des N. ischiadicus einzeln aufgesucht werden, muss mit einem erhöhten Nervenverletzungsrisiko gerechnet werden, da beim Aufsuchen des zweiten Nervs in einem bereits anästhesierten Gebiet gearbeitet wird.[16]

Die in dieser Arbeit untersuchten Punktionsorte bei gesunden Probanden lagen eine Handbreit proximal des Oberrandes der Patella. Damit lagen sie im Median 7,8 cm proximal der Bifurkationsstelle des N. ischiadicus und 13,4 cm proximal des Kniegelenkspalts. Bei allen Probanden wäre mit Hilfe der beschriebenen alternativen Punktionsorte eine komplette Blockade durch eine Einmalinjektion eines LAs möglich gewesen. So lässt sich daraus schlussfolgern, dass die abiträre Größe, eine Handbreite des Patienten, geeignet ist, um eine nahezu sichere Einstichhöhe für eine distale, laterale Ischiadikusblockade zu finden.

Zusammenfassend kann Folgendes festgehalten werden. Die bekannten Landmarken für eine distale, laterale Ischiadikusblockade sind mit zahlreichen Unwägbarkeiten versehen, insbesondere mit unterschiedlichen Erfolgsraten und unterschiedlichen Belastungen für den Patienten:

- inkomplette Nervenblockade bei Injektion des LAs distal der Bifurkation;
- schmerzhafte Punktion
    - bei Knochenkontakt
    - durch Doppelstimulationstechnik;

- große Distanz zum Nerv.

Im Vergleich dazu liegen in der eigenen Studie die Punktionsorte proximal der Bifurkation, potentiell schmerzhafter Knochenkontakt kann bei Verwendung der vorliegenden, alternativen Zugangswege nahezu ausgeschlossen werden. Die aufgezeigten Landmarken, die bereits im klinischen Alltag Anwendung finden, erleichtern die distale Ischiadikusblockade, verhindern schmerzhafte Knochenkontakte und unterstützen einen sicheren Blockadeerfolg. Die klinische Evaluation der alternativen Landmarken bleibt selbstverständlich einer weiteren Untersuchung vorbehalten.

4.4 Einstichwinkel, Einstichtiefe und Beziehung zu Knochen und Gefäßen

Im folgenden Abschnitt werden die anatomischen Lagebeziehungen der wichtigsten Strukturen (Nerv, Gefäß und Knochen) anhand der erhobenen biometrischen Daten beschrieben und mit verfügbaren Daten aus der Literatur verglichen.

Die A. poplitea lag an Punktionsort 1 im Median in einem Winkel von 6° nach ventral zur Horizontalen und in einer Tiefe von 5,9 cm. Am Punktionsort 2 befand sie sich 24° nach ventral in einer Tiefe von 5,7 cm. Der Femur war am Punktionsort 1 in einem Winkel zur Horizontalen von 16° nach ventral und in einer Tiefe von 4,9 cm positioniert. Am Punktionsort 2 betrug der Winkel zum Femur 44° und er lag in einer Tiefe von 5,3 cm. Auf die Praxis übertragen bedeuten diese biometrischen Daten, dass bei den in dieser Studie untersuchten Punktionsorten durch die Wahl einer zu weit nach ventral gerichteter Stichrichtung und einem zu tiefen Einstich, die A. poplitea verletzt werden kann.

Bei anderen distalen Blockademethoden wird in der Literatur (z.B. in Studien von Vloka und Hadzic et al.[65,66]) ein Einstichwinkel von 30 Grad nach dorsal vorgeschlagen. Der Einstichwinkel, d.h. der Winkel zur Horizontalen der

Strecke von den Punktionsorten zum N. ischiadicus, lag im Median in der vorliegenden Arbeit an Punktionsort 1 bei 11 ° nach dorsal zur Horizontalebene und am Punktionsort 2 bei 12 ° nach ventral zur Horizontalebene. Ein Einstichwinkel von 30° nach dorsal führte nach den Daten der vorliegenden Studie zu einer zu weit nach dorsal reichenden, fehlerhaften Punktion. Eine mögliche Ursache dieser Unterschiede mochte in der Lagerung des Beines liegen, die in dieser Untersuchung immer streng mit nach ventral gerichteter Fußspitze durchgeführt wurde. Bei unterschiedlichen Lagerungen des Beines und vor allem bei Außenrotationen in der Hüfte verschob sich die Anatomie und das Aufsuchen des N. ischiadicus wurde dadurch erheblich erschwert.

Die Daten zur Einstichtiefe zeigten, dass der N. ischiadicus an den Punktionsorten 1 und 2 in einer Tiefe von 5,2 cm bzw. 4,2 cm zu finden war. Der quere Durchmesser des Oberschenkels in Höhe von Punktionsort 1 und 2 ergab im Median 13,4 cm. Das Verhältnis Einstichtiefe zum Oberschenkeldurchmesser betrug am Punktionsort 1 2,6:1 (Nerv liegt in einer Tiefe von 38% des Oberschenkeldurchmessers) bzw. 3,2:1 (Nerv liegt in einer Tiefe von 31% des Oberschenkeldurchmessers) an Punktionsort 2. In einer Studie von Floch et al. wurde in entsprechender Höhe am Oberschenkel (25 cm distal des Trochanter major) der N. ischiadicus in einer Tiefe von 5,5 ± 1 cm aufgefunden.[20] Bei den in dieser Arbeit untersuchten Probanden wurde der Nerv in einer Tiefe von ungefähr 1/3 des Oberschenkeldurchmessers lokalisiert.

Neuburger et al. untersuchten mit Hilfe der MRT die anatomischen Verhältnisse 12 cm proximal des Kniegelenkspalts am dorsalen Rand des M. vastus lateralis. Dabei wurde jeweils der Mittelwert bestimmt, der für den Oberschenkeldurchmesser 13,4±1,1 cm, Tiefe des Nervs 5,2±0,6 cm, Winkel zum Nerv 10,9±7,4 °, Tiefe des Gefäßes 6,4±0,9 cm, Winkel zum Gefäß -4,7±2,9 ° und Abstand Nerv von Femur 2,5±0,4 cm betrug.[51]

Bei Betrachtung der beiden untersuchten Punktionsorte konnte gezeigt werden, dass sich die Abstände des N. ischiadicus, der A. und V. poplitea und des

Femurs von den Punktionsorten 1 und 2 unterschiedlich verhielten. Dabei wurde die Entfernung von Punktionsort 1 zum N. ischiadicus im Median mit 5,2 cm im Gegensatz zu Punktionsort 2 mit 4,2 cm errechnet, womit Punktionsort 2 im Median um 1 cm signifikant näher am Nerv lag. Dieses könnte unter Umständen eine Blockade erleichtern und potentielle Beschwerden durch die Punktion verringern.

Ebenso war der Abstand zum Femur an Punktionsort 2 günstiger als an Punktionsort 1. Es wurde im Median eine Distanz zum Femur von 5,3 cm an Punktionsort 2 im Gegensatz zu 4,9 cm an Punktionsort 1 gemessen. Bei einem größeren Abstand zum Femur bzw. tieferen Lage in Bezug auf den Nerv an den Punktionsorten verringerte sich das Risiko eines unbeabsichtigten schmerzhaften Knochenkontakts. Der Abstand an Punktionsort 1 bzw. 2 vom Knochen zum Nerv betrug 0,2 cm bzw. 1,1 cm.

Der Abstand zu den Poplitealgefäßen lag bei Punktionsort 1 im Median bei 5,9 cm und bei Punktionsort 2 bei 5,7 cm. Der Abstand zum Gefäß war zwar am Punktionsort 2 auf den ersten Blick etwas kürzer, jedoch bei Betrachtung der Abstände vom Gefäß zum Nerv zeigte sich, dass an Punktionsort 2 der Abstand zwischen Nerv und Gefäß mit 1,6 cm gegenüber 0,9 cm am Punktionsort 1 deutlich größer war. Die Wahrscheinlichkeit für eine iatrogene Gefäßpunktion war damit geringer.

Bei Betrachtung der Abstände zum N. ischiadicus, dem Femur und den Gefäßen bzw. Gefäß zu Nerv und Knochen zu Nerv an Punktionsort 1 und 2 konnte zusammenfassend gesagt werden, dass Punktionsort 2 in allen Kategorien günstiger erschien. Der Abstand zum Knochen war am Punktionsort 2 größer, was das Risiko eines schmerzhaften Knochenkontakts verringerte. Bei beiden Punktionsorten war der Abstand zum nahe liegenden Gefäß groß, sodass eine Verletzungsgefahr im Vergleich zu anderen Zugangswegen zu vernachlässigen war. Beide untersuchten Punktionsorte haben sich für die distale, laterale Ischiadikusblockade als geeignet erwiesen. Sie stellen neue, reliable Landmarken dar, die sich an der individuellen Anatomie des Patienten

orientieren. Sie können ohne aufwändige Lagerung des Patienten durchgeführt werden.

Ergänzend wäre noch zu sagen, dass für eine erfolgreiche Nervenblockade neben der Wahl des richtigen Zugangsweges noch eine Vielzahl von weiteren Faktoren den Blockadeerfolg mitbestimmen. Besonders hervorzuheben wären die Konzentration und das Volumen der verwendeten LA[10], die Verwendung von zusätzlichen Medikamenten[5], die motorische Antwort[4,60], die Stromintensität bei der die Nervenstimulation erreicht wird[64], ob eine Doppelinjektions- oder Einmalinjektionstechnik benutzt wird[53], der Abstand von der Nadelspitze zum Nerv[60] und zu guter Letzt die verwendeten Zugangswege und anatomischen Landmarken. Diese Faktoren unterscheiden sich in den in der Literatur beschriebenen Studien, was mit hoher Wahrscheinlichkeit die unterschiedlichen Erfolgsraten bei der distalen, lateralen Ischiadikusblockade erklären könnte.

4.5 Einflussfaktoren auf den Blockadeerfolg

Viele Faktoren beeinflussen den Erfolg von Nervenblockaden. Die Wahl des Zugangsweges und die anatomische Landmarken spielen eine zentrale Rolle, außerdem entscheidend sind u. a.:

- die Nervenstimulationstechnik, die benutzt wird zur Lokalisierung des Nervs;
- Wahl des LAs sowie dessen Konzentration und Volumen als auch die Verwendung von zusätzlichen Medikamenten;
- der Abstand der Nadelspitze zum Nerv.

4.5.1 Nervenstimulationstechnik

Das Aufsuchen des zu blockierenden Nervs kann nach unterschiedlichen Techniken erfolgen. Zum einen besteht die Möglichkeit durch vorsichtigen Nervenkontakt Parästhesien auszulösen, die auf die sensible Versorgung des

betreffenden Nervs rückschließen lassen. Eine andere Möglichkeit ist die „Loss-of-Resistance“-Technik, bei der durch Penetrierung der Fazienscheide des Nervs ein Widerstandsverlust gespürt wird. Da beide Techniken mit einer beträchtlichen Gefahr der Nervenverletzung verbunden sind, kann der Einsatz eines elektrischen Nervenstimulationsgerätes neben der Nervensonographie[23,38] heute als die Methode der Wahl zur Nervenlokalisation zum Einsatz kommen.[2,9,31]

Die Nervenstimulationstechnik hängt in erster Linie von der verwendeten Stromstärke, der Impulsbreite und der motorischen Antwort ab. Im Weiteren unterscheiden sich Doppel- bzw. Mehrfachstimulationstechniken, bei denen die einzelnen Anteile eines Nervengeflechtes aufgesucht werden, von der routinemäßig durchgeführten Einmalstimulationstechnik.

Bei der Doppelstimulation werden separat beide Hauptäste, sprich der N. tibialis und N. fibularis communis aufgesucht und stimuliert und an beide Nerven eine geringe Menge (5-10 ml) eines LAs appliziert. Bei Annäherung der Kanülenspitze an die efferenten Nervenanteile werden synchron zur Stimulationsfrequenz rhythmische Muskelkontraktionen als motorische Reizantwort ausgelöst. Beispielsweise kann mit dieser Technik bei der Durchführung von Ischiadikusblockaden eine motorische Reizantwort über N. fibularis communis zuerst ausgelöst und ein kleines Volumen LA injiziert werden. Danach kann die Richtung der Nadel nach medial geändert werden, um eine motorische Antwort vom N. tibialis zu erhalten, um dann ebenfalls ein weiteres LA-Depot zu platzieren. Ob die zwei Äste des N. ischiadicus getrennt aufgesucht werden (Doppelstimulation) oder ob der Nerv nur einmal mit der Nadel aufzusuchen ist (Einfachstimulation), wird in der Literatur kontrovers diskutiert.[4,16,53,57,60,64,66]

Anhänger der Doppelstimulation meinen, dass die Doppelstimulation die Erfolgsquote der Blockaden erhöht und dass sie es ermöglicht, ein insgesamt kleineres Volumen LA zu benutzen. Anhänger der Einmalinjektion bzw. –stimulation gehen davon aus, dass Mehrfachstimulationen und -injektionen das

Risiko für einen Nervenschaden erhöhen, da während Richtung und Position der Nadel geändert wird bereits in einem partiell anästhesierten Gebiet gearbeitet wird.[60]

Einige Studien vergleichen die klinische Anwendung von Doppelstimulation bzw. Doppelinjektion mit der Anwendung von Einmalstimulation bzw. Einmalinjektion.[53]

Paqueron et al. evaluierten an Patienten den Erfolg eines distalen, lateralen Zugangs bei Einmalinjektion (Innenrotation als motorische Reizantwort) im Vergleich zur Doppelinjektion (beide Teiläste N. fibularis communis und N. tibialis werden identifiziert). Dabei zeigte sich, dass bei der Doppelstimulation eine höhere Erfolgsquote als bei der Einfachstimulation (Doppelstimulation 88% versus 54% Einfachstimulation) erreicht wurde. Die Zeit bis zum Eintritt der kompletten motorischen Blockade war darüber hinaus bei der Doppelstimulationstechnik kürzer (im Median 25 min bei der Doppelstimulationstechnik gegenüber 30 min bei der Einfachstimulation).[53] Eine französische Arbeitsgruppe um Zetlauoi et al. dokumentierte ähnliche Ergebnisse.[70] Andererseits war das erheblich höhere Nervenverletzungsrisiko nicht zu unterschätzen, da beim Aufsuchen des zweiten Nervs in einem bereits anästhesierten Gebiet gearbeitet wurde.

Fanelli et al.[16] berichteten bei der Doppelinjektionstechnik über eine Inzidenz neurologischer Schäden von 1,7%. In der wohl umfangreichsten Studie zum Thema Komplikationen bei regionalanästhesiologischen Techniken von Auroy et al. wurde die Inzidenz von Nervenschäden an der unteren Extremität bei Einfachinjektion mit 0,04% angegeben.[2] Im Vergleich dazu lag die Inzidenz von Nervenschäden in der Fanelli-Untersuchung zur Doppelstimulationtechnik ca. 50-mal höher. In dieser Untersuchung fällt im Weiteren noch auf, dass ein Drittel der Patienten über Schmerzen nach der Doppelinjektionstechnik klagt und ein Drittel diese Technik nicht akzeptabel findet.[16] Ähnlich wie Taboada und Mitarbeiter[60] wird die Einmalinjektionstechnik, um potentielle Komplikationen zu verhindern, auch von der Universitätsklinik für

Anästhesiologie in Ulm befürwortet. Bei den in dieser Studie untersuchten Punktionsorten 1 und 2 war eine Einfachstimulation ausreichend, da der Nerv mit einer hohen Wahrscheinlichkeit vor seiner Bifurkation angetroffen wird. Es erwies sich daher nicht als nötig, die zwei Hauptäste des N. ischiadicus getrennt aufzusuchen.

Wichtige Parameter bei der Einstellung des Nervenstimulators sind die fließende, gemessene Reizstromstärke sowie die Dauer dieses abgegebenen Stromimpulses, die Impulsbreite. Bei aktueller Durchsicht der Literatur finden sich in den meisten Arbeiten unterschiedliche Daten über die verwendeten Nervenstimulatoren, gewählten Impulsbreiten und angestrebten minimalen Stromstärken. So werden verschiedene Angaben bezüglich der Grundeinstellungen der Nervenstimulatoren gemacht, wenn Regionalanästhesie durchgeführt wird (1 ms bis zu 0,04 ms als Impulsbreite; 5 mA bis 1 mA als Startstromstärke, 0,05 bis 1,00 mA als Injektionsstromstärke).[4,57,64]

Verschiedene Teiläste des N. ischiadicus innervieren unterschiedliche Muskelgruppen, so werden je nachdem wo die Nadel sich befindet unterschiedliche motorische Reizantworten erzeugt (siehe Abb. 15 und Tab. 9).[4]

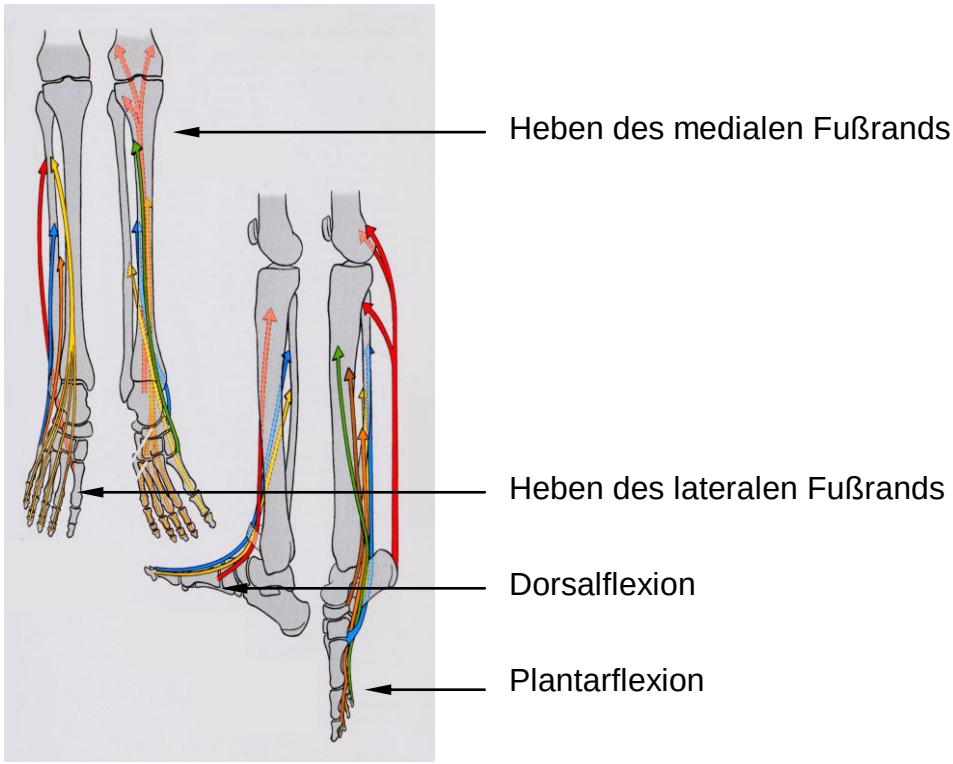


Abb. 15 Reizleitungssystem der unteren Extremität.[69]

Tab. 9 Stimulation des Nervus ischiadicus: Reizantwort und Topographie. Nervus (N.); Musculus (M.)

Reizantwort	Stimulierter Ischiadicus-Teilast	Ausführender Muskel
Dorsalflexion	N.fibularis profundus	M.extensor hallucis longus, M.extensor digitorum longus
Plantarflexion	N.tibialis N.fibularis superficialis	M.flexor hallucis longus, M.flexor digitorum longus
Supination	N. tibialis und N. fibularis profundus	M. tibialis posterior (N.tibialis), M.tibialis anterior (N.fibularis)
Pronation	N.fibularis superficialis N.fibularis profundus	M.peroneus

Benzon et al. befassen sich in einer Studie damit, welche motorische Reizantwort der Muskulatur der unteren Extremität sich am besten eignet, um eine komplette Blockade von allen Teilen des N. ischiadicus zu identifizieren.[4]

Die Studie zeigte, dass Supination die Reizantwort war, die am besten eine komplette Blockade der unteren Extremität anzeigte, wenn der N. ischiadicus oberhalb des Kniegelenkes blockiert wurde. N. tibialis als auch N. fibularis profundus sind an der Supination beteiligt. Bei Dorsalflexion, Plantarflexion oder Pronation als motorische Antwort, nahm die Wahrscheinlichkeit einer kompletten Blockade deutlich ab. In der Studie von Benzon et al. wurde deshalb Supination als Reizantwort empfohlen.

Laut einer Studie von Taboada et al. hat eine Plantarflexion als Stimulationsantwort mit 93% eine höhere Erfolgsrate und resultiert in einem schnelleren Blockadeeintritt im Vergleich zur Dorsalflexion.[61] Taboada et al. schlussfolgern in der Studie, dass der Erfolg distaler, lateraler Blockaden vor allem von einer motorischen Antwort abhängig ist.

4.5.2 Wahl des Lokalanästhetikums

Bei der Auswahl des LAs für die Blockade spielen für den Blockadeerfolg mehrere Faktoren eine relevante Rolle:

- Die verwendete Substanz:
  mittellangwirksame LAs: Mepivacain, Prilocain, Xylocain;
  langwirksame LAs: Bupivacain, Ropivacain;
- die Konzentration der verwendeten Substanz (0,5-2% Lösungen);
- das Volumen der verwendeten Substanz (20-40 ml).

Die Wahl des LAs richtet sich nach Art und voraussichtlicher Dauer des operativen Eingriffes.

Fanelli et al. verglichen Ropivacain 0.75%, Bupivacain 0.5% und Mepivacain 2.0% bei Patienten mit einer kombinierten Femoralis- und Ischiadikusblockade. Ropivacain 0.75% hat eine ähnlich schnelle Anschlagszeit wie Mepivacain 2.0% (14±8 min bzw. 15±9 min) und eine mittlelange bis lange Wirkdauer (670±227 min), die zwischen der von Mepivacain 2.0% (251±47 min) und

Bupivacain 0.5% (880±312 min) lag. Bei Ropivacain brauchten nur 54% der Patienten eine zusätzliche Analgetikagabe nach 24 Stunden, bei Bupivacain benötigten 60% dies und bei Mepivacain 100% der Patienten. 13% der Blockaden waren mit Bupivacain inkomplett, dagegen 7% bei Mepivacain.[15]

Casati et al. untersuchten verschiedene Konzentrationen von Ropivacain, 1,0%, 0,75%, 0,5% mit Mepivacain 2,0% bei kombinierten Femoralis- und Ischiadikusblockaden bei Unterschenkel- und Fußchirurgie. Der Blockadeerfolg war ähnlich bei den verschiedenen Lokalanästhetikalösungen. Die Anschlagszeit bis zum Blockadeeintritt war länger bei 0,5% Ropivacain (26 min) als bei den anderen Lösungen (14-18 min). Unabhängig von der Konzentration war die motorische und sensorische Blockadezeit länger bei Ropivacain (10 h) als bei Mepivacain.(5 h). Die erzielte Schmerzfreiheit war bei 0,5% Ropivacain (12 h) kürzer als bei 0,75% Ropivacain (14 h) und 1% Ropivacain (15 h).[10]

Taboada et al. untersuchten den Blockadeerfolg bei 50 Patienten mit distaler, lateraler Ischiadikusblockade mit Mepivacain und Ropivacain bei Unterschenkeloperationen und fanden für beide Substanzen die gleiche Anzahl Blockadeerfolge (96%).

Marsan et al. verglichen Prilocain 1 % mit Mepivacain 2 % in einer Studie an 30 Patienten zur Knie- Arthroskopie mit kombinierten Ischiadikus- und Femoralisblockaden. Sie erhielten ähnliche Anschlagszeiten (Prilocain 15±5 min bzw. Mepivacain 12±7 min) und entsprechende Dauer bis zur Beendigung der sensorischen und motorischen Blockaden (Prilocain 295±31 min bzw. Mepivacain 248±47 min) für die zwei LAs.[39]

Fournier et al. untersuchten bei 60 Patienten, bei denen Fußoperationen mit distalen, lateralen Ischiadikuskathetern vorgenommen wurden, verschiedene Volumina von Ropivacain 0,5% (20 ml, 30 ml bzw. 40 ml). Bei 20 ml und bei 40 ml kam es in 10% der Blockaden zu inkompletter Wirkung, bei 30 ml waren es 5% der Blockaden. Vollnarkose war zusätzlich notwendig bei 5% der 20 ml-

und 30 ml- Gruppen und bei niemand in der 40 ml-Gruppe. Die Unterschiede waren statistisch nicht signifikant. Die Studie zeigte deshalb, dass 20 ml Ropivacain 0,5% injiziert durch einen distalen, lateralen Ischiadikuskatheter eine optimale Dosis für chirurgische OPs am Fuß waren. Höhere Dosen von 30 ml oder 40 ml erbrachten keine weiteren Vorteile.[21]

4.6 Rolle der MRT für die Studie

Andere in der Literatur beschriebene Studien, kommen zu dem Schluss, dass moderne Bildgebung sehr hilfreich ist, um die anatomischen Verhältnisse bei Nervenblockaden zu beschreiben.[8,20]

Aufgrund des partialen Volumen-Effekts bei der MRT ist es schwieriger, Nerven in direktem Bezug zu Muskeln zu identifizieren.[1,37] Laut den Ergebnissen dieser Arbeit war es aber möglich, den N. ischiadicus auch in enger Beziehung zu isointensen Muskeln zu beurteilen. Der Nerv wird in der Region, in der er einfach zu finden ist, lokalisiert und durch den 3D-Volumendatensatz weiter verfolgt.

Die vorliegende Studie zeigt, dass die Bildgebung mit der MPRAGE-Sequenz eine brauchbare Methode für die MRT-Neurographie ist. Diese Methode erzeugt einen 3D-Volumendatensatz aus welchem die jeweilige anatomische Region, die von Interesse ist, rekonstruiert werden kann. Entsprechend dem Ziel dieser Studie kann der N. ischiadicus bei jedem Probanden am Oberschenkel bilateral dargestellt werden. Die MPRAGE-Sequenz hat sich somit als geeignet erwiesen, um die Anatomie realistisch darzustellen. Anatomische Strukturen können gut von einander getrennt werden und keine relevanten Artefakte stören die Beurteilung.

Aufgrund dieser aktuellen Studien lassen sich weitgehende Übereinstimmungen zwischen den biometrischen Ergebnissen der Untersuchung an formalinfixierten Leichen und den MRT-Daten bei gesunden Probanden finden. Daher war und ist die MRT-Technologie eine attraktive

Methode, um regionalanästhesiologische Techniken zu überprüfen und weiter zu entwickeln.

4.7 Schlussfolgerung

Abschließend kann gesagt werden, dass die zwei Punktionsorte der vorliegenden Probandenuntersuchung eine Alternative zu den klassischen distalen Zugangswegen zum N. ischiadicus darstellen. Die neuen, alternativen Zugangswege können in Rückenlage durchgeführt werden, damit können z.B. Patienten mit frischen Frakturen potentiell schmerzhafte Umlagerungsmaßnahmen erspart werden. Die Methode orientiert sich an einfachen anatomischen Orientierungspunkten. Die Punktionsstellen befinden sich so distal wie möglich und so proximal wie nötig. Die Funktion der Hüfte und des Oberschenkels wird nicht beeinträchtigt und es müssen nicht die zwei Hauptäste des N. ischiadicus getrennt aufgesucht werden, um eine komplette Blockade sicherzustellen. Die Gefahr für inkomplette Blockaden ist somit geringer. Der Abstand von der Punktionstelle zum N. ischiadicus ist mit 4.2 cm im Median sehr gering. Der Abstand zu den umgebenden, verletzungsgefährdeten Strukturen ist groß genug, um das Risiko für Gefäßschäden und schmerzhaften Knochenkontakt möglichst gering zu halten. Eine einfache Platzierung des Katheters für eine kontinuierliche Blockade ist prinzipiell bei beiden untersuchten Punktionsorten möglich, aber in der vorliegenden Untersuchung nicht verifiziert. Die vorbeschriebenen, alternativen Zugangswege zum N. ischiadicus oberhalb des Kniegelenkes werden an der Universitätsklinik für Anästhesiologie in Ulm bereits routinemäßig mit Erfolg angewendet.[51] Die klinische Evaluation des Punktionsortes 2 ist bereits abgeschlossen und bestätigt die aus der Anatomie- und MRT-Studie abgeleiteten Erkenntnisse. Die vorläufigen Ergebnisse zeigen eine 100%ige Erfolgsquote sowie ein einfaches und unkompliziertes klinisches Management. Der Patientenkomfort ist hoch. Die individuelle Breite der Hand ermöglicht es, vom Säugling bis zum Greis, die individuelle Punktionshöhe sicher zu bestimmen. Aus den Messungen dieser Untersuchung ging hervor, dass

Punktionsort 2 zu bevorzugen war, jedoch konnte auch gezeigt werden, dass sowohl Punktionsort 1 als auch Punktionsort 2 für eine zuverlässige und relativ risikoarme Blockade des N. ischiadicus geeignet sind. Beide Punktionsorte können als neue individuelle und reliable Landmarken für eine distale, laterale Ischiadikusblockade verwendet werden.

5 Zusammenfassung

Obwohl periphere Nervenblockaden in den letzten Jahren wieder deutlich an Interesse gewonnen haben, kommen regionalanästhesiologische Blockaden des Plexus lumbosacralis seltener im Vergleich zu Blockaden der oberen Extremität zur Anwendung. Blockaden des Nervus (N.) ischiadicus sind technisch komplizierter durchzuführen als Blockaden der oberen Extremität. Verbesserungen und Vereinfachungen der Technik sind nötig, um die Methode für den klinischen Alltag attraktiver zu gestalten.

Zwei geeignete anatomische Landmarken für eine Blockade des N. ischiadicus oberhalb des Kniegelenkes befinden sich eine Handbreite (Patientenhand) proximal dem Oberrand der Patella am Unterrand des Musculus (M.) vastus lateralis bzw. knapp oberhalb der langen Bizepssehne.

Für diese aktuelle Studie wurden an 20 Probanden mit Hilfe der Magnetrezonanztomographie (MRT) -Technik biometrische Daten erhoben. Dazu wurden Messungen an anatomischen Präparaten durchgeführt, um alternative Zugangswege zum N. ischiadicus oberhalb des Kniegelenkes zu evaluieren. Zwei unterschiedliche Punktionsorte wurden einer genauen Untersuchung unterzogen.

Bei dem Punktionsort 1 unterhalb des lateralen Randes des Musculus (M.) vastus lateralis lag der N. ischiadicus in einer Tiefe von im Median 5,2 cm bzw. nach 38% des Oberschenkeldurchmessers mit einem nach dorsal gerichteten Stichwinkel von 11° zur Horizontalachse. Der Nerv wurde am Punktionsort 2 in einer Tiefe von 4,2 cm bzw. nach 31% des Oberschenkeldurchmessers lokalisiert. Der Stichwinkel - ausgehend vom Punktionsort 2 - betrug 12° nach ventral. Der Punktionsort 2 lag im Median um 1 cm signifikant näher am Nerv.

Ein kürzerer Abstand zum Nerv wie an Punktionsort 2 ist unter Umständen mit geringeren Beschwerden unter Anlage und mit einem einfacheren Aufsuchen des Nervs verbunden. Die absoluten Abstände zur Ateria (A.) poplitea sind auf

den ersten Blick etwas ungünstiger, jedoch bei Betrachtung der Abstände vom Gefäß zum Nerv zeigt sich, dass an Punktionsort 2 der Abstand zwischen Nerv und Gefäß signifikant größer ist als im Vergleich zum Punktionsort 1. Damit verringert sich das Risiko einer unbeabsichtigten Gefäßpunktion und Verletzung.

Beide Punktionsorte befanden sich im Median 7,8 cm proximal der Bifurkation des N. ischiadicus, was sehr vorteilhaft ist, weil ansonsten mit inkompletten Blockaden gerechnet werden muss. Die Handbreite bei den Probanden und den anatomischen Präparaten betrug im Median 8,5 cm bzw. 7,6 cm. Die Bifurkationsstelle des N. ischiadicus lag bei den Probanden im Median 5,5 cm oberhalb des Kniegelenkspaltes und bei den anatomischen Präparaten waren es 6,5 cm. Bei allen untersuchten Probanden und bei allen anatomischen Präparaten war eine Handbreite proximal des Patellaoberrandes ausreichend, um den N. ischiadicus vor seiner Aufspaltung in seine zwei Äste anzutreffen. Die Bifurkationshöhe bei den Leichen- und Probandendaten waren nicht signifikant unterschiedlich. Bei den übrigen Messparametern konnte dies auch bestätigt werden. Die topografischen Beziehungen der wichtigsten anatomischen Strukturen bei den anatomischen Präparaten unterschieden sich nicht signifikant von den Bedingungen in vivo bei gesunden Probanden.

Der in der vorliegenden Untersuchung evaluierte Punktionsort 2 bietet den unmittelbarsten, sichersten und kürzesten Zugang zum N. ischiadicus im Bereich des distalen Oberschenkels. Dieser einfache Zugangsweg, der sich auf reliable, individuelle Landmarken stützt, ist inzwischen im klinischen Alltag etabliert und bereits durch eine klinische Studie evaluiert. Damit erweist er sich als sinnvolle, risikoarme Möglichkeit zur Anästhesierung des N. ischiadicus.

6 Literaturverzeichnis

1. Almanza MY, Poon-Chue A, Terk MR: Dual oblique MR method for imaging the sciatic nerve. Journal of computer assisted tomography. 1999;23:138-140.

2. Auroy Y, Benhamou D, Bargues L, Ecoffey C, Falissard B, Mercier FJ, Bouaziz H, Samii K, Mercier F: Major complications of regional anesthesia in France: The SOS Regional Anesthesia Hotline Service. Anesthesiology. 2002;97:1274-1280.

3. Beck GP: Anterior approach to sciatic nerve block. Anesthesiology. 1963;24:222-224.

4. Benzon HT, Kim C, Benzon HP, Silverstein ME, Jericho B, Prillaman K, Buenaventura R: Correlation between evoked motor response of the sciatic nerve and sensory blockade. Anesthesiology. 1997;87:547-552.

5. Bernard JM, Macaire P: Dose-range effects of clonidine added to lidocaine for brachial plexus block. Anesthesiology. 1997;87:277-284.

6. Blair DN, Rapoport S, Sostman HD, Blair OC: Normal brachial plexus: MR imaging. Radiology. 1987;165:763-767.

7. Brinkmann A: Distale Ischiadikusblockaden - „Wie kann es sein, dass der Block nicht sitzt?" 5. Ulmer Regionalanästhesie-Symposium. 2007 (unveröffentlichtes Material)

8. Brown DL: Anatomic imaging: Seeing into the future. Regional Anesthesia and Pain Medicine. 1998;23:529-530.

9. Casati A, Chelly JE, Lang SA, Fanelli G: Paresthesia but no motor response: what's going on? Anesthesiology. 2003;98:586.

10. Casati A, Fanelli G, Borghi B, Torri G: Ropivacaine or 2% mepivacaine for lower limb peripheral nerve blocks. Study Group on Orthopedic Anesthesia of the Italian Society of Anesthesia, Analgesia, and Intensive Care. Anesthesiology. 1999;90:1047-1052.

11. Collum CR, Courtney PG: Sciatic nerve blockade by a lateral approach to the popliteal fossa. Anaesthesia and intensive care. 1993;21:237.

12. Cudlip SA, Howe FA, Clifton A, Schwartz MS, Bell BA: Magnetic resonance neurography studies of the median nerve before and after carpal tunnel decompression. Journal of neurosurgery. 2002;96:1046-1051.

13. Di Benedetto P, Casati A, Bertini L, Fanelli G: Posterior subgluteal approach to block the sciatic nerve: description of the technique and initial clinical experiences. European journal of anaesthesiology. 2002;19:682-686.

14. Fa.Siemens: B.5 Schnelle Bildgebung mit TurboFLASCH, in Siemens Magnetom Symphony Applikations-Handbuch Version A11A. 2000, S. B.5-1-B.5-10.

15. Fanelli G, Casati A, Beccaria P, Aldegheri G, Berti M, Tarantino F, Torri G: A double-blind comparison of ropivacaine, bupivacaine, and mepivacaine during sciatic and femoral nerve blockade. Anesthesia and analgesia. 1998;87:597-600.

16. Fanelli G, Casati A, Garancini P, Torri G: Nerve stimulator and multiple injection technique for upper and lower limb blockade: failure rate, patient acceptance, and

neurologic complications. Study Group on Regional Anesthesia. Anesthesia and analgesia. 1999;88:847-852.

17. Fayad ZA, Fuster V: Clinical imaging of the high-risk or vulnerable atherosclerotic plaque. Circulation Research. 2001;89:305-316.

18. Fayad ZA, Fuster V, Nikolaou K, Becker C: Computed tomography and magnetic resonance imaging for noninvasive coronary angiography and plaque imaging: current and potential future concepts. Circulation. 2002;106:2026-2034.

19. Filler AG, Maravilla KR, Tsuruda JS: MR neurography and muscle MR imaging for image diagnosis of disorders affecting the peripheral nerves and musculature. Neurologic clinics. 2004;22:643-VII.

20. Floch H, Naux E, Pham DC, Dupas B, Pinaud M: Computed tomography scanning of the sciatic nerve posterior to the femur: Practical implications for the lateral midfemoral block. Regional Anesthesia and Pain Medicine. 2003;28:445-449.

21. Fournier R, Weber A, Gamulin Z: No differences between 20, 30, or 40 mL ropivacaine 0.5% in continuous lateral popliteal sciatic-nerve block. Regional Anesthesia and Pain Medicine. 2006;31:455-459.

22. Freund W, Brinkmann A, Wagner F, Dinse A, Aschoff AJ, Stuber G, Schmitz B: MR neurography with multiplanar reconstruction of 3D MRI datasets: an anatomical study and clinical applications. Neuroradiology. 2007.

23. Grau T: Ultrasonography in the current practice of regional anaesthesia. Best practice & research Clinical anaesthesiology. 2005;19:175-200.

24. Guardini R, Waldron BA, Wallace WA: Sciatic nerve block: a new lateral approach. Acta anaesthesiologica Scandinavica. 1985;29:515-519.

25. Guntz E, Herman P, Debizet E, Delhaye D, Coulic V, Sosnowski M: Sciatic nerve block in the popliteal fossa: description of a new medial approach. Canadian journal of anaesthesia. 2004;51:817-820.

26. Gupta RK, Mehta VS, Banerji AK, Jain RK: MR evaluation of brachial plexus injuries. Neuroradiology. 1989;31:377-381.

27. Hadzic A, Vloka JD: A comparison of the posterior versus lateral approaches to the block of the sciatic nerve in the popliteal fossa. Anesthesiology. 1998;88:1480-1486.

28. Hadzic A, Vloka JD, Kuroda M, Koorn R, Birnbach D: The Practice of Peripheral Nerve Blocks in the United States: A National Survey. Regional Anesthesia and Pain Medicine. 1998;23:241-246.

29. Hadzic A, Vloka JD, Singson R, Santos A.C, Thys D.M: A comparison of intertendinous and classical approaches to popliteal nerve block using Manetic Resonance Imaging Simulation. Anesthesia and analgesia. 2002;94:1321-1324.

30. Howe FA, Filler AG, Bell BA, Griffiths JR: Magnetic resonance neurography. Magnetic resonance in medicine : official journal of the Society of Magnetic Resonance in Medicine / Society of Magnetic Resonance in Medicine. 1992;28:328-338.

31. Kaiser H: Periphere elektrische Nervenstimulation, in Lokalanästhesie, Regionalanästhesie, Regionale Schmerztherapie. Stuttgart, New York, Georg Thieme Verlag. 2003, S. 140-195.

32. Kress B, Rasche D, Fiebach J, Tronnier V, Sartor K, Stippich C: MR volumetry of the trigeminal nerve in patients with unilateral facial pain. RöFo : Fortschritte auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen und der Nuklearmedizin. 2004;176:719-723.

33. Labat G: Regional anesthesia: Its technique and clinical application. W. B. Saunders Company, Philadelphia and London. 1923:286

34. Läwen A: Über Leitungsanästhesie an der unteren Extremität, mit Bemerkungen über die Technik von Injektionen an den N. ischiadicus bei Behandlung der Ischias. Deutsche Zeitschrift für Chirurgie. 1911;111:252-268.

35. Lippert H.: Bein (Membrum inferius), in Lehrbuch Anatomie. Urban & Fischer. 2006, S. 689-731.

36. Mansour NY: Reevaluating the sciatic nerve block: another landmark for consideration. Regional anesthesia. 1993;18:322-323.

37. Maravilla KR, Bowen B.C: Imaging of the Peripheral Nervous System: Evaluation of Peripheral Neropathy and Plexopathy. American journal of neuroradiology. 1998;19 June:1011-1023.

38. Marhofer P, Greher M, Kapral S: Ultrasound guidance in regional anaesthesia. British Journal of Anaesthesia. 2005;94:7-17.

39. Marsan A, Kirdemir P, Mamo D, Casati A: Prilocaine or mepivacaine for combined sciatic-femoral nerve block in patients receiving elective knee arthroscopy. Minerva anestesiologica. 2004;70:763-769.

40. McLeod DH, Wong DH, Claridge RJ, Merrick PM: Lateral popliteal sciatic nerve block compared with subcutaneous infiltration for analgesia following foot surgery. Canadian journal of anaesthesia. 1994;41:673-676.

41. McLeod DH, Wong DH, Vaghadia H, Claridge RJ, Merrick PM: Lateral popliteal sciatic nerve block compared with ankle block for analgesia following foot surgery [published erratum appears in Canadian journal of anaesthesia 1995 Nov;42(11):1065]. Canadian journal of anaesthesia. 1995;42:765-769.

42. Meier G: Die kontinuierliche Ischiadikusblockade zur Anästhesie und postoperativen Schmerztherapie. Anaesthesist. 1996;45:100.

43. Meier G: Periphere Nervenblockaden der unteren Extremität. Anaesthesist. 2001;50:536-559.

44. Meier G, Mehrkens HH, Büttner J: Der kontinuierliche anteriore Ischiadikuskatheter (KAI), in Kontinuierliche periphere Leitungsblockaden. Acris, München. 1999, S. 47-48.

45. Moore KR, Blumenthal DT, Smith AG, Ward JH: Neurolymphomatosis of the lumbar plexus: high-resolution MR neurography findings. Neurology. 2001;57:740-742.

46. Moore KR, Tsuruda JS, Dailey AT: The Value of MR Neurography for Evaluating Extraspinal Neropathic Leg Pain: A Pictorial Essay. American journal of neuroradiology. 2001;22:786-794.

47. Morris GF, Lang SA, Dust WN, Van der WM: The parasacral sciatic nerve block. Regional anesthesia. 1997;22:223-228.

48. Naganawa S, Koshikawa T, Nakamura T, Fukatsu H, Ishigaki T, Aoki I: High-resolution T1-weighted 3D real IR imaging of the temporal bone using triple-dose contrast material. European radiology. 2003;13:2650-2658.

49. Neuburger M, Kaiser H, Uhl M: Biometrische Daten zum Pneumothoraxrisiko bei der vertikalen infraklavikulären Plexus-brachialis-Blockade (VIP): Eine Kernspintomographische Untersuchung. Der Anaesthesist. 2001;50:511-516.

50. Neuburger M, Breitbarth J, Reisig F, Lang D, Buttner J: Complications and adverse events in continuous peripheral regional anesthesia Results of investigations on 3,491 catheters. Der Anaesthesist. 2006;55:33-40.

51. Neuburger M, Hendrich E, Lang D, Dinse A, Wagner F, Freund W, Brinkmann A, Buttner J: Lateral approach to blockade of the sciatic nerve. Biometric data using magnetic resonance imaging. Der Anaesthesist. 2005;54:877-883.

52. Pandin P, Vandesteene A, D'Hollander A: Sciatic nerve blockade in the supine position: a novel approach. Canadian journal of anaesthesia. 2003;50:52-56.

53. Paqueron X, Bouaziz H, Macalou D, Labaille T, Merle M, Laxenaire MC, Benhamou D: The lateral approach to the sciatic nerve at the popliteal fossa: one or two injections? Anesthesia and analgesia. 1999;89:1221-1225.

54. Raj PP, Parks R, Watson TD, Jenkins MT: A new singel position supine approach to sciatic nerve block. Anesthesia and analgesia. 1975;54:489-493.

55. Rorie DK, Byer DE, Nelson DO, Sittipong R, Johnson KA: Assessment of block of the sciatic nerve in the popliteal fossa. Anesthesia and analgesia. 1980;59:371-376.

56. Schmitz B, Hagen T, Reith W: Three-dimensional true FISP for high-resolution imaging of the whole brain. European radiology. 2003;13:1577-1582.

57. Singelyn FJ, Gouverneur JM, Gribomont BF: Popliteal sciatic nerve block aided by a nerve stimulator: a reliable technique for foot and ankle surgery. Regional anesthesia. 1991;16:278-281.

58. Sunderland S: The sciatic nerve and its tibial and common peroneal division. Anatomical and physiological features, in Peripheral nerve trunks, nerves and nerve injuries. Edinburgh, Livingstone. 1968, S. 925-966.

59. Taboada MM, Alvarez J, Cortes J, Rodriguez J, Rabanal S, Gude F, Atanassoff A, Atanassoff PG: The effects of three different approaches on the onset time of sciatic nerve blocks with 0.75% ropivacaine. Anesthesia and analgesia. 2004;98:242-7, table.

60. Taboada MM, Alvarez J, Cortes J, Rodriguez J, Atanassoff P: Lateral approach to the sciatic nerve block in the popliteal fossa: Correlation between evoked motor response and sensory block. Regional Anesthesia and Pain Medicine. 2003;28:450-455.

61. Taboada MM, Cortes J, Rodriguez J, Ulloa B, Alvarez J, Atanassoff PG: Lateral approach to the sciatic nerve in the popliteal fossa: a comparison between 1.5% mepivacaine and 0.75% ropivacaine. Regional Anesthesia and Pain Medicine. 2003;28:516-520.

62. Taboada MM, Rodriguez J, Alvarez J, Cortes J, Gude F, Atanassoff PG: Sciatic nerve block via posterior Labat approach is more efficient than lateral popliteal approach using a double-injection technique: a prospective, randomized comparison. Anesthesiology. 2004;101:138-142.

63. Triado VD, Crespo MT, Aguilar JL, Atanassoff PG, Palanca JM, Moro B: A comparison of lateral popliteal versus lateral midfemoral sciatic nerve blockade using ropivacaine 0.5%. Regional Anesthesia and Pain Medicine. 2004;29:23-27.

64. Vloka JD, Hadzic A: The intensity of the current at which sciatic nerve stimulation is achieved is a more important factor in determining the quality of nerve block than the type of motor response obtained. Anesthesiology. 1998;88:1408-1411.

65. Vloka JD, Hadzic A, April E, Thys DM: The division of the sciatic nerve in the popliteal fossa: anatomical implications for popliteal nerve blockade. Anesthesia and analgesia. 2001;92:215-217.

66. Vloka JD, Hadzic A, Kitain E, Lesser JB, Kuroda M, April EW, Thys DM: Anatomic considerations for sciatic nerve block in the popliteal fossa through the lateral approach. Regional anesthesia. 1996;21:414-418.

67. Vloka JD, Hadzic A, Koorn R, Thys D: Supine approach to the sciatic nerve in the popliteal fossa. Canadian journal of anaesthesia. 1996;43:964-967.

68. Vloka JD, Hadzic A, Lesser JB, Kitain E, Geatz H, April EW, Thys DM: A common epineural sheath for the nerves in the popliteal fossa and its possible implications for sciatic nerve block. Anesthesia and analgesia. 1997;84:387-390.

69. Werner P: Taschenatlas der Anatomie, 1. Band Bewegungsapparat. Stuttgart - New York. Georg Thieme Verlag. 2003:267

70. Zetlaoui PJ, Bouaziz H: Lateral approach to the sciatic nerve in the popliteal fossa. Anesthesia and analgesia. 1998;87:79-82.

71. Zhou L, Yousem DM, Chaudhry V: Role of magnetic resonance neurography in brachial plexus lesions. Muscle & nerve. 2004;30:305-309.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Ida Anneli Morken
Geburtsdatum	24.03.1980
Geburtsort	Oslo, Norwegen

Ausbildung

1987-1992	Grundschule Oslo, Norwegen
1992-1996	Grundschule Kongsvinger, Norwegen
1996-1999	Gymnasium Oslo
Juni-Juli 1997	Gabelsberger Gymnasium Mainburg Deutschland, deutsch Austauschsprachkurs
1999	Abitur
Oktober 1999	Medizinstudium an der Universität Ulm
August 2002	Physikum
August 2003	1. Staatsexamen
September 2005	2. Staatsexamen
Oktober 2005	Medizinstudium an der Universität Freiburg
November 2006	3. Staatsexamen

Famulaturen

Chirurgie (Bærum Krankenhaus, Bærum Norwegen)
Innere Medizin (Diakonhjemmet Krankenhaus, Oslo Norwegen)
Notfallambulanz (Ullevål Universitätsklinik, Oslo Norwegen)
Anästhesie (Abteilung für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Ulm)

Praktisches Jahr

Oktober 2005-Januar 2006	Innere Medizin, Klinikum Konstanz,
Januar 2006-Mai 2006	Chirurgie, Klinikum Konstanz
Mai 2006-August 2006	Pädiatrie, Klinikum Konstanz

Beruflicher Werdegang

16.07.2007-13.08.2007	Abteilung für Nierenmedizin, Ullevål Universitätsklinikum Oslo, Norwegen
14.08.2007-22.02.2009	Medizinische Abteilung, Krankenhaus Asker und Bærum Oslo/Bærum, Norwegen
März - Dezember 2008	Mutterschutz
Seit 11.05.2009	Radiologische Abteilung, Ullevål Universitätsklinikum Oslo, Norwegen

Danksagung

Diese Arbeit ließ sich für mich nur durchführen durch die Unterstützung von verschiedenen Abteilungen und einer Reihe von hilfsbereiten Menschen.

So danke ich meinem Doktorvater, Prof. Dr. med. Alexander Brinkmann, ganz herzlich für die freundliche Überlassung des Themas, die Förderung, die Beratung und für den freundlichen Umgangston bei der Anfertigung meiner Dissertation.

Der Abteilung für Anästhesiologie und der Abteilung für Radiologie des Universitätsklinikums Ulm danke ich für die freundliche und kollegiale Zusammenarbeit, ganz besonders Dr. Alexander Dinse-Lambracht, Dr. Florian Wagner und Dr. Wolfgang Freund.

Ich danke meinem Mann, für alle Unterstützung während der Fertigstellung dieser Arbeit, meiner Schwiegermutter für ihre wertvollen Beiträge, meiner Familie und guten Freunden für alle Aufmunterung während der Arbeitsperiode.