

Aus dem Institut für Anatomie I  
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf  
Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Timm J. Filler

# Musculus vastus lateralis obliquus: Subkompartiment oder eigenständiger Skelettmuskel?

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von  
Kristina Karin Witzki

2017

Als Inauguraldissertation gedruckt mit der Genehmigung der Medizinischen  
Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

gez.:

Dekan: Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: Prof. Dr. med. Timm J. Filler

Zweitgutachter: PD Dr. med Simon Thelen

## Zusammenfassung

Obwohl die makroskopische Anatomie des menschlichen Körpers den Anschein erweckt, vollständig beschrieben zu sein, werden auch in unserer Zeit noch neue Skelettmuskeln gefunden und kontroverse Diskussionen darüber geführt, ob es sich bei den distalen Muskelfasern des M. vastus medialis um einen eigenständigen, in der klinischen Literatur oft als M. vastus medialis obliquus bezeichneten, Skelettmuskel handelt. In mehreren Arbeiten konnte gezeigt werden, dass einige humane Skelettmuskeln über Subkompartimente verfügen. Dies legt nahe, dass die Definition des Skelettmuskelbegriffs offenbar Spielraum für Interpretationen zulässt und die Abgrenzung zwischen eigenständigem Muskel und Subkompartiment nicht immer einfach ist.

Die Kontroverse um die fragliche Eigenständigkeit des M. vastus medialis obliquus führt zur naheliegenden Frage, wie sich die anatomische Situation an der Gegenseite darstellt. Insgesamt beschäftigen sich nur acht Arbeiten in unterschiedlichem Umfang mit den schräg zur Hauptmuskelfaser verlaufenden und als M. vastus lateralis obliquus bezeichneten kaudalen Fasern des M. vastus lateralis. Die vorliegende Arbeit hat aus diesem Grund die Zielsetzung, die wenigen vorhandenen Informationen zum M. vastus lateralis obliquus zu hinterfragen und durch neue und in Hinblick auf seine Eigenständigkeit relevante Aspekte zu ergänzen.

Dazu wurden 25 Humanpräparate adulter Körperspender mittels makroskopischer Präparation und morphometrischer Vermessung von während der Präparation angefertigten Fotografien untersucht. In Hinblick auf eine mögliche Eigenständigkeit wurde neben dem durch Ursprung und Ansatz definierten Muskelfaserverlauf und der Morphologie des Muskels, der Schwerpunkt auf das Aufsuchen einer eigenständigen Innervation gelegt.

Laut allgemeiner Lehrmeinung wird der M. vastus lateralis vom N. femoralis versorgt. Die vorliegende Arbeit zeigt erstmals, dass der in allen untersuchten Körperspenden nachgewiesene M. vastus lateralis obliquus in einigen Fällen von einem Nervenast aus dem N. ischiadicus versorgt wird, der von der Dorsalseite des Oberschenkels kommend das Septum intermusculare laterale durchtritt und von einem Blutgefäß begleitet an den Muskel heranzieht. Diese Beobachtungen legen eine anatomische und funktionelle Eigenständigkeit des M. vastus lateralis obliquus nahe.

Neue Erkenntnisse konnten ferner hinsichtlich der Morphologie des Muskels gewonnen werden. So konnte gezeigt werden, dass sich der M. vastus lateralis obliquus in zwei Typen unterteilen lässt, die sich hinsichtlich ihres Faserverlaufs unterscheiden. Der Faserverlauf der Muskelfasern stellt sich abweichend von den bisherigen Beschreibungen als von dorsal nach ventral absteigend dar. Daraus ergeben sich für den M. vastus lateralis obliquus sowohl ein kranialisierender als auch ein dorsalisierender Kraftvektor. Beide könnten einen nennenswerten Einfluss auf die Lage bzw. Sicherung der Patella nach medial haben.

Die Ergebnisse dieser Arbeit können als Grundlage für zukünftige klinische Untersuchungen herangezogen werden. Beispielsweise könnte die von der allgemeinen Lehrmeinung abweichende, hier erstmals beschriebene Innervation des M. vastus lateralis obliquus Einfluss auf die Bewertung von diagnostischen Untersuchungen wie Muskelbiopsien oder der Elektromyographie haben. Darüber hinaus könnten die im Rahmen der Vermessung des Muskels bestimmten Parameter interessant für die Pathogenese der Patella-Instabilität und endoprothetische Versorgung des Kniegelenks sein.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>VI</b>
<b>2</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>3</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>X</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Klassische anatomische Definition des Skelettmuskelbegriffs	1
1.2	Das Konzept des M. vastus medialis obliquus	1
1.2.1	Topografische Einordnung	1
1.2.2	Die VMO-Kontroverse	2
1.3	Kriterien für die Eigenständigkeit eines Skelettmuskels	2
1.4	Bisheriges Konzept des M. vastus lateralis obliquus	3
1.4.1	Häufigkeit des Auftretens	4
1.4.2	Ursprung	4
1.4.3	Ansatz	5
1.4.4	Funktion	5
1.4.5	Innervation	5
1.4.6	Vaskuläre Versorgung	6
1.4.7	Morphologie	7
1.4.8	Der VLO als Kompartiment des VL	8
1.5	Fragestellung	9
<b>2</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>10</b>
2.1	Makroskopische Präparation	10
2.1.1	Humanpräparate	10
2.1.2	Materialien für die Präparation und Fotodokumentation	10
2.1.3	Präparationsschritte	11
2.1.4	Qualitative Datenerhebung im Rahmen der Präparation	12
2.1.5	Entnahme von Muskelpräparaten / Gewebeproben	12
2.2	Histologische Untersuchung der entnommenen Muskelpräparate	13
2.2.1	Substanzen	13

2.2.2	Geräte.....	14
2.2.3	Histochemie .....	14
2.2.4	Immunhistochemie .....	15
2.3	Erhebung der quantitativen Daten.....	16
2.3.1	Voraussetzungen für die Messung .....	16
2.3.2	Auswertungssoftware .....	16
2.3.3	Erhobene Messparameter.....	16
2.4	Statistik .....	19
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>21</b>
3.1	Makroskopische Auswertung .....	21
3.1.1	Häufigkeit .....	21
3.1.2	Ursprung.....	21
3.1.3	Ansatz.....	21
3.1.4	Bindegewebiges Septum zwischen VL und VLO .....	23
3.1.5	Gefäßversorgung von dorsal .....	23
3.1.6	Innervation von dorsal .....	24
3.1.7	Ventrales Gefäß-Nervenbündel .....	25
3.1.8	Besondere Befunde.....	25
3.1.9	Einteilung des VLO in Typen .....	27
3.1.10	Zusammenfassung der erhobenen qualitativen Daten .....	29
3.2	Mikroskopische Auswertung .....	29
3.3	Vermessung des VLO .....	32
3.3.1	Ausdehnung des Ursprungsareals am SIL.....	32
3.3.2	Muskelfaserlänge der kranialen Fasern .....	34
3.3.3	Muskelfaserlänge der kaudalen Fasern.....	37
3.3.4	Kranialer Ansatzwinkel zu einer Parallelen zur Femurschaftachse in Sagittalebene .....	39
3.3.5	Kaudaler Ansatzwinkel zu einer Parallelen zur Femurschaftachse in Sagittalebene.....	41
3.3.6	Zusammenfassung der erhobenen quantitativen Daten .....	43
3.4	Korrelation der quantitativen Daten .....	43
<b>4</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>48</b>
4.1	Überblick.....	48
4.2	Einordnung der bisherigen Erkenntnisse zum VLO anhand eigener Beobachtungen .....	48
4.3	Funktionelle Bedeutung des VLO .....	49
4.4	VLO – Subkompartiment oder eigenständiger Muskel? .....	52

4.5	Ausblick.....	54
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerung.....</b>	<b>55</b>
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>57</b>

# 1 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Topographische Einordnung des VLO .....	3
Abb. 2:	Dorsale Probenentnahme einer VLO-Probe mit eintretendem transseptalem Blutgefäß.....	13
Abb. 3:	Schemazeichnung der gemessenen Distanzen .....	17
Abb. 4:	Schemazeichnung zum Prinzip der Messung des Winkels zwischen VLO-Muskelfasern und einer Parallele zur Femurschaftachse .....	18
Abb. 5:	Faserursprung des VLO am SIL.....	21
Abb. 6:	Beispiel für einen VLO mit eigenständiger Sehne.....	22
Abb. 7:	Beispiel für einen VLO mit Insertion an der Sehne des VL.....	23
Abb. 8:	Beispiel für einen VLO mit dorsaler Gefäßversorgung.....	24
Abb. 9:	Verlauf des versorgenden Nervenastes.....	25
Abb. 10:	Beispiel für einen durch Fettgewebe ersetzten VLO .....	26
Abb. 11:	Anatomische Variante eines akzessorischen distalen Muskelbauchs des VL ....	27
Abb. 12:	Schemazeichnung der beiden Typen des VLO .....	28
Abb. 13:	Histologie eines dorsalen Gefäß-Nervenbündels am SIL .....	30
Abb. 14:	Histologie eines dorsalen Gefäß-Nervenbündels am SIL .....	31
Abb. 15:	Immunhistochemie eines dorsalen Gefäß-Nervenbündels am SIL.....	31
Abb. 16:	Detailansicht einer immunhistochemischen Markierung von Axonen des dorsalen Gefäß-Nervenbündel .....	32
Abb. 17:	Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals vom Auftreten eines ventralen über das Septum zwischen VL und VLO laufenden Gefäß-Nervenbündels.....	33
Abb. 18:	Abhängigkeit der Muskelfaserlänge der kranialen Fasern vom Muskeltyp des VLO .....	35

Abb. 19: Korrelation des kranialen Winkels mit der Länge der kranialen Muskelfasern des VLO .....	45
Abb. 20: Korrelation der Ursprungsausdehnung am SIL mit der Länge der kranialen Muskelfasern des VLO .....	46
Abb. 21: Korrelation des kranialen Winkels gegen den kaudalen Winkel.....	47
Abb. 22: Darstellung der Kraftvektoren des VLO .....	50

## 2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1.	Verwendete Geräte für die Histochemie .....	14
Tabelle 2.	Verwendete Antikörper für die Immunhistochemie.....	15
Tabelle 3.	Übersicht über die für die statistische Auswertung relevanten Parameter und Erläuterung ihrer Bedeutung. ....	19
Tabelle 4:	Zusammenfassung der erhobenen qualitativen Daten.....	29
Tabelle 5.	Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals vom Auftreten eines ventral über das Septum zwischen VL und VLO laufenden Gefäß- Nervenbündels.....	33
Tabelle 6.	Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals von der Körperseite....	34
Tabelle 7.	Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals vom Geschlecht.....	34
Tabelle 8.	Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals vom Muskeltyp des VLO.....	34
Tabelle 9.	Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals von der Ansatzart des VLO.....	34
Tabelle 10:	Abhängigkeit der Muskelfaserlänge der kranialen Fasern vom Muskeltyp des VLO .....	35
Tabelle 11.	Abhängigkeit der Länge der kranialen Fasern von der Körperseite. ....	36
Tabelle 12.	Abhängigkeit der Länge der kranialen Fasern vom Geschlecht .....	36
Tabelle 13.	Abhängigkeit der Länge der kranialen Fasern vom Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels.....	36
Tabelle 14.	Abhängigkeit der Länge der kranialen Fasern von der Ansatzart des VLO. ..	37
Tabelle 15.	Abhängigkeit der Länge der kaudalen Fasern von der Körperseite .....	37
Tabelle 16:	Abhängigkeit der Länge der kaudalen Fasern vom Geschlecht .....	37
Tabelle 17:	Abhängigkeit der Länge der kaudalen Fasern vom Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels.....	38

Tabelle 18:	Abhängigkeit der Länge der kaudalen Fasern vom Muskeltyp .....	38
Tabelle 19:	Abhängigkeit der Länge der kaudalen Fasern von der Ansatzart des VLO....	38
Tabelle 20:	Abhängigkeit der Größe des kranialen Ansatzwinkels von der Körperseite .	39
Tabelle 21:	Abhängigkeit der Größe des kranialen Ansatzwinkels vom Geschlecht .....	39
Tabelle 22:	Abhängigkeit der Größe des kranialen Ansatzwinkels vom Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels .....	40
Tabelle 23:	Abhängigkeit der Größe des kranialen Ansatzwinkels vom Muskeltyp .....	40
Tabelle 24:	Abhängigkeit der Größe des kranialen Ansatzwinkels von der Ansatzart des VLO .....	40
Tabelle 25:	Abhängigkeit der Größe des kaudalen Ansatzwinkels von der Körperseite .	41
Tabelle 26:	Abhängigkeit der Größe des kaudalen Ansatzwinkels vom Geschlecht.....	41
Tabelle 27:	Abhängigkeit der Größe des kaudalen Ansatzwinkels vom Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels .....	41
Tabelle 28:	Abhängigkeit der Größe des kaudalen Ansatzwinkels vom Muskeltyp.....	42
Tabelle 29:	Abhängigkeit der Größe des kaudalen Ansatzwinkels von der Ansatzart des VLO .....	42
Tabelle 30:	Zusammenfassung der erhobenen quantitativen Daten .....	43
Tabelle 31:	Tabellarische Zusammenfassung der Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen der quantitativen Parameter .....	44

### 3 Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
HRP	horseradish peroxidase
Lig.	Ligamentum
LSAB	Labelled Streptavidin-Biotin
M.	Musculus
N.	Nervus
PBS	phosphate buffered saline
R.	Ramus
Rr.	Rami
RF	M. rectus femoris
SIL	Septum intermusculare laterale
V.	Vena
VI	M. vastus intermedius
VL	M. vastus lateralis
VLL	M. vastus lateralis longus
VLO	M. vastus lateralis obliquus
VM	M. vastus medialis
VML	M. vastus medialis longus
VMO	M. vastus medialis obliquus

# 1 Einleitung

## 1.1 Klassische anatomische Definition des Skelettmuskelbegriffs

Ein Skelettmuskel kann auf verschiedene Arten definiert werden. Makroskopisch wird er dann als Individuum bezeichnet, wenn er als eine abgrenzbare, funktionell eigenständige Struktur mit reproduzierbarer Lage, einem souveränen Verlauf bei identifizierbaren topografischen Beziehungen und einer zugeordneten Innervation und Funktion auftritt. Der Verlauf eines Skelettmuskels wird durch seine Befestigungspunkte am Skelett vorgegeben, die als Ursprung und Ansatz bezeichnet werden.

Die makroskopische Anatomie des menschlichen Körpers gilt in ihren Grundzügen als vollständig beschrieben. Dennoch wurden auch in der jüngeren Zeit neue Skelettmuskel-Individuen entdeckt und anatomisch definiert [1, 2].

Im Rahmen klinischer Fragestellungen werden demgegenüber bereits anatomische Strukturen zu einem eigenständigen Skelettmuskel erhoben, die nicht alle Kriterien der klassischen anatomischen Definition erfüllen. Ein Beispiel dafür ist der in zahlreichen Publikationen betrachtete und als *M. vastus medialis obliquus* (VMO) bezeichnete mediokaudale Anteil des *M. vastus medialis* (VM) [3-8].

## 1.2 Das Konzept des *M. vastus medialis obliquus*

### 1.2.1 Topografische Einordnung

Auf der Ventralseite des Oberschenkels liegt die Extensorengruppe, bestehend aus *M. sartorius* und *M. quadriceps femoris*. Der *M. quadriceps femoris* ist für die Streckung des Kniegelenks zuständig und besteht aus den vier Köpfen *M. rectus femoris*, *M. vastus intermedius*, *M. vastus medialis* und *M. vastus lateralis*. Die größte Muskelmasse der vier Köpfe besitzt der *M. vastus lateralis*, der von einer ausgeprägten Aponeurose im Bereich der *Linea intertrochanterica*, des *Trochanter major* und dem *Labium laterale* der *Linea aspera* des Femurs entspringt. Distal vereinigen sich alle vier Köpfe zu einer gemeinsamen Sehne. Diese überspannt die als Sesambein fungierende *Patella* und findet ihren Ansatz an der *Tuberositas tibia* [9].

### **1.2.2 Die VMO-Kontroverse**

In vielen Publikationen zum M. quadriceps femoris wird das Vorhandensein von schräg zur Hauptmuskelfaser des VM verlaufenden Muskelfasern in seinem distalen Bereich beschrieben. Diese werden von dem als M. vastus medialis longus (VML) bezeichneten longitudinal zur Femurachse verlaufenden Muskelfasern abgegrenzt und als VMO bezeichnet [10].

Vor allem aufgrund seiner schräg von medial an das Kniegelenk heranziehenden Muskelfasern wird dem VMO von einigen Autoren eine Rolle als aktiver Stabilisator der Patella gegenüber dem Femur zugewiesen [11-13]. Klinisch soll er aus diesem Grund zusammen mit weiteren Stabilisierungsmechanismen der Patellaluxation nach lateral entgegen wirken [14, 15].

Trotz jahrzehntelanger Forschung, wird die Frage, ob es sich bei VML und VMO um eigenständige Muskelindividuen oder Teile des VM handelt auch heute noch kontrovers diskutiert [7, 8]. Für eine Eigenständigkeit des VMO könnten laut Smith et al. der verschiedenartige Muskelfaserlauf im proximalen und distalen Bereich des VM, das Vorhandensein einer Faszie zwischen VMO und VML und eine unterschiedliche Innervation beider Bereiche sprechen. In ihrem systematischen Review kommen die Autoren jedoch zu dem Schluss, dass die Datenlage nicht ausreicht, um den VMO als eigenständigen Muskel zu bezeichnen, da lediglich für den verschiedenartigen Muskelfaserlauf ausreichende Evidenz vorliegt. Das Vorhandensein einer Faszie zwischen VMO und VML, sowie eine eigenständige Innervation des VMO scheint hingegen eher die Ausnahme zu sein [7].

### **1.3 Kriterien für die Eigenständigkeit eines Skelettmuskels**

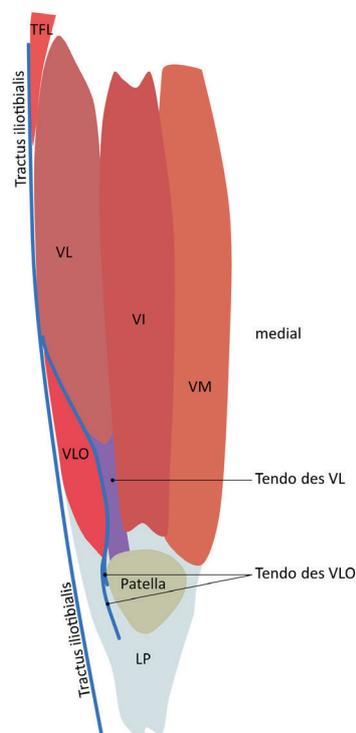
Die Kontroverse um die Eigenständigkeit des VMO wirft die Frage auf, wann ein Skelettmuskel überhaupt als Individuum zu bezeichnen ist.

Neben dem Vorhandensein rein morphologischer Kriterien wie eines durch Ursprung und Ansatz vorgegebenen spezifischen Muskelfaserlaufs und der Trennung von umgebenden Strukturen durch Fasziengewebe, muss ein Skelettmuskel laut Smith et al. zusätzlich funktionell unabhängig sein, was durch eine eigenständige nervale Versorgung des Skelettmuskels gegeben ist [7].

Auch die Autoren einer Publikation aus dem Jahr 2016, die einen neu entdeckten Skelettmuskel im proximalen Bereich des M. quadriceps femoris präsentiert, führen die unabhängige Innervation des als *tensor of the vastus intermedius* bezeichneten Skelettmuskels durch einen Muskelast des N. femoralis als eines der Hauptkriterien für seine Eigenständigkeit an. Als zweites Hauptkriterium wird eine von den anderen Anteilen des M. quadriceps femoris unabhängige Blutversorgung genannt [2].

#### 1.4 Bisheriges Konzept des M. vastus lateralis obliquus

Obwohl es nur wenige wissenschaftliche Arbeiten zur Situation der Gegenseite gibt, lassen sich am VL analog zur Unterteilung des VM ebenfalls zwei Anteile abgrenzen. Die Hauptmasse macht der größere, longitudinal zur Femurachse verlaufende M. vastus lateralis longus (VLL) aus, der an der Patellabasis ansetzt. Die schräg verlaufenden Fasern des deutlich kleineren M. vastus lateralis obliquus (VLO) liegen im latero-kaudalen Bereich des VL und finden ihren Ansatz am lateralen Patellarand [3]. Abb. 1 zeigt schematisch die Lage des VLO im latero-kaudalen Bereich des VL.



**Abb. 1: Topographische Einordnung des VLO.** Die Abbildung gibt eine Übersicht über die Lage des M. vastus lateralis obliquus. LP Lig. patellae TFL M. tensor fasciae latae VI M. vastus intermedius VL M. vastus lateralis VLO M. vastus lateralis obliquus VM M. vastus medialis

Ein VLO wird namentlich erstmalig 1986 von Scharf et al. erwähnt. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass der VLO funktionell und anatomisch als eigenständiger Muskel einzuordnen ist. Dies begründen sie mit der vom VLL abweichenden Muskelfaserrichtung und den ebenfalls von ihm abweichenden Ursprungs- und Ansatzpunkten des VLO. Eine nervale Versorgung des VLO wird nicht betrachtet [16]. In der verfügbaren Literatur konnten über die Arbeit von Scharf et al. hinaus sechs weitere Arbeiten identifiziert werden, die sich mit einem VLO beschäftigen [3, 5, 17-20]. In einer siebten Arbeit wird der VLO lediglich namentlich erwähnt [2] und die Autoren einer achten Arbeit beschreiben ein tiefes distales Segment des VL, räumen jedoch ein dass dieses Segment dem VLO entspricht [21].

Zunächst soll auf die Frage eingegangen werden, wie häufig ein VLO beim Menschen nachzuweisen ist. Anschließend werden die in der Literatur verfügbaren Informationen zu den oben genannten Definitionskriterien eines eigenständigen Skelettmuskels zusammengefasst.

#### **1.4.1 Häufigkeit des Auftretens**

Die Häufigkeit des Vorhandenseins des VLO wird mit 60% und 100% angegeben. Waligora et al. untersuchten 20 untere Extremitäten in Hinblick auf den Aufbau des Streckapparats des Kniegelenks. In 12 der untersuchten Präparate war ein schräger Kopf des VL zu finden, der vom VLL durch eine Faszien- oder Fettschicht getrennt war [19]. Zwei Arbeiten fanden in allen untersuchten Präparaten einen makroskopisch klar vom VLL abgegrenzten VLO [16, 18]. Die Anzahl der untersuchten Präparate betrug 42 [16] und 32 [18].

#### **1.4.2 Ursprung**

Als Ursprung des VLO werden folgende anatomische Strukturen benannt:

- Fascia lata bzw. Tractus iliotibialis [3, 16, 20]
- Septum intermusculare laterale [3, 16-19, 21]
- Kaplan-Fasern [3]
- Linea aspera [18]

### **1.4.3 Ansatz**

Als Ansatz des VLO werden folgende anatomische Strukturen benannt:

- Supero-lateraler oder lateraler Patellarand [3, 16-18, 20]
- Laterales Drittel der Patellabasis [3]
- Retinaculum patellae longitudinale laterale [17, 20]
- Sehne des M. vastus lateralis [17]
- Tractus iliotibialis [21]

Eine genauere Analyse des Ansatzverhaltens des VLO liefern Hallisey et al. die drei Variationen beschreiben. Bei der ersten Variante strahlt der VLO schräg zu den VL-Fasern direkt in dessen Sehne ein. Bei der zweiten Variante strahlen nicht alle VLO-Fasern in die VL-Sehne ein, sondern passieren diese teilweise kaudal und durchflechten sich dann mit den oberflächlichen schrägen Fasern des lateralen Retinaculums. Die dritte Variante umschreibt eine Verflechtung von VLO-Fasern mit oberflächlichen schrägen Fasern des lateralen Retinaculums. Diese dienen dem VLO als Ansatz ohne jedoch in das Lig. patellae einzustrahlen [17].

### **1.4.4 Funktion**

Als Funktion des VLO werden die Stabilisation der Patella [18], ihre Ausrichtung im Femoropatellargelenk [16] und eine Lateralisierung der Patella [17] genannt.

### **1.4.5 Innervation**

Zur Innervation des VLO werden in keiner der vorliegenden Publikationen Angaben gemacht [2, 3, 5, 16-19]. Da offenbar davon ausgegangen wird, dass sie der Innervation des VL entspricht, wird diese nachfolgend dargestellt.

Laut allgemeiner Lehrmeinung werden alle Muskeln des M. quadriceps femoris vom N. femoralis innerviert. Dieser entspringt den Rr. ventrales der Spinalnerven L2 – L4 und verläuft im M. psoas major-Kompartiment bis er an seinem lateralen Rand an die Oberfläche tritt. Er verläuft dann dorsal des Lig. inguinale zwischen M. psoas und M. iliacus durch die Lacuna musculorum und teilt sich in anteriore und posteriore Nervenäste auf. Zusammen mit dem N. saphenus entspringen die Muskeläste für die Versorgung des M. quadriceps femoris aus den posterioren Nervenästen [9].

Der den VL innervierende N. femoralis-Ast teilt sich in 80% der von Patil et. al untersuchten Körperspenden in einen proximalen und distalen Primärast. In 20% der untersuchten Körperspenden geht neben diesen beiden Primärästen noch ein dritter Primärast ab, der den M. vastus intermedius versorgt. Der proximale Primärast teilt sich in zwei kleinere kurze Sekundäräste, die den VL in seinem proximalen Teil erreichen. Der distale Primärast verläuft zusammen mit dem R. descendens der A. circumflexa femoris lateralis am antero-medialen Rand des VL nach kaudal und teilt sich ebenfalls in zwei Sekundäräste. Diese beiden Sekundäräste treten im mittleren Drittel des Muskels in den VL ein. Sowohl die intramuskulären Äste des proximalen, als auch die des distalen Primärastes verlaufen zentral innerhalb des VL von anteroproximal nach posterodistal und zerfallen zur Versorgung des gesamten VL in mehrere kleine Muskeläste [22].

#### **1.4.6 Vaskuläre Versorgung**

Vergleichbar mit den fehlenden Informationen zur Innervation werden in keiner der vorliegenden Publikationen Angaben zur vaskulären Versorgung des VLO gemacht [2, 3, 5, 16-19]. Nachfolgend wird aus diesem Grund die Versorgung des VL dargestellt.

Die vaskuläre Hauptversorgung des VL übernimmt nach allgemeiner Lehrmeinung die A. femoralis, aus der etwa 3,5 cm unterhalb des Lig. inguinale die A. profunda femoris abzweigt. Aus dieser geht die A. circumflexa femoris lateralis hervor, die sich unter dem M. sartorius und M. rectus femoris in drei Äste aufteilt. Diese werden als R. ascendens, R. transversus und R. descendens bezeichnet. Die größte, den VL versorgende Arterie wird im angloamerikanischen Sprachraum als *artery of the quadriceps* bezeichnet. Diese geht entweder aus der A. profunda femoris oder aus der A. circumflexa femoris lateralis hervor. Weiterhin ist der R. descendens der A. circumflexa femoris lateralis, der in einigen Fällen auch direkt aus der A. femoralis oder der A. profunda femoris entspringen kann, für die Versorgung des VL zuständig. Er verläuft unterhalb des M. rectus femoris an der Medialseite des VL nach distal. Zur Versorgung des VL gibt er einen langen Ast ab, der sich in kleinere Muskeläste teilt. Diese verlaufen intramuskulär in Zugrichtung der Muskelfasern des VL. Kaudal schließt sich der R. descendens dem Rete patellae an [9].

Der langstreckige Verlauf der den Muskel versorgenden Leitungsbahnen macht ihn für die Verwendung als freies Muskellappen-Präparat interessant. Distale Teile des VL können beispielsweise zur Defektdeckung im Kniebereich verwendet werden [23]. Aufgrund die-

ser klinischen Relevanz wurde die arterielle Versorgung des distalen VL näher untersucht ohne jedoch das Vorhandensein eines VLO zu thematisieren. Zusätzlich zur oben beschriebenen Blutversorgung treten drei Äste aus der A. profunda femoris von proximal nach distal in den distalen VLO ein und ihre Muskeläste anastomosieren untereinander. Durch Latexinjektionen in die A. femoralis und die beiden distalen Äste konnte nachgewiesen werden, dass der proximale Ast retrograd mit Blut versorgt wird. Daraus wurde geschlossen, dass die arterielle Versorgung durch den distalen Ast ausreicht, um den VL adäquat mit Blut zu versorgen [24].

Der venöse Abfluss des VL wird in seinem distalen Bereich durch eine Vene gewährleistet, die medial des R. descendens verläuft und im proximalen Bereich von einer Vene die lateral des R. descendens verläuft. Beide Venen münden in die V. circumflexa femoris lateralis [25].

#### **1.4.7 Morphologie**

Bezüglich der Morphologie des VLO wird von den meisten Autoren auf die Zugrichtung seiner Muskelfasern fokussiert [3, 5, 16, 17]. Diese kann auf zwei verschiedene Arten gemessen werden. Erstens als laterale Abweichung der Zugrichtung von der Femurschaftachse und zweitens als laterale Abweichung der Zugrichtung von der longitudinalen Achse der Patella.

Scharf et. al geben eine Zugrichtung von  $32,4^\circ$  für den VLO und von  $12,5^\circ$  für den VLL an. Die Werte beziehen sich auf die Femurschaftachse [16]. In zwei weiteren Studien wurde neben der Zugrichtung ferner ein Geschlechterunterschied im Ansatzverhalten des VLO untersucht. In beiden Studien wurde die longitudinale Achse der Patella zur Berechnung des Faserverlaufs zugrunde gelegt [5, 17]. Es konnte gezeigt werden, dass der VLO bei Männern mit einem stumpferen Winkel an der Patella ansetzt, als bei Frauen. Die Zugrichtungen der Muskelfasern werden mit  $44,9^\circ$  [5] und  $48,5^\circ$  [17] für das männlichen Geschlecht und  $35,8^\circ$  [5] und  $38,6^\circ$  [17] für das weiblichen Geschlecht angegeben.

Neben der oben bereits genannten Untersuchung von Scharf et al. gibt es weitere Studien, die die Zugrichtung des VL untersuchen. Da von den Autoren nicht zwischen VLO und VLL differenziert wird, ist davon auszugehen, dass die gemessenen Werte für den VL denen des VLL entsprechen. Es werden Werte für die Zugrichtung des VL/VLL von  $12 - 15^\circ$

[26] und 13° [27] genannt, wobei nur in der ersten Arbeit die Femurschaftachse als Referenz angegeben wird [26].

Sonographische Messungen der Zugrichtung des VL *in vivo* kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Die Messungen wurden an drei verschiedenen Bereichen des VL in 45° Knieflexion durchgeführt. Die Winkel werden mit 9,7° im proximalen, 13,2° im mittleren und 11,7° im distalen Bereich des VL angegeben [28].

Ein weiterer morphologischer Aspekt, der in einigen Arbeiten betrachtet wird, ist die Trennung von VLO und VLL durch eine Faszien- oder Fettschicht [16, 18-20].

Zur Häufigkeit einer solchen Trennschicht gibt es verschiedene Angaben. So fanden Farahmand et al. nur bei 2 von 12 Präparaten eine trennende Faszie zwischen VLO und VLL [20], wohingegen Scharf et al. in allen 42 untersuchten Präparaten eine solche Faszie vorfanden, wobei diese in 37 Fällen deutlich sichtbar war und sich in 5 Fällen erst nach der Präparation zeigte [16].

Eine weitere Arbeit kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass in allen der 42 untersuchten Präparate eine trennende Faszie vorhanden ist, wobei zusätzlich noch eine trennende Fettschicht gefunden wurde [18]. Das Vorhandensein dieser Fettschicht wird in einer anderen Arbeit bestätigt [19]. Weiterhin wird eine ausgeprägte Aponeurose im Bereich der Faszie beschrieben, die drei Viertel der Muskeloberfläche des VLO bedeckt und sich in 81,3% der Fälle in die Tiefe fortsetzt, dort das distale Drittel des VLL überspannt und Anschluss an seine Sehne findet. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass es sich aufgrund der klaren Trennung zwischen den Muskeln und dem Vorhandensein einer eigenständigen Sehne beim VLO um eine eigenständige anatomische Struktur handelt [18].

#### **1.4.8 Der VLO als Kompartiment des VL**

Becker et al. konnten nachweisen, dass es innerhalb des VL vier Kompartimente gibt. Diese werden als zentrales, oberflächliches proximales, tiefes proximales und tiefes distales Segment bezeichnet. Obwohl nicht explizit als VLO bezeichnet geben die Autoren an, dass es sich bei dem tiefen distalen Segment wahrscheinlich um den VLO handelt. Grundlage für die Unterteilung in vier Segmente ist zum einen die Muskelfaserarchitektur und zum anderen die Aufspaltung des N. femoralis in seine zwei Primäräste (proximaler und distaler Primärast), die sich vor Eintritt in den medialen Rand des VL in jeweils zwei Sekundär-

äste spalten. Der proximale Primärast ist über seine Sekundäräste für die Versorgung des oberflächlichen proximalen und des tiefen proximalen Kompartiments zuständig. Der distale Primärast versorgt mittels seiner Sekundäräste das zentrale Kompartiment. Abweichend davon entstammt der das tiefe distale Segment und somit den VLO versorgende Nervenast aus einem für die Versorgung des M. vastus intermedius zuständigen Primärasts [21].

## **1.5 Fragestellung**

Die makroskopische Anatomie des menschlichen Körpers gilt gemeinhin als vollständig erforscht. Dies kann den Anschein erwecken ihre Begrifflichkeiten wie der des Skelettmuskels seien seit langer Zeit klar definiert und unveränderbar festgeschrieben. Dennoch werden auch in der heutigen Zeit noch neue Skelettmuskel-Entitäten beschrieben [2] und darüber diskutiert ob es sich bei VMO und VML um eigenständige Skelettmuskeln oder lediglich Abschnitte des VM handelt [7]. Die Fokussierung auf den VMO hat einen erheblichen Mangel an Grundinformationen zu seinem Gegenpart auf der lateralen Seite des Kniegelenks bestehen lassen.

Im Rahmen einer Untersuchung der Sektion für klinische Anatomie zu propriozeptiven Fasern des Kniegelenks wurde an einem Präparat als Zufallsbefund ein aus dem N. ischiadicus abgehender Nervenast gefunden, der von der Fossa poplitea aus das Septum intermusculare laterale (SIL) erreichte und nach dem Durchtritt durch das SIL nach ventral in den VLO zog. Da dies nicht die erste Beobachtung dieses Nervenastes war, entstand nachfolgend die Idee zu dieser Arbeit. Darin werden die in wenigen Publikationen beschriebenen und als M. vastus lateralis obliquus bezeichneten, schräg zur Hauptmuskelmasse des VL verlaufenden Muskelfaserzüge hinterfragt. Die Arbeit hat die Zielsetzung, die wenigen vorhandenen Informationen über den VLO zu überprüfen und zu ergänzen. Ein Schwerpunkt soll dabei auf der Beantwortung der Fragestellung liegen, anhand welcher Parameter sich ein Skelettmuskel als eigenständig definieren lässt und ob man dementsprechend den VLO als eigenständigen Skelettmuskel bezeichnen kann.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Makroskopische Präparation**

#### **2.1.1 Humanpräparate**

Es wurden 25 Knieregionen von 16 adulten Körperspenden latero-ventral und dorsal präpariert. Die zugehörigen Körperspenden stammen aus dem Institut für Anatomie der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. Für die Verwendung der Körperspenden wurde ein positives Ethikvotum mit der internen Studiennummer 5377 eingeholt. Die Präparate wurden pseudonymisiert verwendet.

Zur Anwendung kamen sowohl Formaldehyd- als auch nach Thiel-fixierte Präparate [29, 30]. Die Präparate wurden mit einer 10% Formalin-/50% Alkohol-Lösung perfusionsfixiert und anschließend in 5 % Formalin-Lösung konserviert. Insgesamt dauerte der Konservierungszeitraum 1 bis 2 Jahre

Es wurden 14 linke und 11 rechte Knieregionen untersucht. Von sieben Körperspenden war nur ein Knie verfügbar; bei allen anderen Körperspenden wurde jeweils die rechte und linke Seite untersucht. 11 Knie stammen von weiblichen und 14 Knie stammen von männlichen Körperspendern. Das mittlere Alter betrug 81 Jahre, bei einem Median von 87 Jahren und einer Altersspanne von 61 bis 99 Jahren.

Ausschlusskriterien waren größere, die Anatomie destruierende Vorerkrankungen im Bereich lateral und kranial der Patella, eine endoprothetische Versorgung des Kniegelenks und Traumata des Kniegelenkes. Bei einem der untersuchten Körperspender lag ein solches Ausschlusskriterium im Sinne eines beidseitigen Ersatzes des VLO durch Fettgewebe vor, so dass beide Präparate ausgeschlossen wurden.

#### **2.1.2 Materialien für die Präparation und Fotodokumentation**

Für die Präparation wurden Skalpelle verschiedener Größen, anatomische Pinzetten und eine Schere verwendet. Die Ausdehnung des VLO wurde mit Hilfe von Nadeln abgesteckt. Die Suche nach kleinen Nervenästen an den nach Thiel-fixierten Körperspenden erfolgte mit einer Lupenbrille der Firma Karl Storz.

Die Fotodokumentation erfolgte mit verschiedenen Kamertypen: Nikon D2X (Auflösung 4288 x 2848 Bildpunkte), Sony ILCE-5000 (Auflösung 5456 x 3632 Bildpunkte) und iPhone

6 (Auflösung 3264 x 2448 Bildpunkte). Zur Sicherung der Verwendbarkeit der drei Kamertypen wurde überprüft, ob die Pixel ihrer CCD-Chips quadratisch sind. Dazu wurden die Kameras horizontal und vertikal kalibriert. Die für die Messungen verwendeten Fotos wurden alle mit dem iPhone 6 aufgenommen, dessen CCD-Chip quadratische Pixel aufweist.

In der typischen Aufnahmedistanz von 25 cm entsprachen 10 cm am Präparat 1121 Pixel in der Vertikalen und 1120 Pixel in der Horizontalen des Bildes. Die Abweichung von einem Pixel kommt dadurch zustande, dass ein Skalierungsstrich des Eichmaßstabs durch mehr als einen Pixel repräsentiert wird. Die Fehlergröße des digitalen Messsystems (CCD, Kalibrierung, Auswertung am Monitor) ist damit kleiner als die zu vermessende Größenordnung. Die Kalibrierung wurde auch für andere Aufnahmedistanzen wiederholt.

### **2.1.3 Präparationsschritte**

Nach sorgfältiger Inspektion der gesamten Knieregion wurden Haut und subkutanes Fettgewebe ventro-lateral schichtweise entfernt. Hierbei wurde in einigen Fällen mittels einer Fenster- und in anderen mittels einer Lappenpräparation vorgegangen. Vor der Eröffnung der Fascia lata wurde zunächst die Ausdehnung des Muskels und die Lage des SIL abgeschätzt, um bei ihrer Eröffnung Destruktionen des Muskels oder begleitender neurovaskulärer Strukturen auszuschließen. Anschließend wurde die Fascia lata medial des VLO eröffnet und bis zum SIL in stumpfer Präparationsweise abgehoben. Zur Evaluation der kaudalen Ausdehnung des VLO wurde der Tractus iliotibialis scharf vom Condylus lateralis tibiae abgelöst und nach kranio-dorsal weggeklappt ohne das SIL zu destruieren.

Dorsal wurden zunächst Haut und subkutanes Fettgewebe der Fossa poplitea entfernt und die Fascia poplitea mittig gespalten. Unter Beachtung aller Leitungsbahnen wurde der N. ischiadicus dargestellt. In der Tiefe wurden die Linea aspera und die Linea supracondylaris lateralis identifiziert und davon ausgehend das SIL freigelegt. Ziel war die Darstellung möglicher von dorsal in das Ursprungsareal des VLO durchtretender Leitungsbahnen. Mögliche subperiostal verlaufende neurovaskuläre Bündel wurden durch Fensterung von Periost und SIL gesucht. Weiterhin wurde nach möglichen Leitungsbahnen, die das Caput breve des M. biceps femoris passieren gesucht, indem das Caput breve mittig eröffnet wurde.

#### **2.1.4 Qualitative Datenerhebung im Rahmen der Präparation**

Nach der vollständigen Darstellung des VLO erfolgte zunächst eine Markierung von wichtigen anatomischen Punkten mit farbigen Stecknadeln, um die spätere Orientierung auf den Fotos während der morphometrischen Auswertung zu erleichtern. Die Stecknadeln wurden an folgenden Orientierungspunkten gesetzt:

- Laterale, obere Ecke der Patellabasis
- Sehnenübergang des VLO zur Patella
- Kranialster Ursprungspunkt des VLO am SIL
- Kaudalster Ursprungspunkt des VLO am SIL

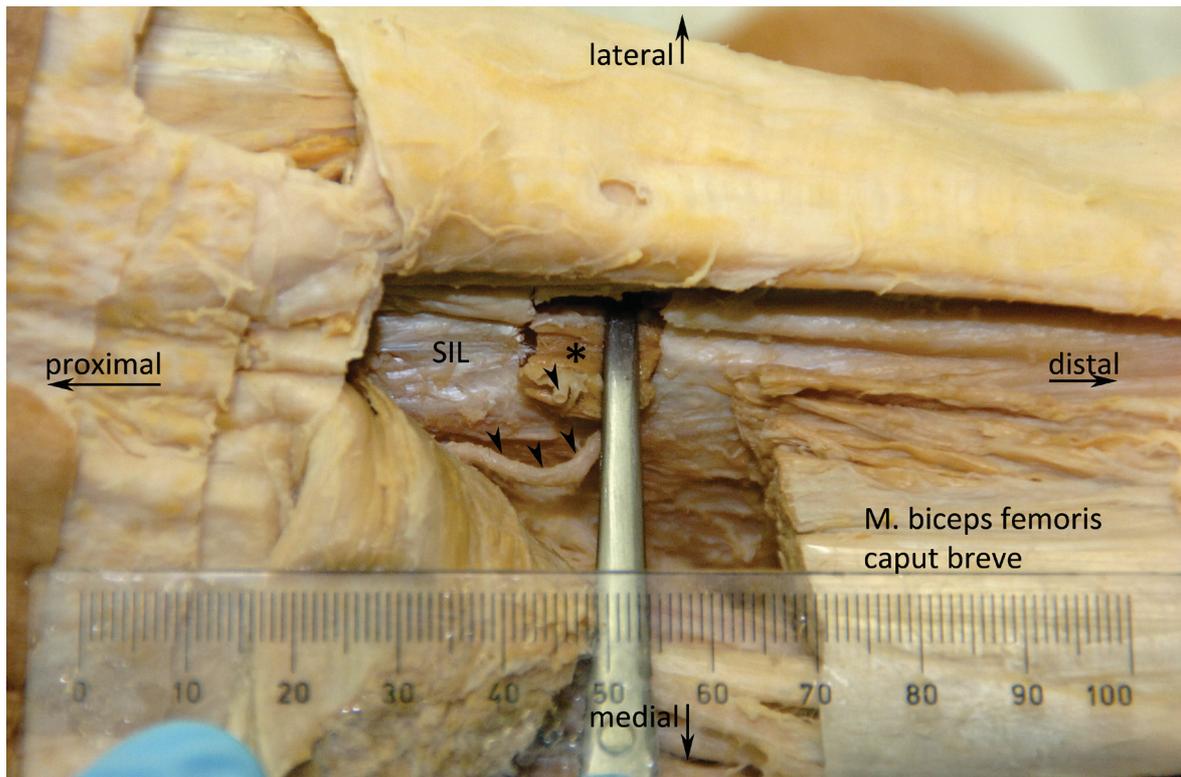
Vor der weiteren Präparation erfolgte die Fotodokumentation des Präparationsgebietes. Die Fotografien wurden in eine Aufnahmedistanz von etwa 25 cm aufgenommen und wurden mit jeweils einem vertikalen und horizontalen Maßstab versehen, um die spätere computergestützte Auswertung zu ermöglichen. Alle Knie wurden in vollständiger Extension fotografiert.

Anschließend wurden erste qualitative Daten erhoben, indem folgende Merkmale betrachtet wurden:

- Ursprungsareal des VLO
- Ansatzverhalten des VLO
- Vorhandensein eines trennenden Septums zwischen VL und VLO
- Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels mit einem über das Septum zwischen VL und VLO verlaufenden ventralen Nervens
- Vorhandensein eines dorsalen Gefäß-Nervenbündels mit einem durch das SIL tretenden Nervenasts aus dem N. ischiadicus

#### **2.1.5 Entnahme von Muskelpräparaten / Gewebeproben**

Zur Überprüfung des Vorhandenseins makroskopisch nicht identifizierbarer neuronaler Strukturen wurden 8 Proben mit transeptalem VLO-Muskelhilum von dorsal entnommen und histologisch aufgearbeitet. Abb. 2 zeigt beispielhaft die Lokalisation der dorsalen Probenentnahme. Da die nach Thiel fixierten Präparate für histologische Untersuchungen ungeeignet sind, konnten nur Proben von formalinfixierten Präparaten entnommen werden.



**Abb. 2: Dorsale Probenentnahme einer VLO-Probe mit eintretendem transseptalem Blutgefäß.** Die Abbildung zeigt beispielhaft die Entnahme eines VLO-Muskelstücks (hier mit Stern markiert) mit eintretendem Blutgefäß (hier mit Pfeilköpfen markiert) zur weiteren histologischen Aufarbeitung. **SIL** Septum intermusculare laterale.

## 2.2 Histologische Untersuchung der entnommenen Muskelpräparate

### 2.2.1 Substanzen

Alle nicht näher aufgeführten Substanzen wurden von den Firmen Carl Roth (Karlsruhe, Deutschland) und Merck (Darmstadt, Deutschland) bezogen.

## 2.2.2 Geräte

Tabelle 1. Verwendete Geräte für die Histochemie

Gerät	Bezeichnung	Hersteller
Entwässerungs-Automat	TP 1020	Leica
Gießstation	TES Valida	Meditate
Mikrotom	RM2255	Leica
Mikroskop	DM4000	Leica
	LAS-Software DFC295 Kamera (2048 x 1536 Pixel; 3,2 x 3,2 Mikrometer Pixel)	

## 2.2.3 Histochemie

Die Proben für die Histologie wurden wegen der langen Einwirkzeit des Fixans aufgrund des Konservierungszeitraums der Körperspenden von ein bis zwei Jahren intensiv gewässert. Über eine aufsteigende Alkoholreihe des gewässerten Präparates erfolgte die Entwässerung des Präparats im Automaten TP 1020 (Leica) und die Einbettung in der Gießstation TES Valida (Meditate) über das Zwischenmedium Roticlear (Roth) in Paraffin. Am Mikrotom RM2255 (Leica) wurden Flachschnitte von 7 µm Dicke angefertigt. Die Schnittführung erfolgt entweder parallel zum SIL oder als Serienschnitt auf Höhe der Durchtrittsstelle. Geschnittene Präparate wurde nach Streckung im Wasserbad auf Adhäsionsobjektträger HistoBond (Marienfeld) gezogen. Nach einer absteigenden Alkoholreihe konnte die Färbung der Schnitte mit Hämatoxylin-Eosin erfolgen. Das Färbeprotokoll wurde nach Romeis [31] durchgeführt. Nach dem Auswaschen überschüssiger Farbe und einer aufsteigenden Alkoholreihe erfolgte die Eindeckung des gefärbten Schnittes in DPX-Eindeckungsmedium (Sigma-Aldrich). Die Präparate wurden an einem Leica DM4000-Mikroskop betrachtet und dienten der Erstbegutachtung und Identifizierung von Nervenfasern.

## 2.2.4 Immunhistochemie

Tabelle 2. Verwendete Antikörper für die Immunhistochemie

Bezeichnung	Katalognummer	Hersteller
Primärantikörper: Mouse Anti-Human Neurofilament Protein, Clone 2F11	# M0762	DAKO
Sekundärantikörper: Biotinyliertes Pferd Anti-Maus IgG	# BA2000	Vector
Negativkontrolle: Purified Mouse IgG1 kappa Isotype Clone MG1-45	# 401402	BioLegend

Zur Sicherung der Detektion neuronaler Elemente in Paraffinschnitten wurde ein monoklonaler Antikörper gegen Neurofilament (Monoclonal Mouse-Anti-Human Neurofilament Protein Clone 2F11, #M0762, DAKO) in der LSAB-Methode eingesetzt. Dieser Antikörper bindet spezifisch an Neurofilament-Protein und markiert Nerven bzw. neuronale Strukturen. Die Schnitte wurden zur Fixierung für 2 h bei 70° C im Ofen erhitzt. Entparaffiniert wurde in Xylene über 2 bis 3 min, gefolgt von einer absteigenden Alkoholreihe. Die Epitope wurden unter Druck bei 121° C über 5 min in einem Hochdruck-Kocher mit einer *antigen-unmasking-solution* (Antigen Unmasking Solution, saure Lösung, #H-3300, Vector) demaskiert. Vor der Inkubation mit dem Antikörper wurde in vier Schritten mit PBS bzw. PBS und 0,6% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> für insgesamt 23 min der pH-Wert eingestellt. Anti-h-pNF wurde in einer Konzentration von 1,7 µg/ml bei Raumtemperatur und einem Inkubationszeitraum von 35 min eingesetzt. Für die Ermittlung der optimalen Antikörper-Verdünnung wurde auf umfangreiche Vorerfahrung im Labor mit Proben von Körperspenden aus dem Präparierkurs zurückgegriffen. Anschließend erfolgte erneut eine 3-stufige PBS-pH-Wert Einstellung. Als Sekundär-Antikörper zur Detektion des Primärantikörpers wurde biotinyliertes Pferd-anti-Maus IgG (#BA2000, Vector) in PBS 1:400 über 45 min bei Raumtemperatur eingesetzt und mit Streptavidin HRP 1 : 500 (#405210, BioLegend) über 40 min bei Raumtemperatur inkubiert und erneut über 10 min bei einem Wechsel in PBS gepuffert. Die Anfärbung (rot) erfolgte über ein Substrat-Kit (AEC Substrate, #SK4200, Vector) und weitere Pufferung. Die Schnitte wurden anschließend mit gefiltertem Hämatoxylin für 15 s gegengefärbt und 5 min (5 Wechsel) gewaschen. Eindeckung erfolgte mit Immo-Mount

(Thermofischer). Als Kontrolle diente humanes Zungen-Gewebe mit purified Mouse IgG1 Clone MG1-45 (# 401402, BioLegend). Die Gegenproben waren allesamt negativ.

## **2.3 Erhebung der quantitativen Daten**

### **2.3.1 Voraussetzungen für die Messung**

Die quantitative Datenerhebung erfolgte an den Fotografien. Anhand der mitfotografierten Maßstäbe wurde bestimmt wie viele Pixel z.B. einem Zentimeter im Präparat auf dem Foto entsprechen. So konnte ein Umrechnungsfaktor bestimmt werden, der es erlaubte direkt in Millimetern zu messen. Für die Messung wurde ein Monitor gewählt, der mit seiner Auflösung (2560 x 1440 Bildpunkte) sicher über den maximalen Distanzen in den jeweils für die Messung verwendeten digitalen Aufnahmen lag.

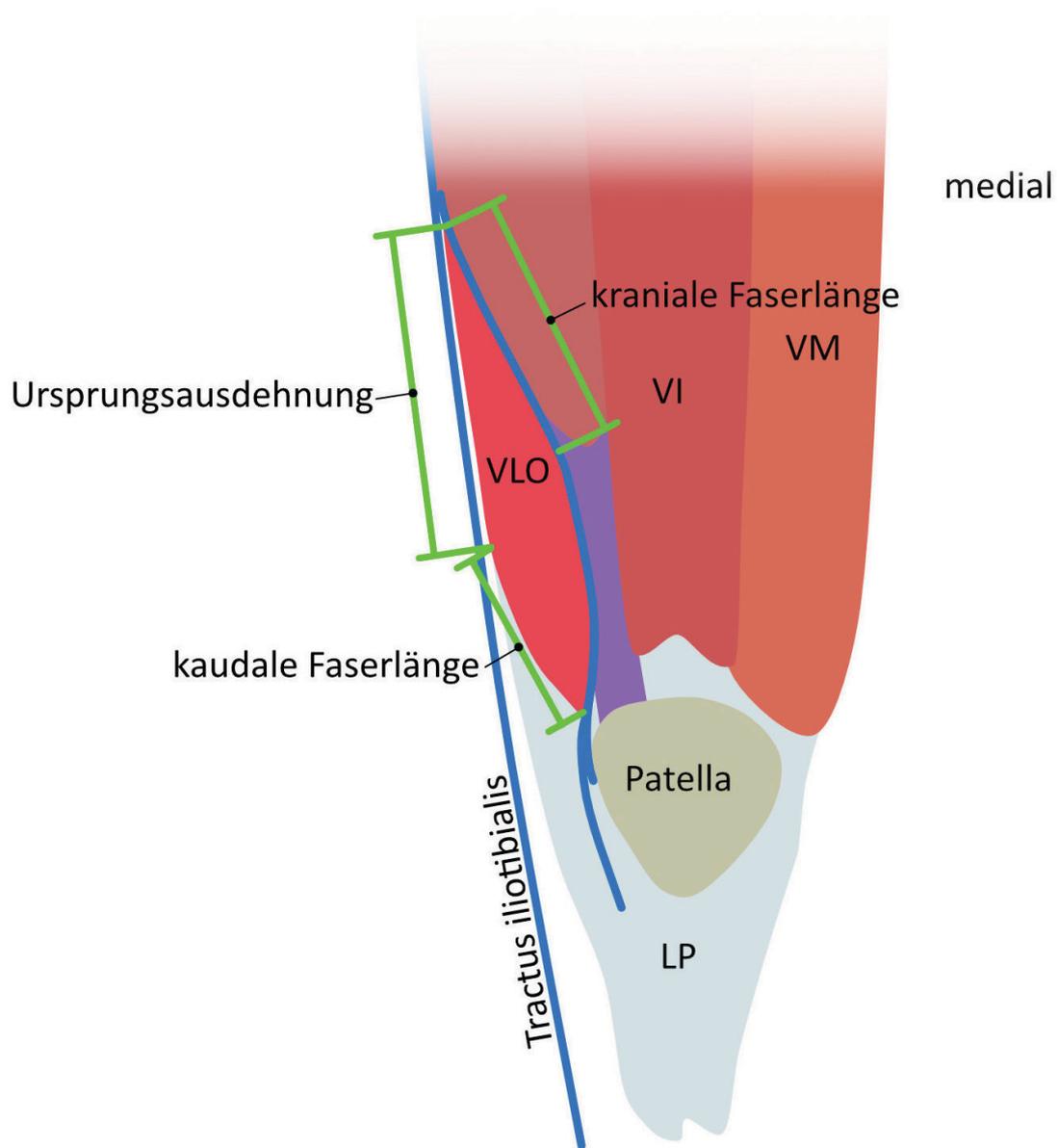
### **2.3.2 Auswertungssoftware**

Für die morphometrische Auswertung wurde das Linealwerkzeug aus dem Analysemenu von Photoshop™ CS 5.1 eingesetzt, das einfache Bildpunktzahlungen verwendet. Die Daten wurden nach SPSS™ Version 24 überführt und dort ausgewertet.

### **2.3.3 Erhobene Messparameter**

Im Rahmen der computergestützten Vermessung des VLO wurden folgende Messparameter erhoben (Abb. 3):

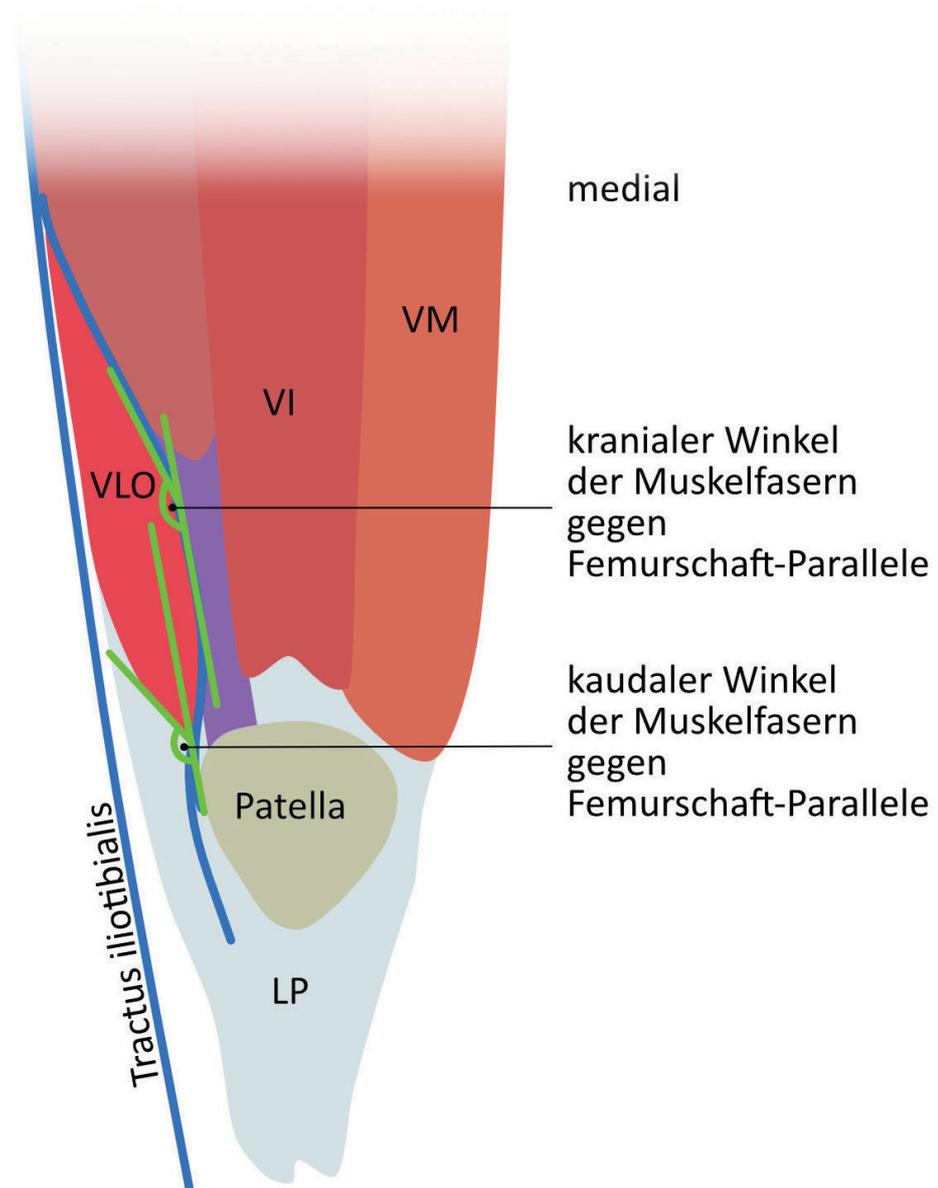
- Ursprung: Kraniokaudale Länge des Ursprungsareals des VLO am SIL in mm
- Kraniale Faserlänge: Länge der kranialen Muskelfasern des VLO zwischen SIL und Septum zwischen VLO und VL in mm
- Kaudale Faserlänge: Länge der kaudalen Muskelfasern des VLO zwischen SIL und Septum zwischen VLO und VL in mm



**Abb. 3: Schemazeichnung der gemessenen Distanzen.** Die Abbildung stellt die im Rahmen der morphometrischen Auswertung gemessenen Distanzen dar. Violett ist die Sehne des VL dargestellt. LP Lig. patellae VI M. vastus intermedius VLO M. vastus lateralis obliquus VM M. vastus medialis

Da die Femurschaftachse von Muskelfasern bedeckt wird, kann nicht direkt zwischen ihr und den Muskelfasern ein Winkel bestimmt werden. Stattdessen wurde der Winkel der Muskelfasern gegen das SIL gemessen. Da dieses von der Linea aspera entspringt und gerade nach lateral verläuft, stellt die Schnittkante des SIL eine Parallele zur Femurschaftachse dieses Abschnitts dar. Diese Parallele wurde verwendet um folgende Winkel zu bestimmen:

- Kranialer Winkel: Winkel der kranialen Muskelfasern des VLO gegen eine Parallele zur Femurschaftachse (Abb. 4)
- Kaudaler Winkel: Winkel der kaudalen Muskelfasern des VLO gegen eine Parallele zur Femurschaftachse (Abb. 4)



**Abb. 4: Schemazeichnung zum Prinzip der Messung des Winkels zwischen VLO-Muskelfasern und einer Parallele zur Femurschaftachse.** Die Abbildung zeigt die im Rahmen der morphometrischen Messung erhobenen Winkel der kranialen und kaudalen Muskelfasern des VLO gegen eine Parallele zur Femurschaftachse. LP Lig. patellae VI M. vastus intermedius VLO M. vastus lateralis obliquus VM M. vastus medialis.

## 2.4 Statistik

Tabelle 3 zeigt eine Aufstellung der im Rahmen der statistischen Auswertung berücksichtigten Parameter, die mit der Software SPSS™ Version 24 (IBM) ausgewertet wurden.

**Tabelle 3. Übersicht über die für die statistische Auswertung relevanten Parameter und Erläuterung ihrer Bedeutung.**

Nr.	Parametername	Parameter-Erläuterung
1	Seite	Linke oder rechte Körperseite
2	Geschlecht	Weibliche oder männliche Körperspende
3	Alter	Alter des Körperspenders zum Zeitpunkt des Todes in Jahren
4	Ursprung	Kraniokaudale Länge des Ursprungsareals des VLO am SIL in mm
5	Faserlänge kranial	Länge der kranialen Muskelfasern des VLO zwischen SIL und Septum zwischen VLO und VL in mm
6	Faserlänge kaudal	Länge der kaudalen Muskelfasern des VLO zwischen SIL und Septum zwischen VLO und VL in mm
7	Winkel kranial	Winkel der kranialen Muskelfasern des VLO gegen Parallele zur Femerschaftachse in Grad
8	Winkel kaudal	Winkel der kaudalen Muskelfasern des VLO gegen Parallele zur Femerschaftachse in Grad
9	Ventrales Gefäß- Nervenbündel	Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels mit einem über das Septum zwischen VL und VLO verlaufenden ventralen Nervens
10	Dorsales Gefäß-Nervenbündel makroskopisch	Vorhandensein eines makroskopisch sichtbaren dorsalen Gefäß-Nervenbündels mit einem durch das SIL tretenden Nervenastes aus dem N. ischiadicus
11	Dorsale Nerven mikroskopisch	Vorhandensein mikroskopisch sichtbarer Nervenfasern begleitend zum dorsalen durch das SIL tretenden Gefäßbündels
12	VLO-Typ	Zuordnung zu einem der beiden VLO Typen: Parallelfaseriger Muskel bzw. parallelfaserig-fusiformer Muskel

Als statistischer Test zum Vergleich der verschiedenen Gruppen wurde mehrheitlich der nicht-parametrische Mann-Whitney-U-Test angewandt. Es handelt sich dabei um einen Rangsummen-Test. Er ist geeignet für kleine Stichproben nicht-normalverteilter Daten und wird angewandt bei intervall-skalierten Daten (z.B. Ursprungsausdehnung des VLO in mm in Abhängigkeit von der nominal-skalierten gruppierenden Variable Muskeltyp). Eine Normalverteilung liegt dabei nicht vor.

Auf das Vorliegen einer Normalverteilung wurde jeweils mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft. Für normalverteilte Gruppenpaare wurde der T-Test für unabhängige Stichproben eingesetzt. Eine Signifikanz wurde dabei jeweils für einen p-Wert von  $< 0,05$  angenommen.

Weiter wurden die metrischen Daten (Ursprungsausdehnung, kraniale und kaudale Muskelfaserlänge, kranialer und kaudaler Winkel der Muskelfasern gegen Parallele zur Femurshaftachse) auf Korrelationen untereinander analysiert. Da keine Normalverteilungen vorliegen, kam der Spearman-Korrelationskoeffizient zum Einsatz. Die Nullhypothese geht dabei davon aus, dass je zwei der Daten signifikant zusammenhängen.

## 3 Ergebnisse

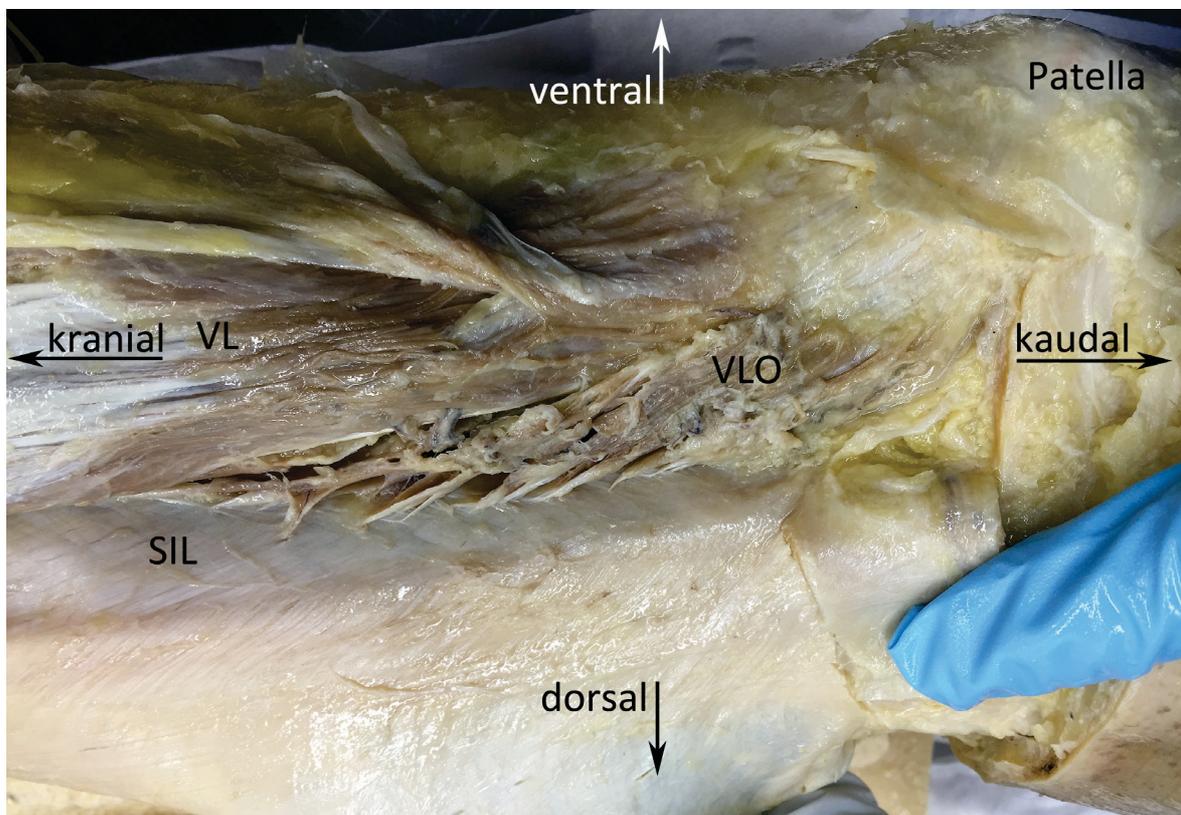
### 3.1 Makroskopische Auswertung

#### 3.1.1 Häufigkeit

Ein VLO war in allen 23 untersuchten Präparaten identifizierbar.

#### 3.1.2 Ursprung

Als Ursprung fungierte in allen Fällen das SIL, das sich seinerseits bis zur Linea aspera auf die Rückseite des Femurs fortsetzt. Abbildung 5 zeigt ein Beispiel für dieses Ursprungsverhalten.

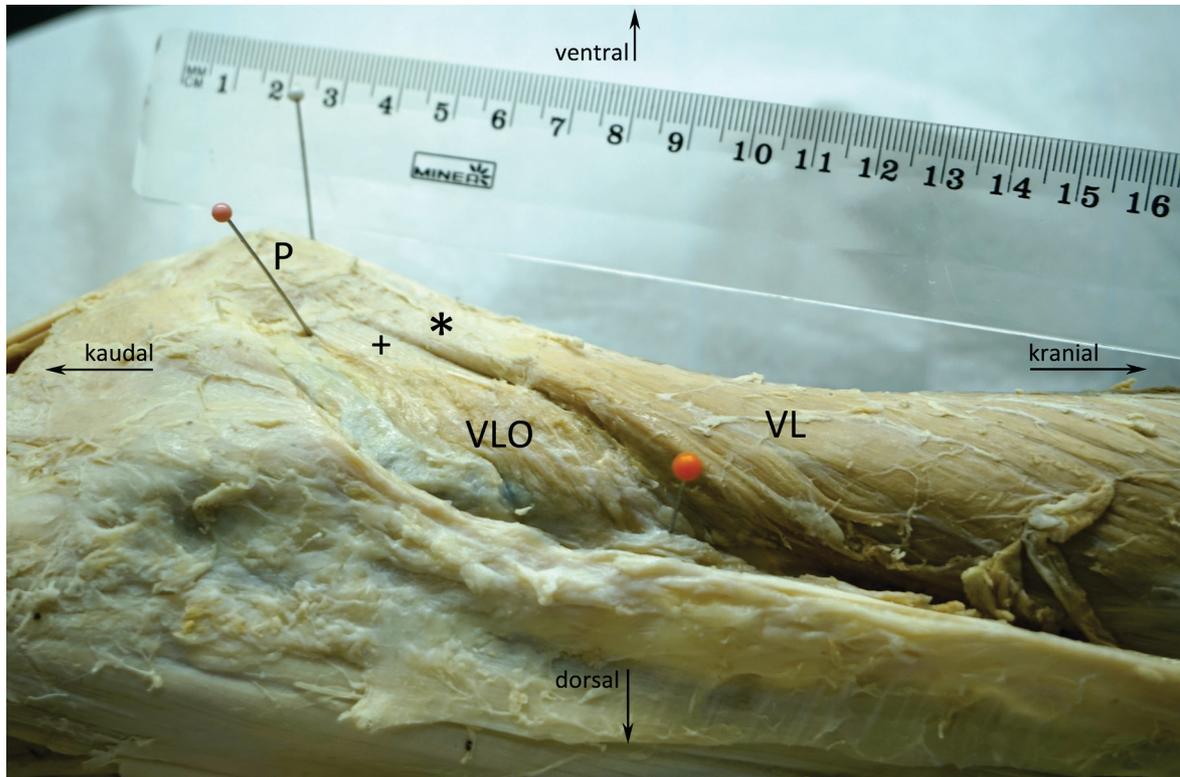


**Abb. 5: Faserursprung des VLO am SIL.** Die Abbildung zeigt den Ursprung einzelner Muskelfasern des VLO vom SIL. **SIL** Septum intermusculare laterale **VL** M. vastus lateralis **VLO** M. vastus lateralis obliquus.

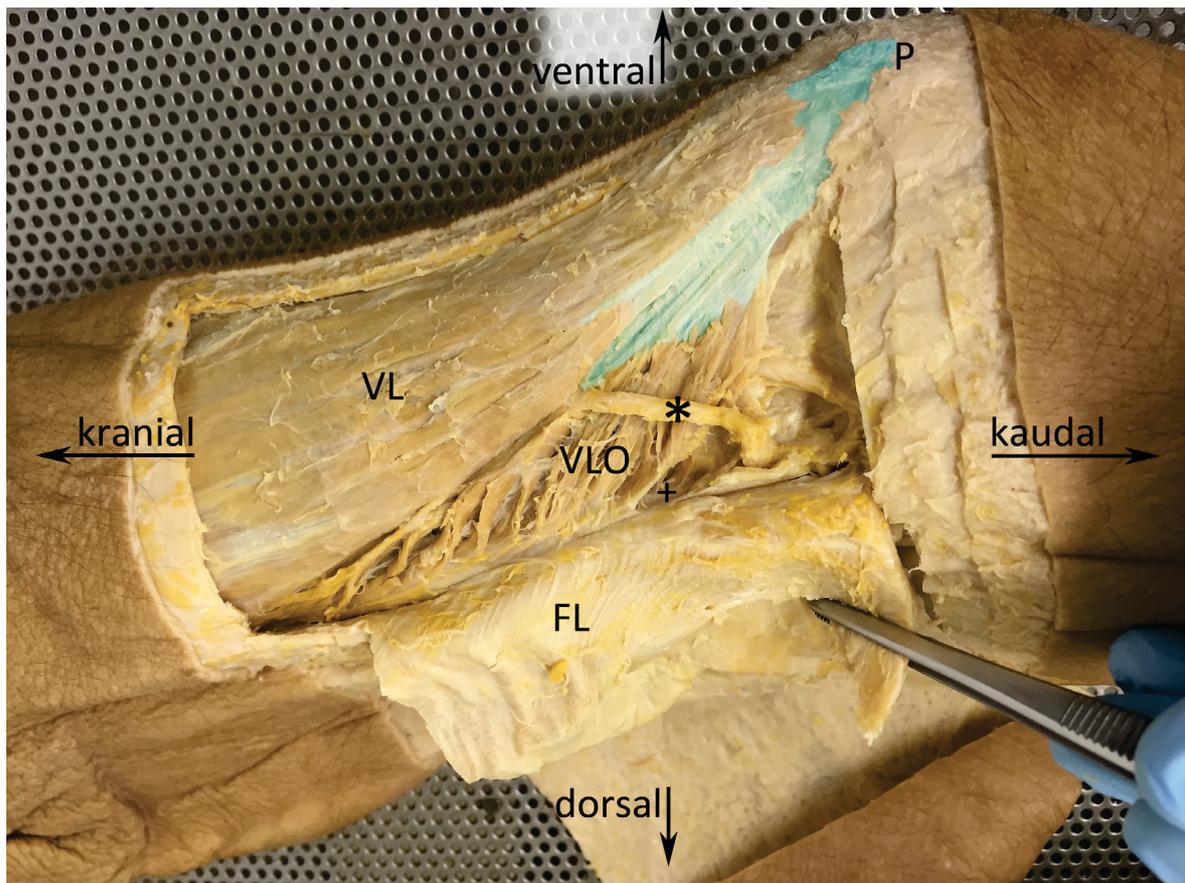
#### 3.1.3 Ansatz

Der Ansatz variierte und ließ sich erst nach Entfernung der vom VL über die Patella ausstrahlenden Faszienzüge erkennen. In 16 Fällen hatte der VLO eine eigenständige Sehne, die parallel zur Sehne des VL verlief. Diese Sehne des VLO strahlte einerseits in den lateralen Rand der Patella ein und verlief andererseits lateral der Patella weiter nach distal und inserierte über das Retinaculum patellae longitudinale laterale an der Tibia (Abb. 6). In 7

Fällen fand sich keine eigenständig an die Patella herantretende Sehne des VLO. Seine Muskelfasern inserierten, teilweise über eine kurze Zwischensehne, schräg an der Sehne des VL und endeten einerseits über die Sehne des VL am lateralen Oberrand der Patella und liefen andererseits mit den Bindegewebszügen dieser Sehne über die Patella hinweg nach distal (Abb. 7).



**Abb. 6: Beispiel für einen VLO mit eigenständiger Sehne.** Die Abbildung zeigt ein Beispiel für einen VLO mit eigenständiger Sehne (hier mit einem Kreuz markiert). Bei der mit einem Stern markierten Struktur handelt es sich um die VL-Sehne. P Patella VL M. vastus lateralis VLO M. vastus lateralis obliquus



**Abb. 7: Beispiel für einen VLO mit Insertion an der Sehne des VL.** Zur besseren Erkennbarkeit ist die Sehne des VLO türkis eingefärbt. Bei der mit einem Stern markierten Struktur handelt es sich um das ventrale Gefäß-Nervenbündel, das aus dem VL kommend über das Septum zwischen VLO und VL hinwegzieht und weiter distal an das Kniegelenk herantritt. Das SIL ist mit einem Kreuz markiert. **FL** Fascia lata **P** Patella **VL** M. vastus lateralis **VLO** M. vastus lateralis obliquus

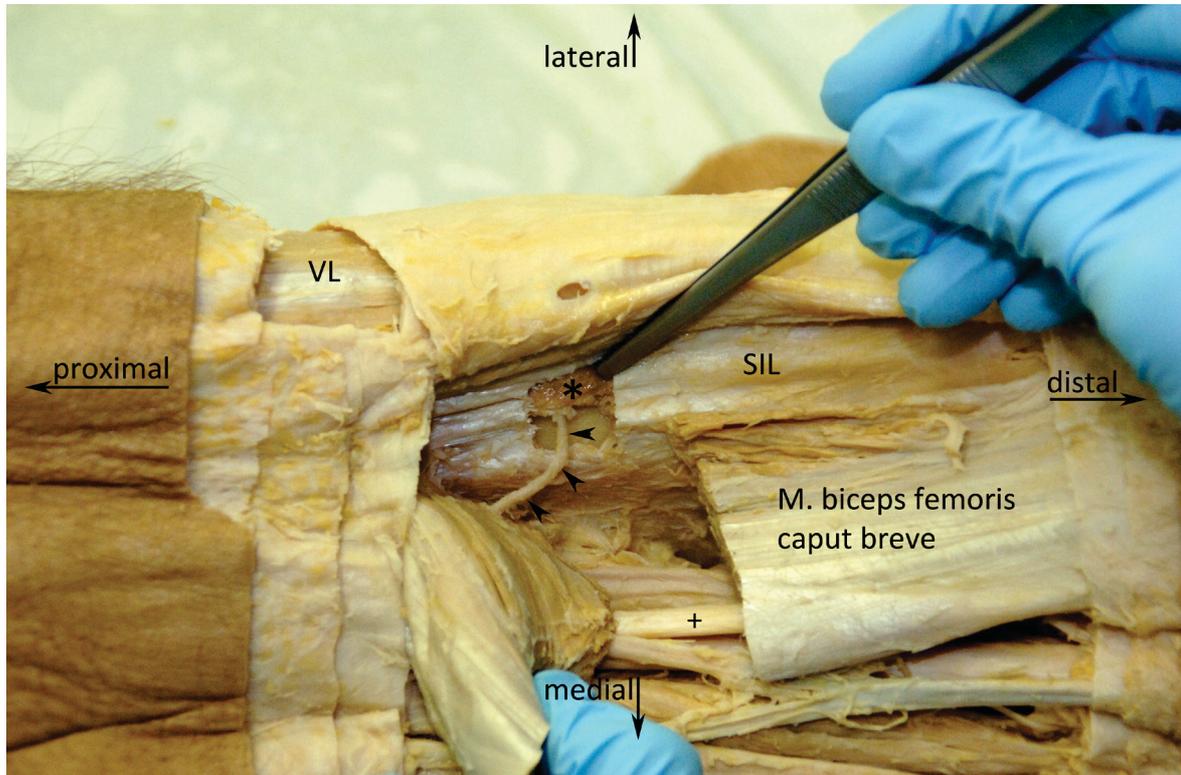
### 3.1.4 Bindegewebiges Septum zwischen VL und VLO

In allen 23 Präparaten wurde ein bindegewebiges Septum zwischen dem VL und VLO identifiziert, das in die Bindegewebszüge kraniallateral des Kniegelenks einstrahlt. In allen Fällen in denen der VLO über eine eigenständige Sehne verfügte setzte sich das Septum in diese Sehne fort. Zusätzlich fand sich in unterschiedlichem Umfang Fettgewebe zwischen VLO und VL.

### 3.1.5 Gefäßversorgung von dorsal

In allen 23 Präparaten existierte mindestens ein von dorsal an den VLO herantretendes Gefäßbündel, welches ansatznah an der Linea aspera das SIL passierte (Abb. 8). Quelle waren zum einem Rr. perforantes der A. profunda femoris und zum anderen Äste aus dem Caput breve des M. biceps femoris, das seinerseits von den genannten Rr. perforan-

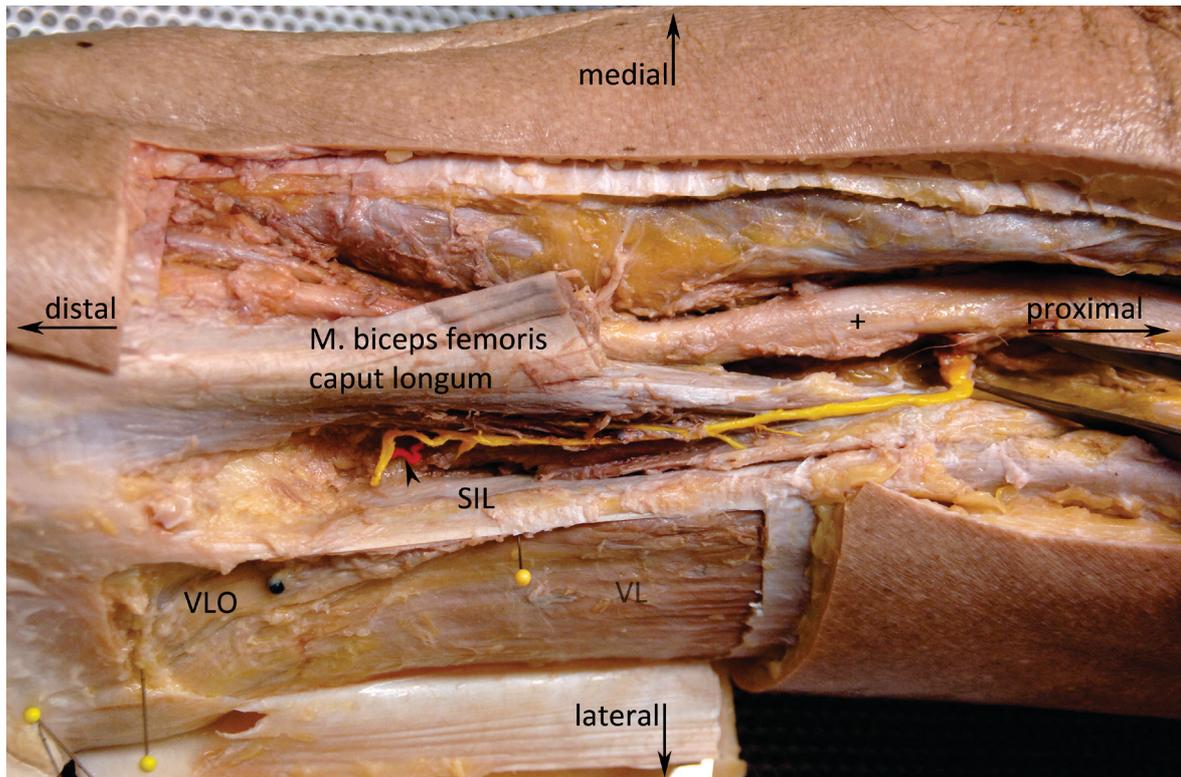
tes versorgt wird. 8 Präparate wurden zur Prüfung des Auftretens einer gefäßbegleitenden Innervation zusätzlich histologisch untersucht.



**Abb. 8: Beispiel für einen VLO mit dorsaler Gefäßversorgung.** Das an von dorsal an den VLO (hier mit einem Stern markiert) herantretende Gefäßbündel ist mit Pfeilköpfen gekennzeichnet. Mit einem Kreuz ist der N. ischiadicus markiert. VL M. vastus lateralis SIL Septum intermusculare laterale

### 3.1.6 Innervation von dorsal

In zwei Präparaten wurde eine Innervation des auf der ventralen Seite des SIL liegenden VLO durch einen makroskopisch sichtbaren, dorsalen Nerven gefunden. Dieser entstammte dem Fibularis-Anteil des N. ischiadicus und zog in das Caput breve des M. biceps femoris. Innerhalb des Caput breve erfolgte die Abzweigung eines auf das SIL zulaufenden Nervenasts, der den M. biceps femoris verließ und sich dann an ein Gefäßbündel anlagerte. Gemeinsam durchbrachen Nervenast und Gefäßbündel das SIL, um von dorsal an den VLO heranzutreten (Abb. 9)



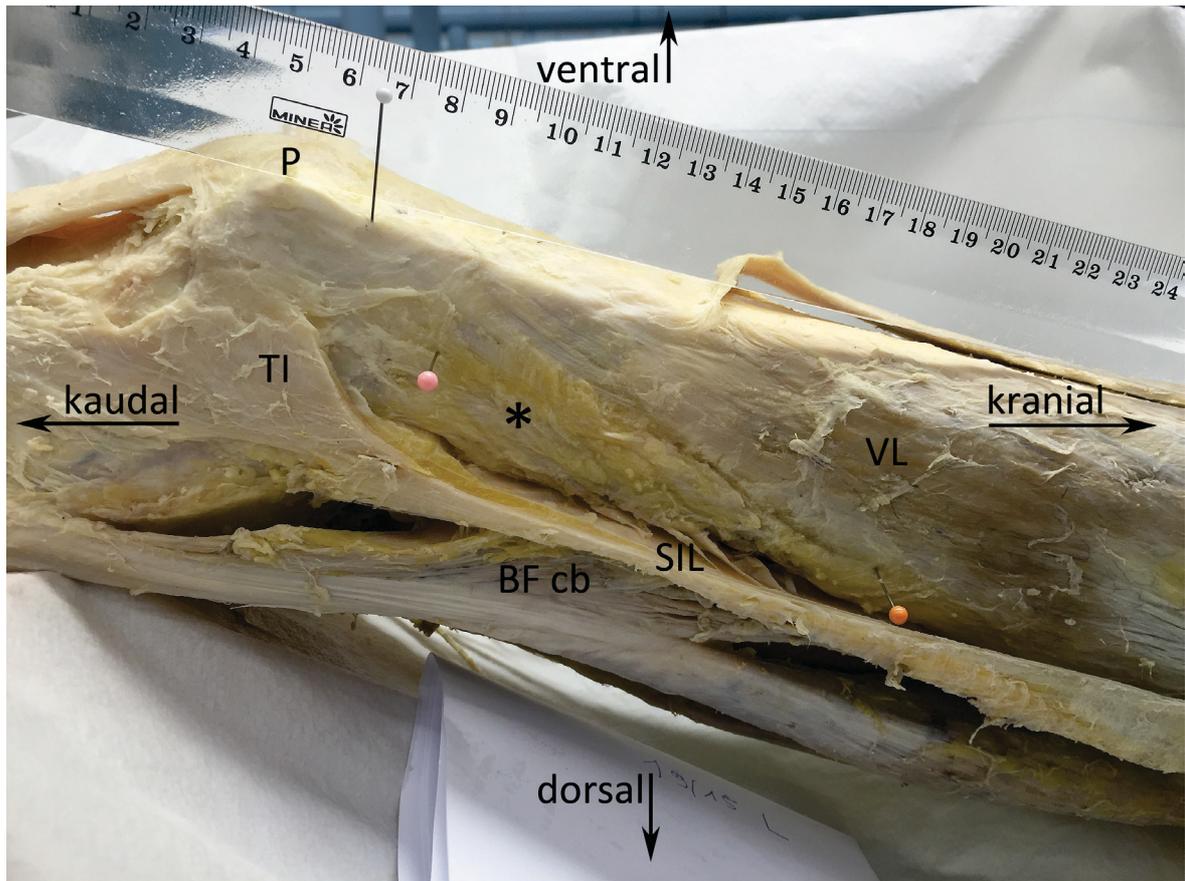
**Abb. 9: Verlauf des versorgenden Nervenastes.** Auf dieser Abbildung ist der Abgang des den VLO versorgenden Nervenastes aus dem N. ischiadicus (hier mit einem Kreuz markiert) in seinem Verlauf durch das Caput breve des M. biceps femoris zu erkennen. Vor seinem Durchtritt durch das SIL lagert er sich einer Arterie (hier mit einem Pfeilkopf markiert) an. Nervenast und Arterie wurden zur besseren Sichtbarkeit coloriert. **SIL** Septum intermusculare laterale **VL** M. vastus lateralis **VLO** M. vastus lateralis obliquus

### 3.1.7 Ventrales Gefäß-Nervenbündel

In 10 Präparaten fand sich ein ventrales Gefäß-Nervenbündel, das an der Oberfläche sichtbar aus dem VL hervortrat. Es überzog das Septum zwischen VLO und VL und lief nach distal. In einem Fall zog das Gefäß-Nervenbündel oberhalb des VLO lateral an das Kniegelenk heran (Abb. 7), in den anderen Fällen lief es zunächst durch den VLO hindurch, um dann an das Kniegelenk heranzutreten. In keinem Fall trat ein solches Gefäß-Nervenbündel durch das Septum zwischen VLO und VL hindurch.

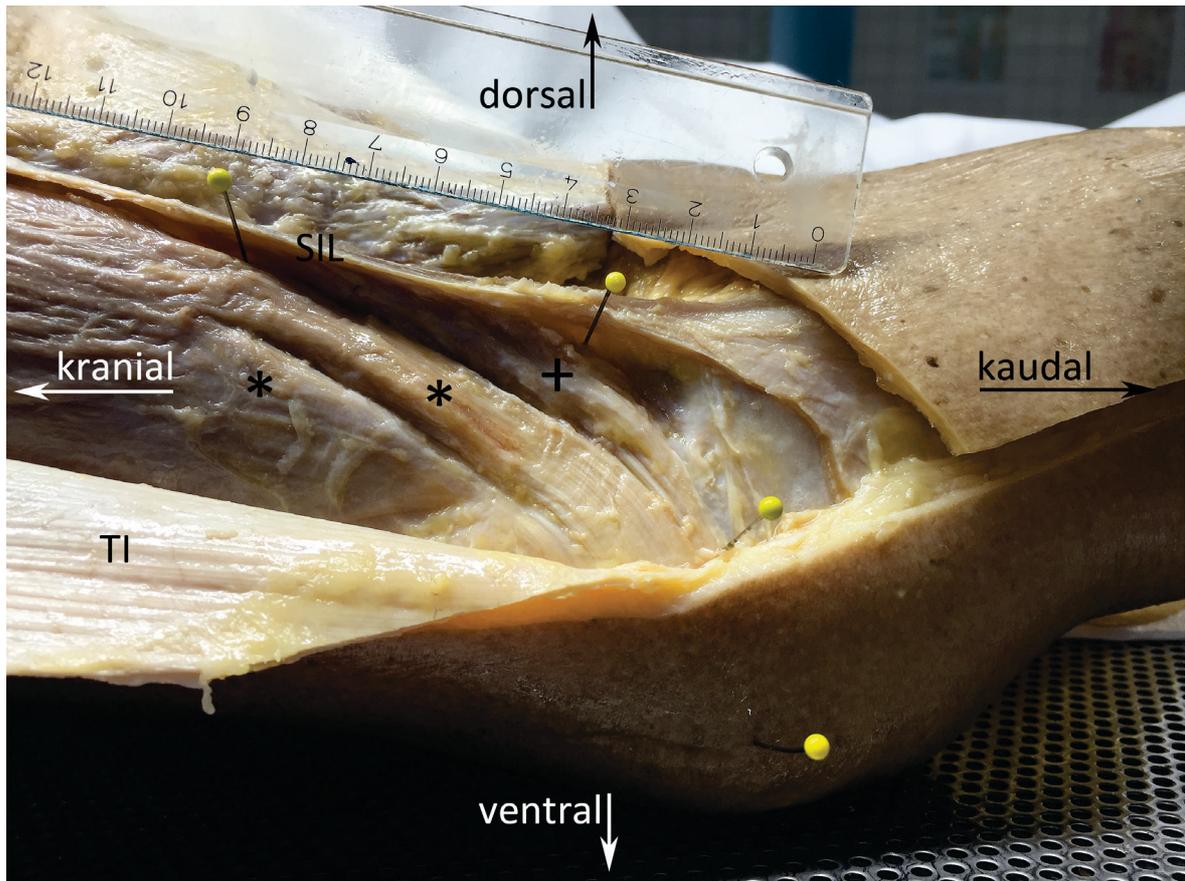
### 3.1.8 Besondere Befunde

In einer Körperspende (Abb. 10) präsentierte sich der VLO beidseits nahezu vollständig durch Fettgewebe ersetzt. Das Fettgewebe stellte sich dennoch als vom VL getrennt dar. Da sich lediglich am Ursprungsareal am SIL wenige Muskelfasern zeigten, konnten die beiden Präparate nicht für die Vermessung verwendet werden.



**Abb. 10: Beispiel für einen durch Fettgewebe ersetzten VLO:** Die Abbildung zeigt die nahezu vollständige Ersetzung des VLO (hier mit einem Stern markiert) durch Fettgewebe. Lediglich im kranialen Ursprungsbe-  
reich am SIL sind wenige Muskelfasern zu sehen. **Bf cb** M. biceps femoris, Caput breve **P** Patella **SIL** Septum  
intermusculare laterale **TI** Tractus iliotibialis **VL** M. vastus lateralis **VLO** M. vastus lateralis obliquus

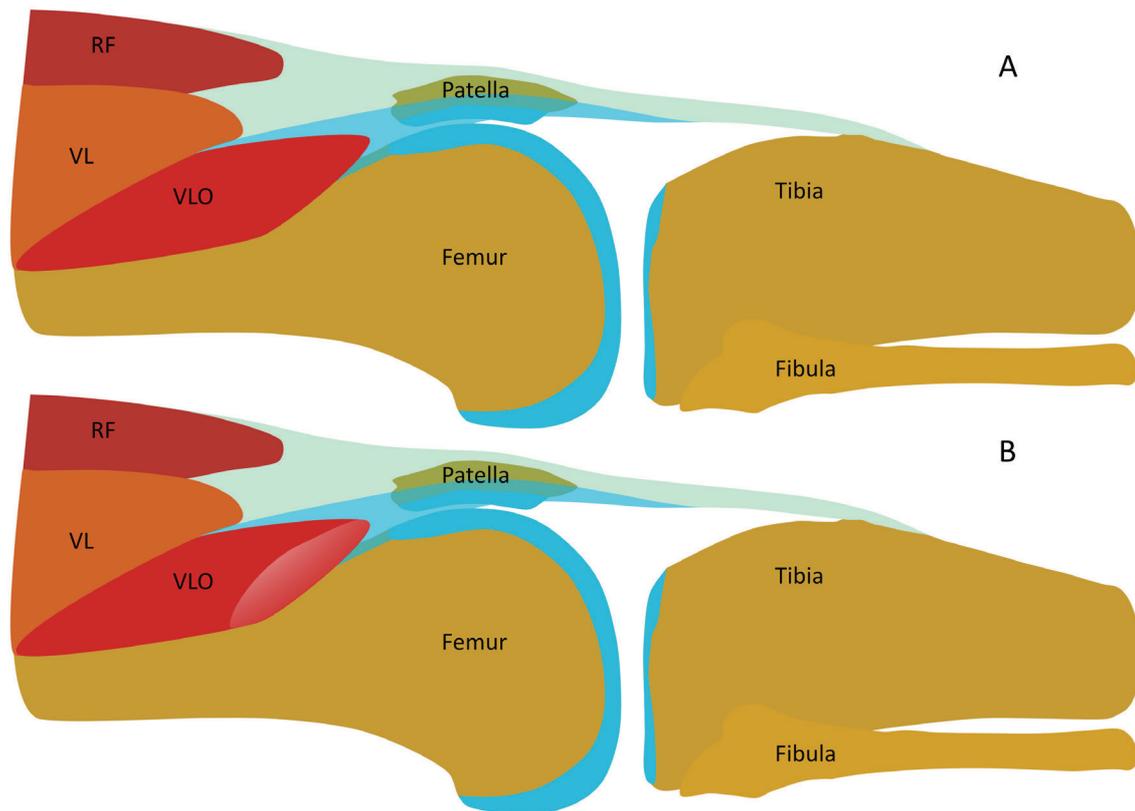
Als anatomische Variante wurde in einem Präparat (Abb. 11) eine Spaltung des Ansatzbe-  
reichs des VL in zwei separierbare Muskelstränge gefunden. Die beiden Ansätze verliefen  
parallel zum zusätzlich gefundenen VLO und dessen Sehne.



**Abb. 11: Anatomische Variante eines akzessorischen distalen Muskelbauchs des VL.** Die Abbildung zeigt eine Trennung des VL in zwei Muskelbäuche (hier beide mit einem Stern markiert) in seinem distalen Bereich kurz vor seinem Ansatz an der Patella. Lateral davon zeigt sich der VLO (mit einem Kreuz markiert). **SIL** Septum intermusculare laterale **TI** Tractus iliotibialis **VL** M. vastus lateralis **VLO** M. vastus lateralis obliquus.

### 3.1.9 Einteilung des VLO in Typen

Auf Basis des Muskelfaserverlaufs konnte der VLO in zwei Typen eingeteilt werden (Abb. 12). Sie wurden als parallelfaseriger Typ und parallelfaserig-fusiformer Typ bezeichnet. Muskeln des parallelfaserigen Typs haben von kranio-dorso-lateral nach kaudo-ventro-medial absteigende Muskelfasern („Hosentaschenverlauf“) die nicht konvergierend an die Sehne des VL herantreten. Muskeln des parallelfaserig-fusiformentyps hatten in der Regel einen kleineren kranialen parallelfaserigen und einen fusiformen kaudalen Anteil. Die fusiformen Muskelfasern verliefen konvergierend zum kranio-lateralen Pol der Patella und inserierten dort in die Kniegelenkscapsel.



**Abb. 12: Schemazeichnung der beiden Typen des VLO.** A, In einer lateralen Ansicht ist ein VLO vom parallelfaserigen Typ dargestellt. B, zeigt die Lokalisation des fusiformen Anteils kaudal der parallelen Muskelfasern bei dem parallelfaserig-fusiformen VLO-Typ. **RF** M. rectus femoris **VL** M. vastus lateralis **VLO** M. vastus lateralis obliquus

Die beiden Typen wiesen mit einer Häufigkeit von 11 für den parallelfaserigen Typ und 12 für den parallelfaserig-fusiformen Typ eine annähernd gleichstarke Verteilung auf. Insgesamt wurden acht Körperspenden untersucht, bei denen jeweils das links und rechte Knie verfügbar war. Bei zwei weiblichen und einer männlichen Körperspende waren jeweils beide Typen vertreten. Bei allen drei Körperspenden trat der VLO vom parallelfaserigen Typ links und der VLO vom parallelfaserig-fusiformen Typ rechts auf.

### 3.1.10 Zusammenfassung der erhobenen qualitativen Daten

Die nachfolgende Tabelle fasst alle relevanten und zuvor beschriebenen Beobachtungen zusammen (Tabelle 4).

**Tabelle 4: Zusammenfassung der erhobenen qualitativen Daten.**

<b>Merkmal</b>	<b>n</b>	<b>Beobachtete Merkmale</b>	
Seite	23	Rechts: 10	Links: 13
Geschlecht	23	Weiblich: 11	Männlich: 12
Gefäß-Nervenbündel ventral	23	Vorhanden: 10	Nicht vorhanden: 13
Nerv dorsal makroskopisch	23	Vorhanden: 2	Nicht vorhanden: 21
Gefäß dorsal	23	Vorhanden: 23	Nicht vorhanden: 0
Septum ventral	23	Vorhanden: 23	Nicht vorhanden: 0
Muskeltyp	23	Parallelfaserig: 11	Parallelfaserig-fusiförmig: 12
Ansatzart	23	Eigene Sehne: 17	Ansatz an der VL-Sehne: 6

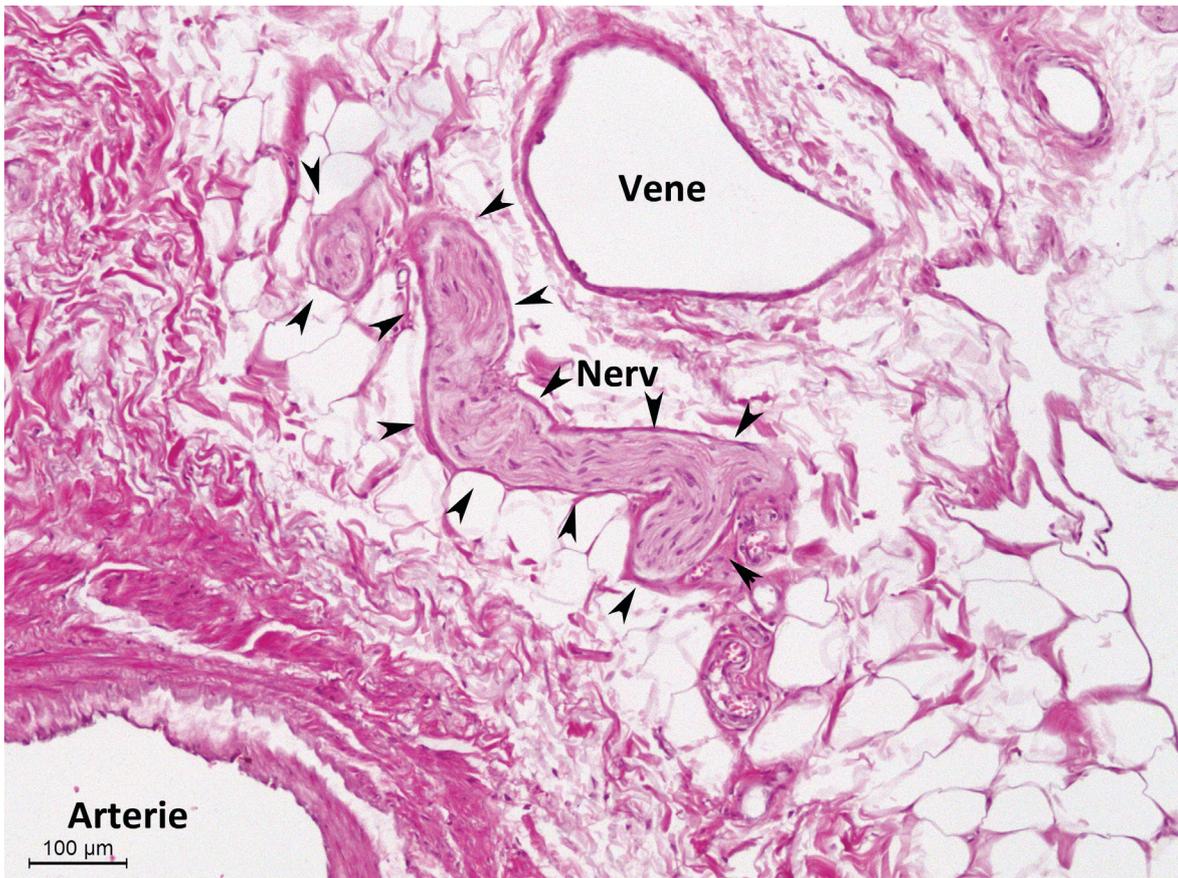
### 3.2 Mikroskopische Auswertung

In allen acht histologisch untersuchten Präparaten fanden sich mehrere Nervenfaserbündel um die bereits makroskopisch identifizierten, das SIL penetrierenden Blutgefäße. Dabei gruppierten sich die Nerven vorzugsweise um die Arterien herum. Es handelte sich mehrheitlich um myelinisierte Nervenfasern (Abb. 16).

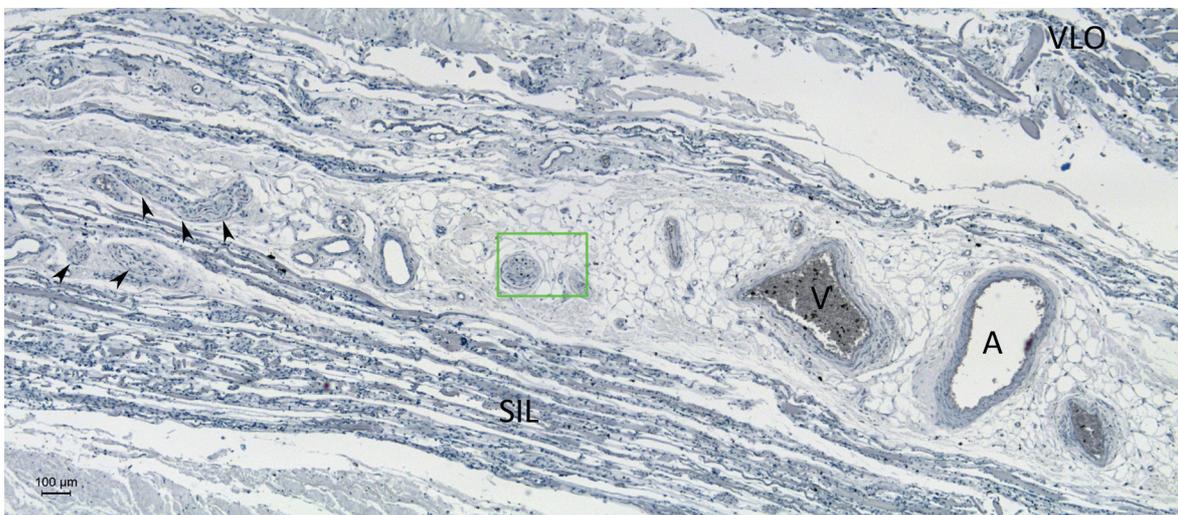
Die Abbildungen 13 bis 15 zeigen beispielhaft solche Gefäß-Nervenbündel beim von dorsal nach ventral erfolgenden Durchtritt durch das SIL. Alle lichtmikroskopisch als Nerven identifizierten Strukturen konnten jeweils immunhistochemisch an Folgeschnitten bestätigt werden.



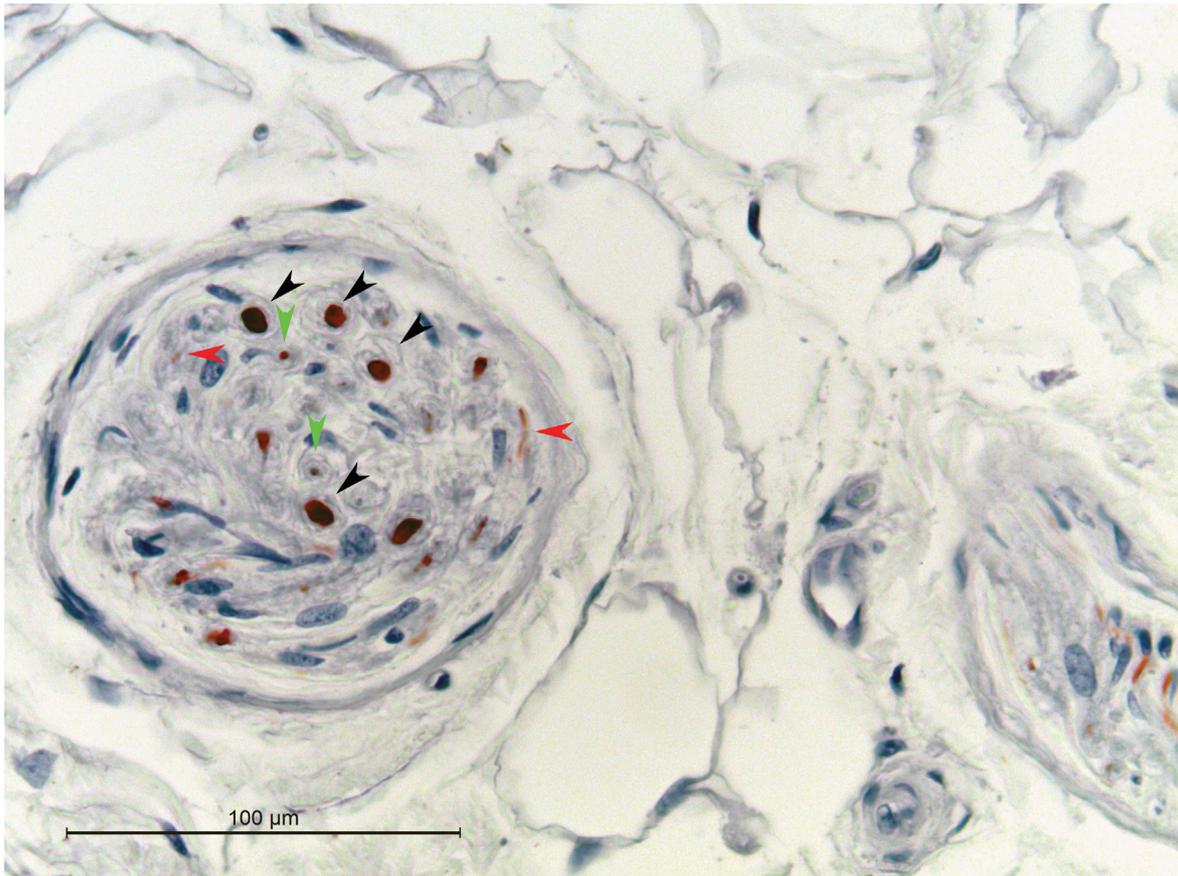
**Abb. 13: Histologie eines dorsalen Gefäß-Nervenbündels am SIL.** Zu erkennen ist das Foramen durch das SIL (mit Sternchen wurde sein Schnitttrand markiert), das mit dem Gefäß-Nervenbündel gefüllt ist. Die Pfeilspitzen zeigen die Lokalisation von perivaskulären Nervenfasern an. Mit Kreisen markiert sind VLO-Muskelfasern. HE-Färbung. 1,25-fache Objektiv-Vergrößerung.



**Abb. 14: Histologie eines dorsalen Gefäß-Nervenbündels am SIL.** Zu erkennen ist ein myelinisierter Nerv im Längsschnitt (mit Pfeilköpfen markiert). HE-Färbung. 10-fache Objektiv-Vergrößerung.



**Abb. 15: Immunhistochemie eines dorsalen Gefäß-Nervenbündels am SIL.** Dargestellt ist die Durchtrittsstelle des dorsalen Gefäß-Nervenbündels. Der Schnitt erfolgte parallel zum SIL. Mit Pfeilköpfen markiert sind die das Gefäßbündel umgebenden Nervenfasern. Der grün umrandete Bereich ist in der Abb. 13 vergrößert dargestellt. Immunhistochemie. 5-fache Objektiv-Vergrößerung. **A** Arterie **SIL** Septum intermusculare laterale **V** Vene **VLO** M. vastus lateralis obliquus



**Abb. 16: Detailansicht einer immunhistochemischen Markierung von Axonen des dorsalen Gefäß-Nervenbündels.** Es handelt sich um eine Detailaufnahme der Abbildung 12. In der Abbildung sind Axone unterschiedlichen Kalibers immunhistochemisch markiert. Die Farben der Pfeilköpfe markieren unterschiedlich stark myelinisierte Axone. Rot markiert sind nicht myelinisierte Axone, grün markiert sind schwach myelinisierte Axone, schwarz markiert sind stark myelinisierte Axone. pNF-Immunhistochemie mit Hämatoxylin-Gegenfärbung. 40-fache Objektiv-Vergrößerung.

### 3.3 Vermessung des VLO

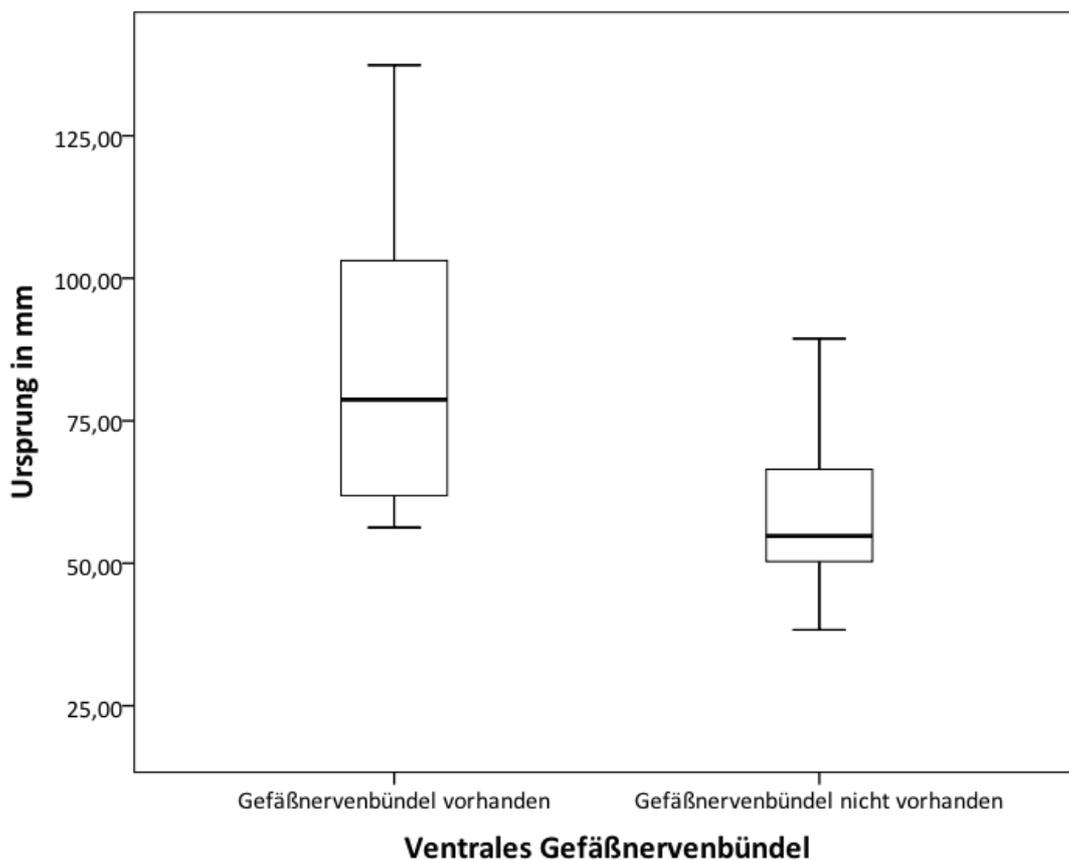
#### 3.3.1 Ausdehnung des Ursprungsareals am SIL

Der Ursprung des VLO am SIL hatte eine Ausdehnung von 61 mm (Median) bei einem Mittelwert von 69 mm und einer Standardabweichung von 23 mm. Die kleinste Ausdehnung des Ursprungsareals betrug 38 mm und entsprach damit etwa einem Drittel der maximalen Ausdehnung (137 mm).

Ein hoch signifikanter Unterschied in der Ausdehnung des Ursprungsareals zeigte sich für das Auftreten eines ventralen über das Septum zwischen VL und VLO verlaufenden Gefäß-Nervenbündels gegenüber dessen Fehlen. Die Ausdehnung des Ursprungsareals des VLO ist hochsignifikant größer, wenn ein solches Bündel präsent ist (Tabelle 5, Abb. 17).

**Tabelle 5. Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals vom Auftreten eines ventral über das Septum zwischen VL und VLO laufenden Gefäß-Nervenbündels.** Alle Werte sind in mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich des Auftretens eines ventralen Gefäß-Nervenbündels gleich“ wird bei einem  $p = 0,008$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,038$ ) verworfen zu Gunsten der Aussage: die Ausdehnung des Ursprungs hängt ab von dem Auftreten eines ventralen Gefäß-Nervenbündels.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Gefäß-Nervenbündel vorhanden	10	56	137	83	78	25
Gefäß-Nervenbündel nicht vorhanden	13	38	89	58	54	15



**Abb. 17: Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals vom Auftreten eines ventralen über das Septum zwischen VL und VLO laufenden Gefäß-Nervenbündels.**

Kein statistischer Zusammenhang zeigte sich zwischen der Ausdehnung des Ursprungsareals und der Körperseite, dem Geschlecht, dem Muskel-Typ und der Ansatzart des VLO (Tabelle 6 – 9).

**Tabelle 6. Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals von der Körperseite.** Alle Werte sind in mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich ihrer Entnahmeseite gleich“ wird bei einem  $p = 0,852$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,750$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Links	13	42	139	70	59	27
Rechts	10	38	103	68	67	18

**Tabelle 7. Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals vom Geschlecht.** Alle Werte sind in mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich des Geschlechtes gleich“ wird bei einem  $p = 0,854$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,581$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Weiblich	11	38	137	69	61	26
Männlich	12	44	106	70	63	21

**Tabelle 8. Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals vom Muskeltyp des VLO.** Alle Werte sind in mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich ihrer Ursprungsausdehnung gleich“ wird bei einem  $p = 0,218$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,335$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Parallelfaserig	11	38	137	66	58	30
Parallelfaserig-fusiform-	12	50	103	72	72	16

**Tabelle 9. Abhängigkeit der Ausdehnung des Ursprungsareals von der Ansatzart des VLO.** Alle Werte sind in mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Ansatzarten sind hinsichtlich ihrer Ursprungsausdehnung gleich“ wird bei einem  $p = 0,401$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,218$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Eigene Sehne vorhanden	17	50	106	69	66	15
Ansatz der VL-Sehne	<sup>an</sup> <sub>6</sub>	38	137	70	51	40

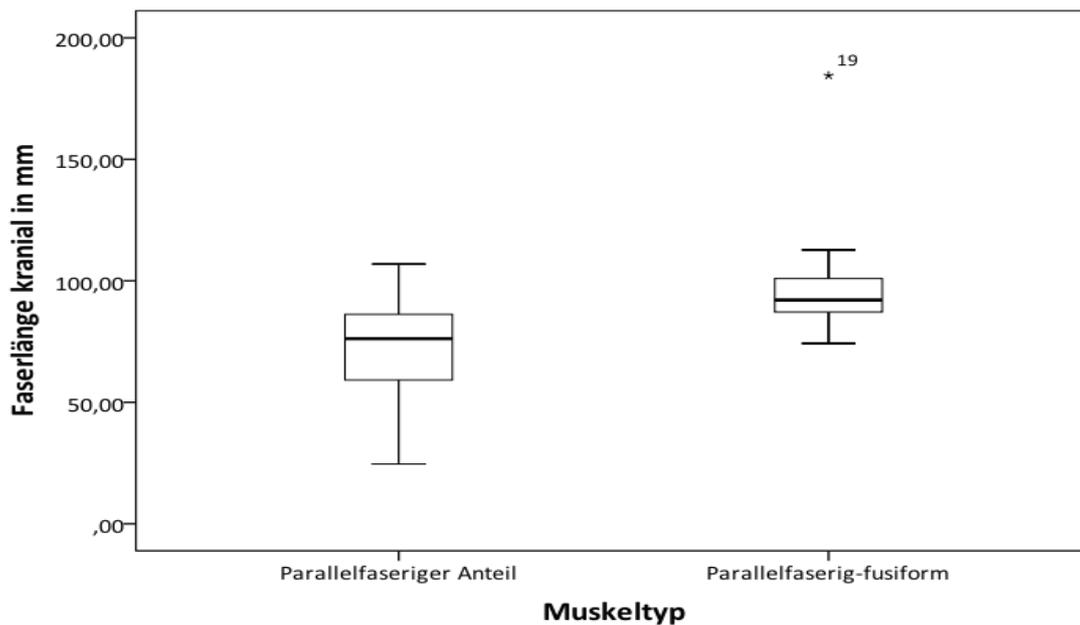
### 3.3.2 Muskelfaserlänge der kranialen Fasern

Die Länge der kranialen Muskelfasern des VLO hatte einen Median von 86 mm bei einem Mittelwert von 86 mm und einer Standardabweichung von 29 mm. Die kleinste Ausdehnung der kranialen Muskelfasern betrug 24 mm und die längste Ausdehnung betrug 184 mm.

Ein signifikanter Unterschied für die Länge der kranialen Muskelfasern des VLO ergab sich bei der Aufteilung nach Typ des VLO. Die kranialen Muskelfasern waren dabei bei dem parallelfaserig-fusiformen Typ länger (Tabelle 10, Abb. 18).

**Tabelle 10: Abhängigkeit der Muskelfaserlänge der kranialen Fasern vom Muskeltyp des VLO.** Alle Werte sind in mm angegeben. Für die Länge der kranialen Muskelfasern aufgeteilt nach Muskeltyp ergab die Prüfung eine Normalverteilung (Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,049$ ). Daher kann der T-Test für unabhängige Stichproben angewandt werden. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich ihrer kranialen Faserlänge gleich“ wird bei einem  $p = 0,02$  verworfen. Die Alternativhypothese „Die Muskeltypen sind hinsichtlich ihrer kranialen Faserlänge signifikant verschieden.“ wird angenommen.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Parallelfaserig	11	24	106	71	76	24
Parallelfaserig-fusiform	12	74	184	99	92	28



**Abb. 18: Abhängigkeit der Muskelfaserlänge der kranialen Fasern vom Muskeltyp des VLO.**  $n = 23$ ,

Kein statistischer Zusammenhang zeigte sich zwischen der Länge der kranialen Muskelfasern des VLO und der Körperseite, dem Geschlecht, der Ansatzart des VLO und dem Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels (Tabelle 11 - 14).

**Tabelle 11. Abhängigkeit der Länge der kranialen Fasern von der Körperseite.** Alle Werte wurden in mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich ihrer Entnahmeseite gleich“ wird bei einem  $p = 0,107$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,264$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Links	13	24	112	78	84	22
Rechts	10	46	184	96	93	35

**Tabelle 12. Abhängigkeit der Länge der kranialen Fasern vom Geschlecht.** Alle Werte wurden in mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich des Geschlechtes gleich“ wird bei einem  $p = 0,460$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,889$ ) beibehalten

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Weiblich	11	42	106	79	86	20
Männlich	12	24	184	92	88	36

**Tabelle 13. Abhängigkeit der Länge der kranialen Fasern vom Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels.** Alle Werte wurden in mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich des Auftretens eines ventralen Gefäß-Nervenbündels gleich“ wird bei einem  $p = 0,067$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,129$ ) beibehalten

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Gefäß-Nervenbündel vorhanden	10	76	184	99	90	31
Gefäß-Nervenbündel nicht vorhanden	13	24	106	75	78	24

**Tabelle 14. Abhängigkeit der Länge der kranialen Fasern von der Ansatzart des VLO.** Alle Werte wurden in mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Ansatzarten sind hinsichtlich ihrer Ursprungsausdehnung gleich“ wird bei einem  $p = 0,117$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,237$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Eigene Sehne vorhanden	17	42	112	87	89	16
Ansatz an der VL-Sehne	6	24	184	81	74	55

### 3.3.3 Muskelfaserlänge der kaudalen Fasern

Die Länge der kaudalen Muskelfasern des VLO hatte einen Median von 35 mm bei einem Mittelwert von 37 mm und einer Standardabweichung von 16 mm. Die kleinste Ausdehnung der kranialen Muskelfasern betrug 16 mm und die längste Ausdehnung betrug 97mm.

Kein statistischer Zusammenhang zeigte sich zwischen der Länge der kaudalen Muskelfasern des VLO und der Körperseite, dem Geschlecht, der Ansatzart des VLO, dem Muskeltyp und dem Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels (Tabelle 15 – 19).

**Tabelle 15. Abhängigkeit der Länge der kaudalen Fasern von der Körperseite.** Alle Werte wurden in mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich ihrer Entnahmeseite gleich“ wird bei einem  $p = 0,976$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,807$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Links	13	18	61	36	35	11
Rechts	10	16	97	39	33	22

**Tabelle 16: Abhängigkeit der Länge der kaudalen Fasern vom Geschlecht.** Alle Werte wurden in mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich des Geschlechtes gleich“ wird bei einem  $p = 0,566$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,982$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Weiblich	11	16	61	35	33	12
Männlich	12	18	97	39	37	20

**Tabelle 17: Abhängigkeit der Länge der kaudalen Fasern vom Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels.** Alle Werte wurden im mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich des Auftretens eines ventralen Gefäß-Nervenbündels gleich“ wird bei einem  $p = 0,232$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,424$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Gefäß-Nervenbündel vorhanden	10	23	97	43	39	21
Gefäß-Nervenbündel nicht vorhanden	13	16	49	32	34	10

**Tabelle 18: Abhängigkeit der Länge der kaudalen Fasern vom Muskeltyp.** Alle Werte wurden im mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich ihrer Ursprungsausdehnung gleich“ wird bei einem  $p = 0,651$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,607$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Parallelfaserig	11	16	61	37	35	11
Parallelfaserig-fusiform	12	18	97	37	32	20

**Tabelle 19: Abhängigkeit der Länge der kaudalen Fasern von der Ansatzart des VLO.** Alle Werte wurden im mm angegeben. Die Nullhypothese „Die Ansatzarten sind hinsichtlich ihrer Ursprungsausdehnung gleich“ wird bei einem  $p = 0,708$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,708$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Eigene Sehne vorhanden	17	18	49	34	36	9
Ansatz an der VL-Sehne	6	16	97	46	34	28

### 3.3.4 Kranialer Ansatzwinkel zu einer Parallelen zur Femurschaftachse in Sagittalebene

Der kraniale Ansatzwinkel zwischen Muskelfasern des VLO und einer Parallelen zur Femurschaftachse in der Sagittalebene betrug im Mittel 160° bei einem Median von 162° und einer Standardabweichung von 10°. Die kleinste Winkel betrug 126° und der größte Winkel betrug 172°.

Kein statistischer Zusammenhang zeigte sich zwischen der Größe des kranialen Ansatzwinkels und der Körperseite, dem Geschlecht, der Ansatzart des VLO, dem Muskeltyp und dem Vorhandsein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels (Tabelle 20 – 24).

**Tabelle 20: Abhängigkeit der Größe des kranialen Ansatzwinkels von der Körperseite.** Alle Werte wurden in Grad angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich ihrer Entnahmesite gleich“ wird bei einem  $p = 0,446$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,720$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Links	13	126	172	160	163	13
Rechts	10	144	169	156	161	6

**Tabelle 21: Abhängigkeit der Größe des kranialen Ansatzwinkels vom Geschlecht.** Alle Werte wurden in Grad angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich des Geschlechtes gleich“ wird bei einem  $p = 0,740$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,576$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Weiblich	11	144	172	160	162	8
Männlich	12	126	172	160	162	12

**Tabelle 22: Abhängigkeit der Größe des kranialen Ansatzwinkels vom Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels.** Alle Werte wurden in Grad angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich des Auftretens eines ventralen Gefäß-Nervenbündels gleich“ wird bei einem  $p = 0,522$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,924$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Gefäß-Nervenbündel vorhanden	10	154	172	163	163	5
Gefäß-Nervenbündel nicht vorhanden	13	126	171	157	162	12

**Tabelle 23: Abhängigkeit der Größe des kranialen Ansatzwinkels vom Muskeltyp.** Alle Werte wurden in Grad angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich ihrer Ursprungsausdehnung gleich“ wird bei einem  $p = 0,235$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,576$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Parallelfaserig	11	126	171	156	162	13
Parallelfaserig-fusiform	12	154	172	163	163	6

**Tabelle 24: Abhängigkeit der Größe des kranialen Ansatzwinkels von der Ansatzart des VLO.** Alle Werte wurden in Grad angegeben. Die Nullhypothese „Die Ansatzarten sind hinsichtlich ihrer Ursprungsausdehnung gleich“ wird bei einem  $p = 0,155$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,639$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Eigene Sehne vorhanden	17	145	172	162	163	7
Ansatz an der VL-Sehne	6	126	164	152	159	15

### 3.3.5 Kaudaler Ansatzwinkel zu einer Parallelen zur Femurschaftachse in Sagittalebene

Der kaudale Ansatzwinkel zwischen Muskelfasern des VLO und einer Parallelen zur Femurschaftachse in der Sagittalebene betrug im Mittel 135° bei einem Median von 135° und einer Standardabweichung von 17°. Die kleinste Winkel betrug 93° und der größte Winkel betrug 166°.

Kein statistischer Zusammenhang zeigte sich zwischen der Größe des kaudalen Ansatzwinkels und der Körperseite, dem Geschlecht, der Ansatzart des VLO, dem Muskeltyp und dem Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels (Tabelle 25 – 29).

**Tabelle 25: Abhängigkeit der Größe des kaudalen Ansatzwinkels von der Körperseite.** Alle Werte wurden in Grad angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich ihrer Entnahmeseite gleich“ wird bei einem  $p = 0,257$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,129$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Links	13	94	166	138	142	17
Rechts	10	93	158	132	133	16

**Tabelle 26: Abhängigkeit der Größe des kaudalen Ansatzwinkels vom Geschlecht.** Alle Werte wurden in Grad angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich des Geschlechtes gleich“ wird bei einem  $p = 0,379$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,576$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Weiblich	11	123	151	135	135	8,0
Männlich	12	93	166	136	141	22,8

**Tabelle 27: Abhängigkeit der Größe des kaudalen Ansatzwinkels vom Vorhandensein eines ventralen Gefäß-Nervenbündels.** Alle Werte wurden in Grad angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich des Auftretens eines ventralen Gefäß-Nervenbündels gleich“ wird bei einem  $p = 0,976$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,924$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Gefäß-Nervenbündel vorhanden	10	126	166	139	134	12
Gefäß-Nervenbündel nicht vorhanden	13	93	158	133	139	19

**Tabelle 28: Abhängigkeit der Größe des kaudalen Ansatzwinkels vom Muskeltyp.** Alle Werte wurden in Grad angegeben. Die Nullhypothese „Die Gruppen sind hinsichtlich ihrer Ursprungsausdehnung gleich“ wird bei einem  $p = 0,786$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,928$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Parallelfaserig	11	94	166	136	135	18
Parallelfaserig-fusiform	12	93	158	135	136	16

**Tabelle 29: Abhängigkeit der Größe des kaudalen Ansatzwinkels von der Ansatzart des VLO.** Alle Werte wurden in Grad angegeben. Die Nullhypothese „Die Ansatzarten sind hinsichtlich ihrer Ursprungsausdehnung gleich“ wird bei einem  $p = 0,354$  (Mann-Whitney-U, Kolmogorov-Smirnov:  $p = 0,604$ ) beibehalten.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Eigene Sehne vorhanden	17	93	166	138	140	16
Ansatz an der VL-Sehne	6	94	151	129	134	19

### 3.3.6 Zusammenfassung der erhobenen quantitativen Daten

Die nachfolgende Tabelle fasst alle relevanten und zuvor beschriebenen Beobachtungen zusammen (Tabelle 30).

**Tabelle 30: Zusammenfassung der erhobenen quantitativen Daten.** Das Alter wurde in Jahren angegeben. Ursprung, Kraniale Faserlänge und kaudale Faserlänge wurden in mm angegeben. Der kraniale und kaudale Winkel gegen die Parallele zur Femurschaftachse wurden in Grad angegeben.

	n	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Alter	23	61	99	81	87	10
Ursprung	23	38	137	69	61	23
Kraniale Faserlänge	23	24	184	86	86	29
Kaudale Faserlänge	23	16	97	37	35	16
Winkel gegen Femur cranial	23	126	172	160	162	10
Winkel gegen Femur caudal	23	93	166	135	135	17

### 3.4 Korrelation der quantitativen Daten

Neben den zuvor dargestellten Abhängigkeiten der Messwerte sind die quantitativen Daten außerdem auf mögliche Korrelation untereinander statistisch analysiert worden. Dabei korrelierten

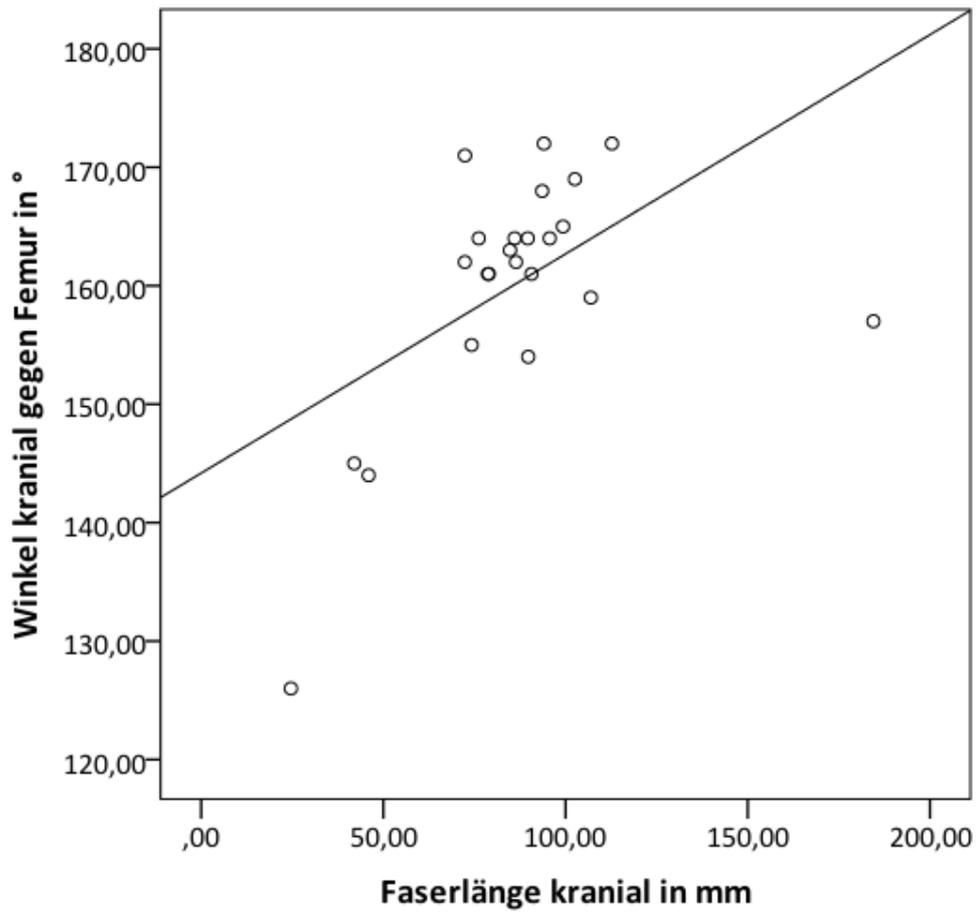
- die Länge des Ursprungsareals des VLO mit der Muskelfaserlänge der kranialen Fasern des VLO hochsignifikant
- der kraniale Winkel der Muskelfasern des VLO gegen eine Parallele zur Femurschaftachse mit dem kaudalen Winkel der Muskelfasern zur gleichen Parallelen hochsignifikant
- der kraniale Winkel der Muskelfasern des VLO gegen eine Parallele zur Femurschaftachse mit der Muskelfaserlänge der kranialen Fasern des VLO signifikant

Die Zusammenhänge sind in der untersuchten Stichprobe jeweils schwach linear. Die nachfolgende Tabelle fasst die p-Werte zusammen (Tabelle 31).

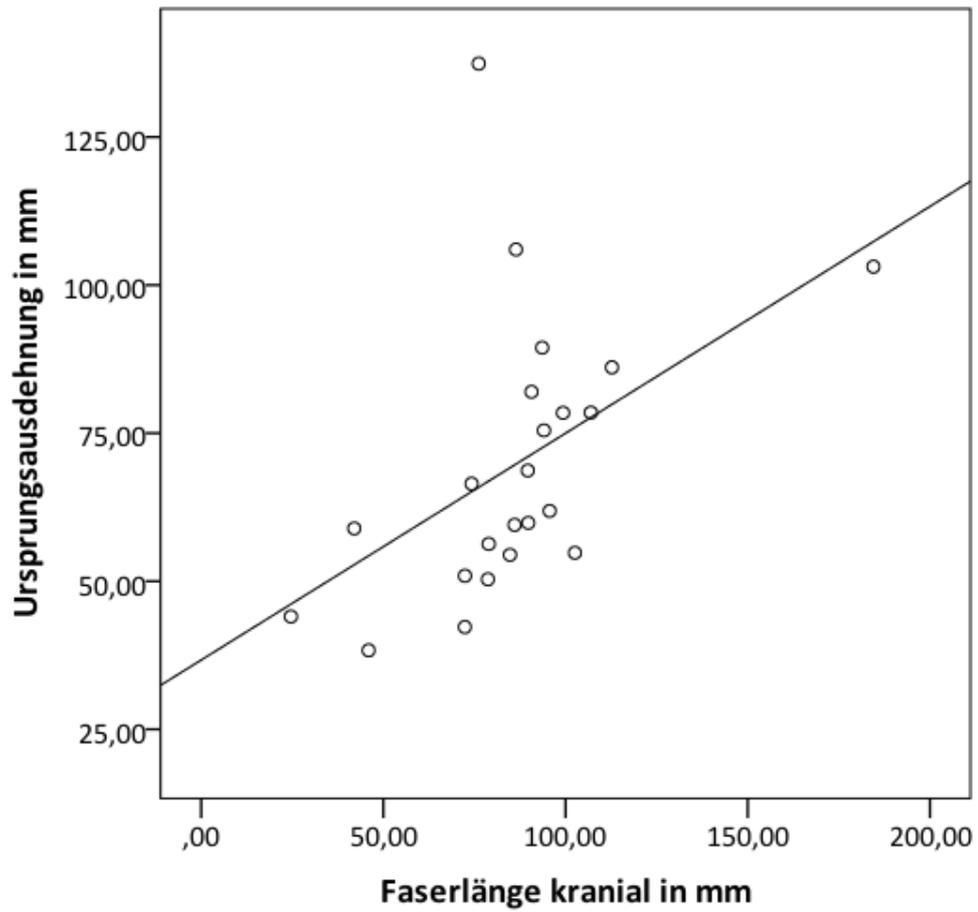
**Tabelle 31: Tabellarische Zusammenfassung der Korrelationskoeffizienten und Signifikanzen der quantitativen Parameter.** \*\* Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau signifikant (zweiseitig). \* Die Korrelation ist auf dem 0,05 Niveau signifikant (zweiseitig)

		<b>Ursprung</b>	<b>Faserlänge kranial</b>	<b>Faserlänge kaudal</b>	<b>Winkel kranial</b>	<b>Winkel kaudal</b>
<b>Ursprung</b>	Korrelationskoeffizient	1,000	0,614**	0,225	0,288	0,207
	Sig. (2-seitig)		0,002	0,301	0,182	0,344
	n	23	23	23	23	23
<b>Faserlänge kranial</b>	Korrelationskoeffizient	,614**	1,000	0,206	0,458*	0,172
	Sig. (2-seitig)	0,002		0,347	0,028	0,433
	n	23	23	23	23	23
<b>Faserlänge kaudal</b>	Korrelationskoeffizient	0,225	0,206	1,000	-0,119	0,286
	Sig. (2-seitig)	0,301	0,347		0,588	0,186
	n	23	23	23	23	23
<b>Winkel kranial</b>	Korrelationskoeffizient	0,288	,458*	-0,119	1,000	0,552**
	Sig. (2-seitig)	0,182	0,028	0,588		0,006
	n	23	23	23	23	23
<b>Winkel kaudal</b>	Korrelationskoeffizient	0,207	0,172	0,286	,552**	1,000
	Sig. (2-seitig)	0,344	0,433	0,186	0,006	
	n	23	23	23	23	23

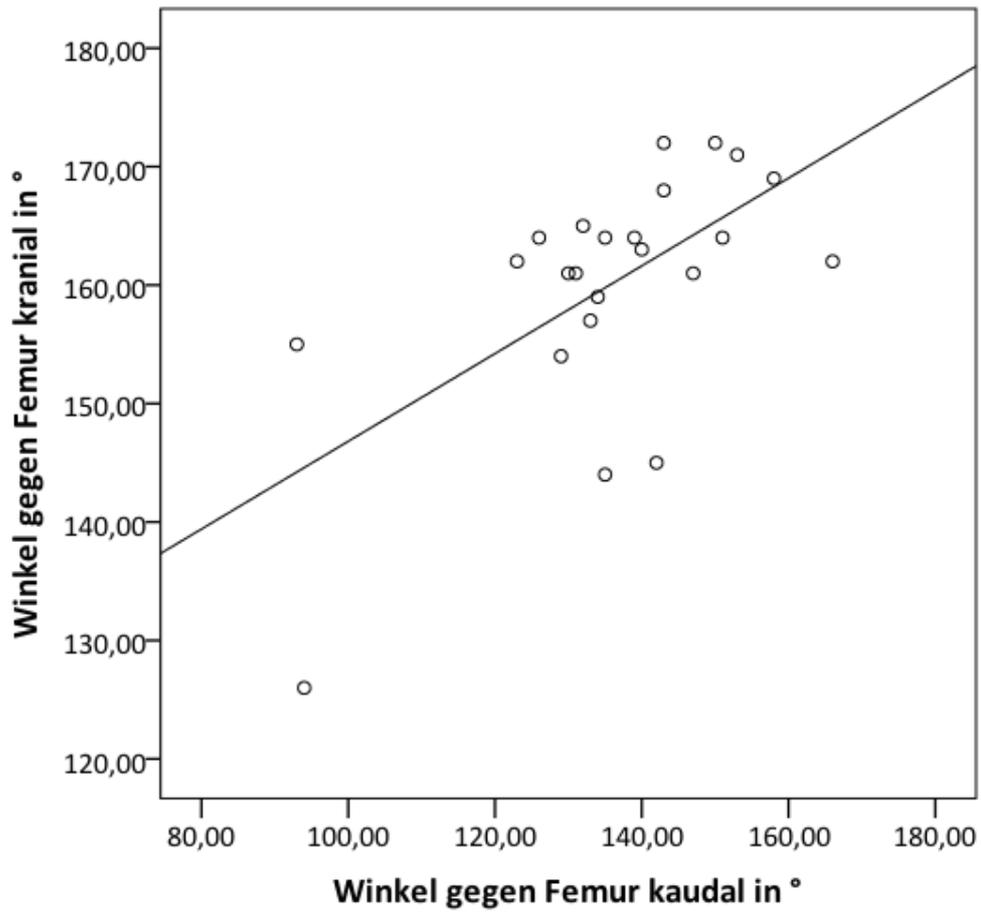
Nachfolgend werden die signifikanten Korrelationen als Scatterplot dargestellt (Abb. 19 – Abb. 21)



**Abb. 19: Korrelation des kranialen Winkels mit der Länge der kranialen Muskelfasern des VLO.** Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Winkelgröße der kranialen Muskelfasern des VLO gegen eine Parallele zur Femurschaftachse und der Länge der kranialen Muskelfasern des VLO in mm.



**Abb. 20: Korrelation der Ursprungsausdehnung am SIL mit der Länge der kranialen Muskelfasern des VLO:**  
 Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der Ursprungsausdehnung des VLO und der Länge der kranialen Muskelfasern des VLO in mm.



**Abb. 21: Korrelation des kranialen Winkels gegen den kaudalen Winkel.** Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen dem kranialen und kaudalen Winkel der Muskelfasern des VLO gegen eine Parallele zur Femurschaftachse.

## **4 Diskussion**

### **4.1 Überblick**

Wie einleitend beschrieben wird in der wissenschaftlichen Literatur die Eigenständigkeit eines VMO kontrovers diskutiert [7]. Für den VLO ist eine solche Diskussion angesichts seiner spärlicher Erwähnungen nicht zu finden. Die vorliegende Arbeit thematisiert erstmals die Frage, ob es sich bei diesen schrägen Muskelfasern im distalen Bereich des VL um einen eigenständigen Skelettmuskel handelt und überprüft bzw. ergänzt die wenigen Informationen zu dieser anatomischen Struktur.

Die Diskussion über die Eigenständigkeit eines Skelettmuskels lässt sich vermeiden, wenn klare Definitionskriterien angewendet werden. Analog zu den von Smith et al. geforderten Definitionskriterien wurde in dieser Arbeit neben morphologischen Parametern (Ursprung, Ansatz, Muskelfaserverlauf) zusätzlich die Innervation des VLO betrachtet [7]. Weiterhin wurde das von Grob et al. angeführte Kriterium der unabhängigen Blutversorgung herangezogen [2]. Im Laufe der Untersuchung wurde ein präparatorischer Weg entwickelt, um diese Parameter reproduzierbar quantifizieren zu können.

### **4.2 Einordnung der bisherigen Erkenntnisse zum VLO anhand eigener Beobachtungen**

Es zeigte sich, dass in allen 23 untersuchten Präparaten ein VLO abgrenzbar war. Dieser Befund bestätigt die Ergebnisse von Scharf et al. und Bevilaqua-Grossi et al. [16, 18].

Als Ursprung des VLO konnte in allen untersuchten Präparaten das SIL identifiziert werden, das in der Mehrzahl der Arbeiten zum VLO ebenfalls als Ursprung genannt wurde [3, 16-19, 21]. Da das SIL an der Linea aspera des Femurs fixiert ist, kann diese somit ebenfalls als Ursprung des VLO angesehen werden. Dies entspricht der Auffassung der Arbeit von Bevilaqua-Grossi et al. [18].

Von der Mehrzahl der Autoren wird der supero-laterale oder laterale Patellarand als Ansatzareal des VLO genannt [3, 16-18, 20]. Dies konnte in der vorliegenden Arbeit bestätigt werden. Neue Informationen wurden in Hinblick auf das genaue Ansatzverhalten des VLO gewonnen. Bereits zuvor wurden drei verschiedene Ansatzmuster des VLO an der Patella beschrieben [17]. Dabei handelt es sich jedoch um eine rein deskriptive Darstellung ohne

Betrachtung der Häufigkeitsverteilung. Es konnte gezeigt werden, dass der VLO in 70% der Fälle mit einer eigenen, parallel zur Sehne des VL verlaufenden Sehne an der Patella ansetzt und in 30% der Fälle in die Sehne des VL einstrahlt.

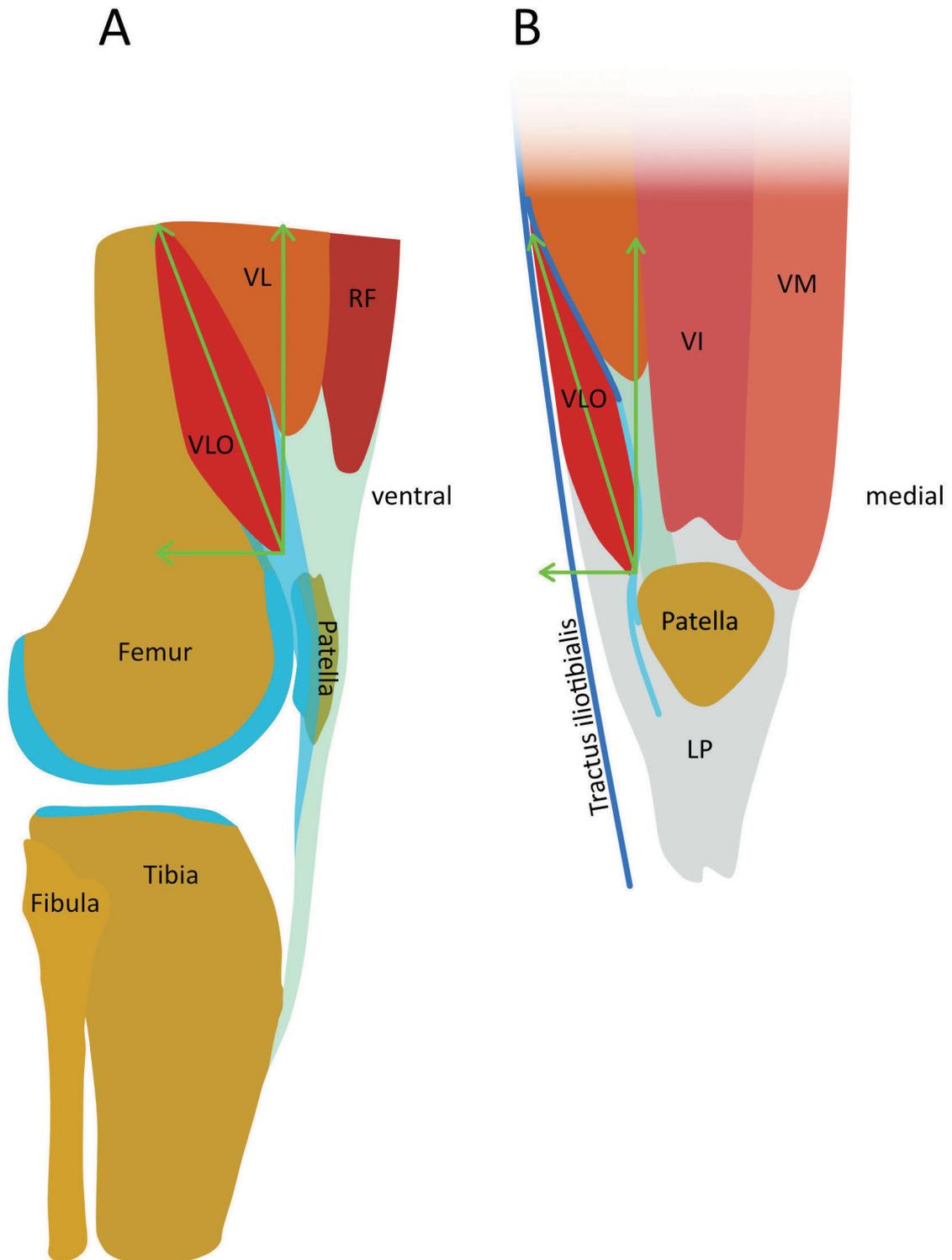
### 4.3 Funktionelle Bedeutung des VLO

Um eine Aussage über die Funktion des VLO treffen zu können, ist die Betrachtung der Zugrichtung seiner Muskelfasern relevant. Diese kann durch die Bestimmung des Winkels der Muskelfasern gegen die Femurschaftachse [3, 16] oder gegen die Tibiaschaftachse beschrieben werden. Die Femurschaftachse stellt eine knöcherne Struktur mit topografischer Beziehung zum VLO dar, wohingegen die Tibiaschaftachse als Verlängerung der Verlaufsrichtung der Quadricepssehne eine funktionelle Beziehung zum VLO herstellt. Um den Winkel der Muskelfasern des VLO gegen die Tibiaschaftachse bestimmen zu können, werden Hilfslinien am Femur benötigt. Dafür kommen am ehesten die patellare Rinne der Facies patellaris des Femur oder die Whiteside-Linie [32] in Frage. Die Knieendoprothetik zeigt jedoch, dass Knochenpunkte bzw. Linien am Femur, die als Referenz für die Ausrichtung der Tibia verwendet werden können, nur begrenzt verlässlich sind [33]. Daher wurde für die Arbeit die Femurschaftachse als sicher reproduzierbare Bezugsgröße herangezogen. Diese hat außerdem den Vorteil nicht von der Stellung oder möglichen Variationen bzw. Pathologien der benachbarten Gelenke abhängig zu sein.

In der Literatur wurde demgegenüber der Winkel gegen die longitudinale Achse der Patella [5, 17] gemessen. Diese ist sowohl von der Tibia- als auch der Femurausrichtung abhängig und unterliegt den erheblichen interindividuellen Variationen dieses Knochens. Außerdem erscheint es möglich, dass die Gestalt der Patella und damit ihre Achsen von den an ihr ansetzenden Skelettmuskeln abhängt, womit sie keine unabhängige Bezugsgröße wäre [34]. Darüber hinaus ist die Patella als *punctum mobile* gegenüber dem VLO beweglich, wodurch ein gegen sie gemessener Winkel einem größeren Fehler unterliegt.

Auffällig ist ferner, dass alle in der Literatur angegebenen Messungen des Winkels der VLO-Muskelfasern zur Femurschaft- bzw. longitudinalen Patellaachse in der Frontalebene erfolgten [3, 5, 16, 17]. Führt man sich jedoch vor Augen, dass der VLO vor allem von dorsal an die Patella heranzieht und somit zu großen Teilen in einer Sagittalebene liegt, erscheint eine Messung dieser Parameter in der Frontalebene nicht geeignet, um die Funktion des VLO abzubilden. Aus diesem Grund wurden die Winkel zur Femurschaftachse in

dieser Arbeit in der Sagittalebene gemessen. Es konnte gezeigt werden, dass am VLO durch die Verlaufsrichtung der Muskelfasern von kranial nach kaudal und von dorsal nach ventral vor allem zwei Kraftvektoren existieren (Abb. 22).



**Abb. 22: Darstellung der Kraftvektoren des VLO.** A, Darstellung der Kraftvektoren des VLO in der Sagittalebene. B, Darstellung der Kraftvektoren des VLO in der Frontalebene LP Lig. patellae RF M. rectus femoris VI M. vastus intermedius VL M. vastus lateralis VLO M. vastus lateralis obliquus VM M. vastus medialis

Der vorzugsweise in der Sagittalebene von dorsal nach ventral ziehende Kraftvektor kann die Patella in Richtung Femur ziehen, presst sie dabei gegen die laterale Facette ihres femoralen Gleitlagers und dient somit ihrer Stabilisierung gegenüber dem Femur. Der von kaudal nach kranial ziehende Kraftvektor entspricht weitgehend den Kraftvektoren des VLL und ist somit zum einen in der Lage eine Extension im Kniegelenk zu ermöglichen, zum anderen könnte er durch die Kranialisierung der Patella diese aus ihrem Gleitlager ziehen.

Beide Kraftkomponenten zusammen könnten eine Rolle bei der Luxation der Patella spielen. Instabilitäten der Patella treten meist in den letzten 30° der Extension des Kniegelenks auf [35]. In diesem Abschnitt der Extension steigt die Patella zunehmend über ihr femorales Gleitlager nach kranial und kann somit nicht mehr in ihrer Lage gegen das Femur stabilisiert werden. Es ist vorstellbar, dass ein eigenständiger, vom M. quadriceps femoris und insbesondere vom gegenhaltenden M. vastus medialis unabhängiger Skelettmuskel mit genau den für eine Luxation notwendigen Zugkomponenten hier eine zentrale pathogenetische Rolle spielt.

Auch Hallisey et al. verweisen auf einen Kraftvektor durch diese Muskelfasern, den sie als Prädisposition für eine mechanische Instabilität und ein Malalignment der Patella anführen [17]. Da die Funktion des VLO auch in dieser Arbeit in der Frontalebene beurteilt wird, liegt der Fokus nicht auf der Betrachtung des möglicherweise für die Patella-Instabilität relevanten dorsalisierenden Vektors. Demgegenüber vermutet die Arbeitsgruppe um Bevilacqua-Grossi ein nennenswertes Potential des VLO zur Veränderung der Zugkräfte an der Patella im Sinne eines laterokraniellen Shifts [18]. Der die Patella stabilisierende dorsalisierende Vektor des VLO wird hingegen in keiner der beiden Arbeiten betrachtet.

In der vorliegenden Arbeit konnten erstmals zwei Typen des VLO definiert werden, die sich hinsichtlich der Länge ihrer Muskelfasern unterscheiden. Bei Vorliegen eines zusätzlichen fusiformen Anteils (parallelfaserig-fusiformer Typ) kaudal der bei beiden Typen vorhandenen parallel verlaufenden kranialen Muskelfasern weist der VLO signifikant längere Muskelfasern in seinem kranialen Abschnitt auf. Dadurch ergibt sich bei diesem Typ eine

längere Verkürzungsstrecke und somit eine potentiell stärkere Kranialisierung der Patella. Weitergehende Untersuchungen sollten daher eine mögliche Korrelation zwischen VLO-Typ und dem Auftreten einer Patella-Instabilität betrachten.

#### **4.4 VLO – Subkompartiment oder eigenständiger Muskel?**

Wie einleitend bereits beschrieben muss ein Skelettmuskel neben rein morphologischen Kriterien zusätzlich funktionell unabhängig sein, um als eigenständige Entität zu gelten. Dies ist gewährleistet, wenn er durch einen ausschließlich für ihn zuständigen Nervenast innerviert wird [7]. Darüber hinaus sollte auch eine eigenständige Gefäßversorgung vorliegen [2]. Für die Beantwortung der Frage, ob es sich bei dem VLO um einen eigenständigen Skelettmuskel oder um einen Teil des VL handelt ist daher die Betrachtung seiner Blutversorgung und Innervation essentiell.

In dieser Arbeit konnte erstmals gezeigt werden, dass der VLO eine von dorsal an ihn herantretende Blutversorgung besitzt. Diese konnte in allen untersuchten Präparaten nachgewiesen werden. Darüber hinaus wurde in 10 Fällen eine ventrale Blutversorgung durch ein von kranial aus dem VL an ihn heranziehendes Blutgefäß nachgewiesen. In diesen Fällen präsentierte sich der VLO mit einem signifikant größeren Ursprungsareal. Dies lässt sich mit einer besseren trophischen Versorgung erklären. Auffällig ist dabei, dass dieses Gefäß stets oberhalb des Septums zwischen VLO und VL verlief, womit es vor Bewegungen dieser beiden Muskeln gegeneinander besser geschützt ist als bei einem Verlauf durch dieses Septum. Dies könnte ein Hinweis dafür sein, dass der VLO in der Lage ist unabhängig vom VL zu kontrahieren.

Die meisten Skelettmuskeln werden von einem einzelnen peripheren Nerven innerviert. Der efferente Anteil dieses Nerven setzt sich aus den Axonen mehrerer alpha-Motoneurone zusammen, deren Zellkerne sich im Vorderhorn des Rückenmarks befinden [9]. Nach dem Eintritt des versorgenden Nerven in den Muskel teilt sich dieser in Primäräste, die unterschiedliche Bereiche des Muskels versorgen [36]. Bevor ein in einem Primärast enthaltenes Axon eines alpha-Motoneurons die motorische Endplatte des Skelettmuskels erreicht, verzweigt es sich in mehrere Unteräste, wobei jeder dieser Unteräste genau eine Muskelfaser versorgt. Alpha-Motoneuron und alle von ihm innervierten Muskelfasern werden als motorische Einheit bezeichnet [9].

Es konnte gezeigt werden, dass sich Skelettmuskeln aufgrund der Aufspaltung des sie versorgenden Nervens in Subkompartimente unterteilen lassen [36]. Diese Subkompartimente konnten innerhalb mehrerer humaner Muskeln identifiziert werden [37-41]. Ein solches Subkompartiment wird auch als neuromuskuläres Kompartiment bezeichnet und wird von jeweils einem Primärast des peripheren Nervens versorgt. Da Axone von alpha-Motoneuronen die Eigenschaft haben sich nur einem Primärast anzuschließen [42] und sich erst nach Eintritt in ein Muskelkompartiment verzweigen [36], verfügt jedes Kompartiment über eine exklusiv für seine Versorgung zuständige Anzahl an alpha-Motoneuronen, die unter dem Begriff *motor nucleus* zusammengefasst wird [36, 42]. Es konnte gezeigt werden, dass die Kerne der alpha-Motoneurone innerhalb des Rückenmarks topographisch angeordnet sind. Proximale Kompartimente werden von Neuronen versorgt, die weiter kranial im Rückenmark liegen und distale Kompartimente werden von weiter kaudal angesiedelten Neuronen versorgt [43].

Obwohl die Bedeutung der Subkompartimente bisher nicht geklärt wurde, gibt es Hinweise darauf, dass die Aktivierung motorischer Einheiten innerhalb verschiedener Subkompartimente eine Rolle bei komplexen Bewegungsabläufen spielt. Eine mögliche Erklärung ist, dass die Aktivierung von motorischen Einheiten innerhalb verschiedener Subkompartimente unterschiedliche Kräfte und Zugrichtungen an der gemeinsamen Endsehne ausüben [36].

Die Ansteuerung der Subkompartimente durch eine umschriebene Neuronenpopulation legt nahe, dass die vereinfachte Vorstellung, ein Skelettmuskel kontrahiere *in toto*, wenn er von seinem versorgenden Nerven innerviert wird, der Funktion des Muskels nicht gerecht wird und demonstriert, dass alte Definitionen und Begrifflichkeiten durch zunehmendes Detailwissen ungenau werden. Vor diesem Hintergrund ist auch die Beschreibung des Anfang 2016 neu entdeckten *tensor of the vastus intermedius* einzuordnen. Da es unwahrscheinlich erscheint, dass ein Skelettmuskel dieser Größe bisher übersehen wurde, müssen es die Begrifflichkeiten sein, die sich verändert haben. Abweichend von dem Konzept des neuromuskulären Kompartiments, bei dem die Versorgung durch den Primärast eines peripheren Nerven lediglich ein Subkompartiment des Muskels definiert, reicht ein solcher Nervenast den Entdeckern des *tensor of the vastus intermedius* bereits aus, um diesen als eigenständige Skelettmuskel-Entität zu definieren. Würde dieses Ver-

ständnis der Definition eines eigenständigen Skelettmuskels zugrunde gelegt, wäre es nicht verwunderlich, wenn die Anzahl der neu entdeckten Skelettmuskel-Entitäten in Zukunft stark zunehmen würde.

Auffallend ist, dass bisherige Untersuchungen zur strukturellen Grundlage von Muskelkompartimenten meist nur die Aufspaltung des peripheren Nervens betrachten, der laut allgemeiner Lehrmeinung für die Innervation des untersuchten Skelettmuskels zuständig ist. Die im Rahmen dieser Arbeit in zwei Fällen und im Vorfeld als einmaliger Zufallsbefund beobachtete Innervation des VLO durch einen Nervenast des N. ischiadicus wurde bisher nicht beschrieben. Zusätzlich zu diesem makroskopischen Befund waren in allen histologisch untersuchten dorsalen Gefäßbündeln begleitende Nervenfasern identifizierbar. Legt man die Definition eines neuromuskulären Kompartimentes zugrunde, handelt es sich bei dem VLO nicht um ein Subkompartiment des VL, sondern um eine eigenständige Skelettmuskel-Entität, da er von einem gänzlich anderen peripheren Nerven versorgt wird.

Interessant ist auch, dass der VLO in diesem Falle nicht der Aktivität des Plexus lumbalis, sondern der des Plexus sacralis unterliegt. Der Ruhetonus eines Skelettmuskels hängt unter anderen davon ab, ob die Muskeln mit oder gegen die Schwerkraft arbeiten. So weist die vom N. ischiadicus innervierte ischiokrurale Muskulatur im Stehen einen höheren Ruhetonus auf als der M. quadriceps femoris [44]. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Regulation des Ruhetonus auf Hirnstammebene nicht einzelne Skelettmuskel-Individuen berücksichtigt, sondern ganze Muskelgruppen umfasst [45]. In den Fällen in denen der VLO vom einem Ast des, für die Innervation der ischiokruralen Muskulatur zuständigen, N. ischiadicus innerviert wird, kann dieser demnach unter einem anderen Ruhetonus stehen, als die vom N. femoralis innervierten weiteren Teile des M. quadriceps femoris. Dieser Sachverhalt verdeutlicht, dass die alleinige Betrachtung von Kraftvektoren nicht ausreicht, um die Funktion eines Skelettmuskels abzubilden.

#### **4.5 Ausblick**

In weiteren anatomischen Untersuchungen sollte eine größere Anzahl von Körperspenden auf das Vorhandensein einer dorsalen Innervation des VLO aus dem N. ischiadicus untersucht werden, um einschätzen zu können, ob es sich bei dieser Beobachtung um eine seltene anatomische Variante oder um ein regelmäßig anzutreffendes Phänomen

handelt. Die größere Stichprobe wäre weiterhin für eine bessere quantitative Einschätzung des Ansatzverhaltens und der Typenverteilung des VLO wichtig. Im Gegensatz zur aufwendigen Präparation, die für diese Pilotuntersuchungen notwendig war, könnten diese Parameter dabei gezielt erhoben werden und so rasch ein größerer Stichprobenumfang erzielt werden.

Es ist bekannt, dass alpha-Motoneurone nur einen histochemischen Typ von Muskelfasern versorgen [36]. Aufgrund der gefundenen Innervation des VLO aus dem N. ischiadicus und somit aus anderen *motor nuclei* wäre ein vom VL abweichendes Verteilungsmuster der histochemischen Muskelfasertypen innerhalb des VLO denkbar. Ergänzend zu den makroskopischen und klinischen Untersuchungen sollten aus diesem Grund histologische Untersuchungen vorgenommen werden.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit wurden an fixierten Körperspenden gewonnen. Fukunaga et al. konnten jedoch zeigen, dass nicht alle Aspekte der Skelettmuskelfunktion in anatomischen Untersuchungen abgebildet werden können. So wird beispielsweise der Effekt der Muskelkontraktion und der Einfluss von verschiedenen Gelenkpositionen nicht berücksichtigt und Schrumpfungsprozesse durch die Fixierung können die Muskelarchitektur gegenüber ihrem Zustand *in vivo* verändern [46]. Es sollten daher zukünftig auch *in vivo* Untersuchungen durchgeführt werden. So ließen sich weitere Belege für eine mögliche funktionelle Eigenständigkeit des VLO gegenüber dem VL beispielsweise mit EMG oder bildgebenden Verfahren gewinnen.

## 5 Schlussfolgerung

Die im Rahmen dieser Untersuchung gewonnenen neuen Erkenntnisse legen eine Eigenständigkeit des VLO gegenüber dem VL nahe. Vor allem die bisher nicht beschriebene Innervation des VLO durch einen von dorsal an ihn herantretenden Nervenast aus dem N. ischiadicus und seine unabhängige, ebenfalls von dorsal stammende Blutversorgung können als starke Indizien für eine mögliche Eigenständigkeit gewertet werden.

Neben den Erkenntnissen zur nervalen und vaskulären Versorgung des VLO können auch die erstmalig im Rahmen der morphometrischen Vermessung dieses Muskels gewonnenen detaillierten anatomischen Parameter als Grundlage für weitere Studien dienen. Dies

könnten beispielsweise klinische Fragestellungen zur Pathogenese der Patella-Instabilität, zur endoprothetischen Versorgung des Kniegelenks oder der Verwendung des VL in der rekonstruktiven Chirurgie sein. Darüber hinaus ist ein Einfluss auf diagnostische Untersuchungen wie Muskelbiopsien und EMG-Ableitungen im Bereich des VL denkbar.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Mack PJ. Sphenotemporalis: a new muscle in man. *Journal of Anatomy*. 1984;139 ( Pt 4):587-91.
2. Grob K, Ackland T, Kuster MS, Manestar M, Filgueira L. A newly discovered muscle: The tensor of the vastus intermedius. *Clinical Anatomy*. 2016;29(2):256-63.
3. Weinstabl R, Scharf W, Firbas W. The extensor apparatus of the knee joint and its peripheral vasti: anatomic investigation and clinical relevance. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 1989;11(1):17-22.
4. Gunal I, Arac S, Sahinoglu K, Birvar K. The innervation of vastus medialis obliquus. *Journal of Bone and Joint Surgery (British Volume)*. 1992;74(4):624.
5. Bennett W, Doherty N, Hallisey M, Fulkerson J. Insertion Orientation of Terminal Vastus Lateralis Obliquus and Vastus Medialis Obliquus Muscle Fibers in Human Knees. *Clinical Anatomy* 6:129-134 (1993). 1993:129-34.
6. Panagiotopoulos E, Strzelczyk P, Herrmann M, Scuderi G. Cadaveric study on static medial patellar stabilizers: the dynamizing role of the vastus medialis obliquus on medial patellofemoral ligament. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2006;14(1):7-12.
7. Smith TO, Nichols R, Harle D, Donell ST. Do the vastus medialis obliquus and vastus medialis longus really exist? A systematic review. *Clinical Anatomy*. 2009;22(2):183-99.
8. Speakman HG, Weisberg J. The vastus medialis controversy. *Physiotherapy*. 1977;63(8):249-54.
9. Standring S. *Gray's Anatomy*. 40 ed: Churchill Livingstone Elsevier; 2008;1373-74.
10. Travnik L, Pernus F, Erzen I. Histochemical and morphometric characteristics of the normal human vastus medialis longus and vastus medialis obliquus muscles. *Journal of Anatomy*. 1995;187 ( Pt 2):403-11.
11. Bose K, Kanagasuntheram R, Osman MB. Vastus medialis oblique: an anatomic and physiologic study. *Orthopedics*. 1980;3(9):880-3.
12. Lieb FJ, Perry J. Quadriceps function. An anatomical and mechanical study using amputated limbs. *Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume)*. 1968;50(8):1535-48.
13. Sakai N, Luo ZP, Rand JA, An KN. The influence of weakness in the vastus medialis oblique muscle on the patellofemoral joint: an in vitro biomechanical study. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*. 2000;15(5):335-9.
14. Frosch S, Balcarek P, Walde TA, Schüttrumpf JP, Wachowski MM, Ferleman KG, et al. The Treatment of Patellar Dislocation: A Systematic Review. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie*. 2011;149:630-45.
15. Colvin AC, West RV. Patellar instability. *Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume)*. 2008;90(12):2751-62.
16. Scharf WW, R.; Firbas, W. Anatomische Untersuchungen am Streckapparat des Kniegelenks und ihre klinische Relevanz. *Unfallchirurg*. 1986;89:456-62.
17. Hallisey MJ, Doherty N, Bennett WF, Fulkerson JP. Anatomy of the junction of the vastus lateralis tendon and the patella. *Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume)*. 1987;69(4):545-9.

18. Bevilaqua-Grossi D, Monteiro-Pedro V, Da Cunha Sousa G, Silva Z, Bérzin F. Contribution of the anatomical study of the oblique portion of the vastus lateralis muscle. *Brazilian Journal of Morphological Sciences*. 2004;21(1):47-52.
19. Waligora AC, Johanson NA, Hirsch BE. Clinical anatomy of the quadriceps femoris and extensor apparatus of the knee. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 2009;467(12):3297-306.
20. Farahmand F, Senavongse W, Amis AA. Quantitative study of the quadriceps muscles and trochlear groove geometry related to instability of the patellofemoral joint. *Journal of Orthopaedic Research*. 1998;16(1):136-43.
21. Becker I, Baxter GD, Woodley SJ. The vastus lateralis muscle: an anatomical investigation. *Clinical Anatomy*. 2010;23(5):575-85.
22. Patil S, Grigoris P, Shaw-Dunn J, Reece AT. Innervation of vastus lateralis muscle. *Clinical Anatomy*. 2007;20(5):556-9.
23. Swartz WM, Ramasastry SS, McGill JR, Noonan JD. Distally based vastus lateralis muscle flap for coverage of wounds about the knee. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1987;80(2):255-65.
24. Wang Y, Begue T, Masquelet AC. Anatomic study of the distally based vastus lateralis muscle flap. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1999;103(1):101-3.
25. Wolff KD, Grundmann A. The free vastus lateralis flap: an anatomic study with case reports. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 1992;89(3):469-75; discussion 76-7.
26. Lieb FJ, Perry J. Quadriceps function. An electromyographic study under isometric conditions. *Journal of Bone and Joint Surgery (American Volume)*. 1971;53(4):749-58.
27. Friederich JA, Brand RA. Muscle fiber architecture in the human lower limb. *Journal of Biomechanics*. 1990;23(1):91-5.
28. Blazeovich AJ, Gill ND, Zhou S. Intra- and intermuscular variation in human quadriceps femoris architecture assessed in vivo. *Journal of Anatomy*. 2006;209(3):289-310.
29. Thiel W. Die Konservierung ganzer Leichen in natürlichen Farben. *Annals of Anatomy*. 1992;174:185-95.
30. Thiel W. Ergänzung für die Konservierung ganzer Leichen nach W. Thiel. *Annals of Anatomy*. 2002;184:267-9.
31. Romeis B. *Doppelfärbung mit Hämalaun-Eosin (H&E)*. 17. ed. München, Wien, Baltimore: Urban & Schwarzenberg; 1989.
32. Cerveri P, Marchente M, Manzotti A, Confalonieri N. Determination of the Whiteside line on femur surface models by fitting high-order polynomial functions to cross-section profiles of the intercondylar fossa. *Computer Aided Surgery*. 2011;16(2):71-85.
33. Victor J. Rotational alignment of the distal femur: a literature review. *Orthopaedics & Traumatology, Surgery & Research*. 2009;95(5):365-72.
34. Teichtahl AJ, Parkins K, Hanna F, Wluka AE, Urquhart DM, English DR, et al. The relationship between the angle of the trochlear groove and patella cartilage and bone morphology--a cross-sectional study of healthy adults. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2007;15(10):1158-62.
35. Petersen W, Forkel P, Achtnich A. Chronische patellofemorale Instabilität. *Unfallchirurg*. 2012;115(5):397-409.
36. English AW, Wolf SL, Segal RL. Compartmentalization of muscles and their motor nuclei: the partitioning hypothesis. *Physical Therapy*. 1993;73(12):857-67.

37. Bakkum BW, Russell K, Adamcryck T, Keyes M. Gross anatomic evidence of partitioning in the human fibularis longus and brevis muscles. *Clinical Anatomy*. 1996;9(6):381-5.
38. Bogduk N, Johnson G, Spalding D. The morphology and biomechanics of latissimus dorsi. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*. 1998;13(6):377-85.
39. Segal RL. Neuromuscular compartments in the human biceps brachii muscle. *Neuroscience Letters*. 1992;140(1):98-102.
40. Woodley SJ, Mercer SR. Hamstring muscles: architecture and innervation. *Cells, tissues, organs*. 2005;179(3):125-41.
41. Huijing PA. Architecture of the human gastrocnemius muscle and some functional consequences. *Acta Anatomica*. 1985;123(2):101-7.
42. Weeks OI, English AW. Cat triceps surae motor nuclei are organized topologically. *Experimental Neurology*. 1987;96(1):163-77.
43. Weeks OI, English AW. Compartmentalization of the cat lateral gastrocnemius motor nucleus. *Journal of Comparative Neurology*. 1985;235(2):255-67.
44. De Vries HA. Muscle tonus in postural muscles. *American Journal of Physical Medicine*. 1965;44(6):275-91.
45. Takakusaki K, Chiba R, Nozu T, Okumura T. Brainstem control of locomotion and muscle tone with special reference to the role of the mesopontine tegmentum and medullary reticulospinal systems. *J Neural Transm (Vienna)*. 2016;123(7):695-729.
46. Fukunaga T, Ichinose Y, Ito M, Kawakami Y, Fukashiro S. Determination of fascicle length and pennation in a contracting human muscle in vivo. *J Appl Physiol (1985)*. 1997;82(1):354-8.

## **Danksagung**

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, die mich während des gesamten Studiums und der Anfertigung der Dissertation in jeglicher Hinsicht unterstützt haben. Ohne Euch wäre dies alles nicht möglich gewesen.

Ferner möchte ich mich bei Prof. Dr. Timm Filler für die Möglichkeit bedanken, die vorliegende Dissertation in der Sektion für klinische Anatomie verfassen zu können. Vielen Dank für Deine ewige Geduld und die zahlreichen kriseninterventionellen Gespräche.

Ganz besonders danken möchte ich auch Herrn Robert Kubitza für die tatkräftige Unterstützung im Labor.

## **Eidesstattliche Versicherung**

Ich versichere an Eides statt, dass die Dissertation selbständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erstellt worden ist und die hier vorgelegte Dissertation nicht von einer anderen Medizinischen Fakultät abgelehnt worden ist

Düsseldorf, den 13.11.2016

Kristina Witzki