

AUS DEM INSTITUT FÜR ANATOMIE I
DER HEINRICH-HEINE-UNIVERSITÄT DÜSSELDORF
DIREKTORIN: UNIV.-PROF. DR. MED. DR. RER. POL. S. CASPERS

DIE NEURONALE AUSSTATTUNG
DES MUSCULUS OMOHYOIDEUS

DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG DES GRADES EINES DOKTORS DER MEDIZIN
DER MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
DER HEINRICH-HEINE-UNIVERSITÄT DÜSSELDORF

VORGELEGT VON
JULIA KOSTKA
2025

ALS INAUGURALDISSERTATION GEDRUCKT MIT GENEHMIGUNG DER
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT DER HEINRICH-HEINRICH-UNIVERSITÄT
DÜSSELDORF

GEZ:

DEKAN: PROF. DR. MED. NIKOLAJ KLÖCKER

ERSTGUTACHTER: PROF. DR. MED. TIMM FILLER

ZWEITGUTACHTER: PROF. DR. MED. HUBERT SCHELZIG

ZUSAMMENFASSUNG

EINLEITUNG Der *Musculus omohyoideus* (*M. OMH*) ist zwischen zwei hochbeweglichen Knochen, dem *Os hyoideum* und der *Margo superior* der *Scapula*, aufgespannt. Er bildet die laterale Begrenzung der mittleren Halsfaszie, der *Lamina praetrachealis*. Seine benannte Funktion soll durch Zug an seinem Ansatz, dem *Os hyoideum*, der Unterstützung des Schluckaktes dienen und durch die Verbindung der Zwischensehne mit der *Vagina carotica* die Öffnung der darin enthaltenen *Vena jugularis interna* sichern [28, 119]. Physikalisch betrachtet ist er jedoch nicht am Schluckakt beteiligt. Seine bisher nicht beschriebene neuronale Ausstattung soll analysiert werden, um seine tatsächliche Funktion weiter zu erklären.

MATERIAL UND METHODEN Es wurden die *Musculi* (*Mm.*) *OMH* sowie exemplarisch andere parallelfasrige Muskeln (*Mm. pronator quadratus, sartorius, sternocleidomastoideus und vastus lateralis*) von 14 Körperspendern (acht ♀ und sechs ♂) entnommen. Daraus entstanden Längs- und aus definierten Bereichen des Ursprunges (U), des *Venter inferior* (VP), der Zwischensehne (ZS), des *Venter superior* (VD) und des Ansatzes (A) des *M. OMH* Querschnitte, welche lichtmikroskopisch auf Propriozeptoren (Ruffini-Körperchen (RK) und Muskelspindeln (MS)) analysiert wurden. Zur Auswertung wurden die Schnittebenen topographisch kartiert, die Häufigkeiten verglichen und die Quantitäten sowie Qualitäten mit den Vergleichsmuskeln statistisch gegenübergestellt.

ERGEBNISSE Insgesamt wurden 117 RK und 306 MS in einer untersuchten Gesamtfläche von 347,2 Quadratcentimetern (cm²) Muskelproben gefunden. Die meisten RK lagen frei im Muskelgewebe, wo sie bislang wenig dokumentiert sind, und zu 22 % gefäßassoziiert. MS lagen zu ca. 1/3 je frei im Muskelgewebe, an Gefäßen oder Nerven. Alle Schnittebenen wiesen signifikante Unterschiede der MS pro cm²-Fläche auf im Vergleich zum U. Der *mediodorsale* und *lateroventrale* Bereich waren Rezeptiv dichter ausgestattet (0,82 RK/cm² und 2,67 MS/cm² sowie 0,97 RK/cm² und 2,57 MS/cm²). Außerdem wies der *M. OMH* deutlich mehr Propriozeptoren (2,01 RK/cm², 6,5 MS/cm²) als die Vergleichsmuskeln (0,12 RK/cm², 0,31 MS/cm²) auf.

SCHLUSSFOLGERUNG Im *M. OMH* konnte in den Bereichen des A, des VD, der ZS und des VP eine hohe propriozeptive Dichte nachgewiesen werden. Diese Bereiche bilden die laterale Aufhängung der *Lamina praetrachealis* und zugleich ist die ZS dorsal mit der *Vagina carotica* verwachsen. Die MS dominieren über den RK in allen Schnittebenen. Mit dieser Relation liegt der Rückschluss nahe, dass der *M. OMH* als Sensor vor Überdehnung bei maximaler Kieferöffnung dient. Dieser Befund unterstützt auch die Theorie seiner Beteiligung am Gähnreflex. Die hohe Dichte an RK könnte zudem für die Bestimmung der Lage des Kopfes im Raum bedeutsam sein.

ABSTRACT

INTRODUCTION The omohyoid muscle (M. OMH) is stretched between two highly mobile bones, the hyoid bone and the superior border of the scapula. It forms the lateral boundary of the middle cervical fascia, the lamina praetrachealis. Its described function is to assist in swallowing by pulling on its insertion, the hyoid bone, and to ensure the opening of the internal jugular vein contained within the carotid sheath via its connection with the intermediate tendon [28, 119]. However, from a physical standpoint, it is not involved in the act of swallowing. Its previously undescribed neuronal supply will be analyzed to clarify its function further.

MATERIAL AND METHODS The omohyoid muscles (Mm.) as well as other parallel-fibered muscles (pronator quadratus, sartorius, sternocleidomastoid, and lateral vastus) from 14 body donors (eight ♀ and six ♂) were sampled. Longitudinal sections and cross sections from defined areas of origin (U), inferior belly (VP), intermediate tendon (ZS), the superior belly (VD), and insertion (A) of the M. OMH were created and analyzed under light microscopy for proprioceptors (Ruffini corpuscles (RK) and muscle spindles (MS)). The sectional planes were topographically mapped, the frequencies compared, and the quantities and qualities statistically compared with the reference muscles.

RESULT A total of 117 RK and 306 MS were found in the examined total area of 347.2 square centimeters (cm²) in the muscle samples. Most RK were found freely between muscle tissue, which was formerly scarcely documented, and 22 % were associated with blood vessels. Approximately one-third of the MS were found freely in the muscle tissue, associated with vessels or nerves. All sectional planes showed significant differences in MS per cm² in comparison to the origin. The medio-dorsal and latero-ventral regions had a higher receptor density (0,82 RK/cm² and 2,67 MS/cm², as well as 0,97 RK/cm² and 2,57 MS/cm²). Additionally, the M. OMH had significantly more proprioceptors (2,01 RK/cm², 6,5 MS/cm²) than the reference muscles (0,12 RK/cm², 0,31 MS/cm²).

CONCLUSION In the M. OMH, a high proprioceptive density was demonstrated in all areas except the insertion area. These specific areas form the lateral suspension of the praetracheal lamina, and at the same time the ZV is dorsally fused with the vagina carotica. The MS dominated over RK in all sectional planes. This relationship suggests that the M. OMH serves as a sensor against overstretching at maximum jaw opening. This finding also supports the theory of M. OMH involvement in the jaw reflex. The high density of RK could also be significant for determining the position of the head in space.

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

%	Prozent
µm	Mikrometer
A.	Arterie/ <i>Arteria</i>
A	Ansatz/ <i>Insertion</i>
ACI	Arterie/ <i>Arteria carotis interna</i>
bzw.	Beziehungsweise
C°	Grad Celsius
ca.	Circa
cm	Zentimeter
cm ²	Quadratcentimeter/ <i>Square centimeters</i>
et al.	<i>Et alii</i>
EvG	Elastika-van-Gieson
g	Gramm
HE	Hämatoxylin-Eosin
M	Muskel/ <i>Musculus</i>
Mm	Muskeln/ <i>Musculi</i>
min	Minute/Minuten
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MS	Muskelspindel/Muskelspindel/ <i>Muscle spindles</i>
N.	Nerv/ <i>Nervus</i>

OMH	<i>Omohyoideus/Omohyoidei</i>
PBS	Phosphatgepufferte Salzlösung/ <i>Phosphate-buffered saline</i>
PQ	<i>Pronator quadratus</i>
R	Regression
RK	Ruffini-Körperchen/ <i>Ruffini corpuscles</i>
SAR	<i>Sartorius</i>
STCL	<i>Sternocleidomastoideus</i>
U	Ursprung/Origin
V.	Vene/ <i>Vena</i>
VAS	<i>Vastus lateralis</i>
VD	<i>Venter distal/Venter superior/Superior belly</i>
VJI	Vene/ <i>Vena jugularis interna</i>
VP	<i>Venter proximal/Venter inferior/Inferior belly</i>
vgl.	<i>vergleiche</i>
z. B.	Zum Beispiel
ZS	Zwischensehne/ <i>Intermediate tendon</i>

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG	2
1.1 HINTERGRUND	2
1.2 KLINISCHE RELEVANZ	2
1.3 ANATOMIE	8
1.4 HISTOLOGIE DER PROPRIOZEPTOREN	11
1.4.1 RUFFINI-KÖRPERCHEN	12
1.4.2 MUSKELSPINDELN	15
1.5 ZIELSETZUNG	19
2 MATERIAL UND METHODEN	20
2.1 PRÄPARATION	20
2.2 HISTOLOGISCHE SCHNITTE	25
2.3 FÄRBUNGEN	26
2.3.1 HÄMATOXYLIN-EOSIN-FÄRBUNG	27
2.3.2 ELASTIKA-VAN-GIESON-FÄRBUNG	28
2.3.3 AZAN-FÄRBUNG	29
2.3.4 IMMUNHISTOCHEMISCHE FÄRBUNGEN	30
2.4 VISUALISIERUNG	34
3 AUSWERTUNG	35
3.1 HYPOTHESEN	35
3.2 VERGLEICH DER TOPOGRAFIE VON RUFFINI-KÖRPERCHEN UND MUSKELSPINDELN IM M. OMOHYOIDEUS	36
3.3 VERGLEICH DES VORKOMMENS VON RUFFINI-KÖRPERCHEN UND MUSKELSPINDELN IM M. OMOHYOIDEUS UND ANDEREN PARALLELFASERIGEN MUSKELN	45
3.4 ZUSAMMENHANG ZWISCHEN RUFFINI-KÖRPERCHEN UND MUSKELSPINDELN IM M. OMOHYOIDEUS	47
4 DISKUSSION	50

4.1 ERGEBNISSE	50
4.1.1 HYPOTHESE 1	50
4.1.2 HYPOTHESE 2	52
4.1.3 HYPOTHESE 3	53
4.2 METHODENKRITIK	56
4.3 SCHLUSSFOLGERUNG	57
LITERATUR	60
ANHANG	70
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	70

1 EINLEITUNG

1.1 HINTERGRUND

Der *Musculus (M.) omohyoideus* (OMH) entstammt der Gruppe der *infrahyalen* Muskeln, womit er den Leitstrukturen der Entwicklungsgeschichte der Säugetiere zuzuordnen ist [6, 28, 29, 104, 119]. Dieser ist schmal und eher unscheinbar, da er keine lebenswichtige oder systemisch relevante Funktionalität zu haben scheint. Sein histologischer Aufbau wurde bisher nicht hinreichend dokumentiert.

Entwicklungsgeschichtlich entsteht er aus einer *caudalen* und *cranialen* Anlage, die sich für diese serielle Anordnung finden müssen, denn er gehört zu der seltenen Gruppe der *Biventer* [77, 117]. Typischerweise parallelisieren sich neu zusammengesetzte Muskeln, was aufgrund von mechanischen Belastungsmustern leichter ist [2]. Erst nach der Zusammenführung beider Bäuche entsteht die Zwischensehne [55]. Aufgespannt zwischen zwei hochbeweglichen Knochen sehr unterschiedlichen Gewichtes, hat er in dieser Beziehung kein Pendant und hat mechanisch allenfalls Einfluss auf die Bewegung des *Os hyoideum*, ist aber aufgrund seines variablen *caudodorsalen* Ansatzes physikalisch hierfür nur bedingt geeignet [6, 28, 63, 64]. In der Standardliteratur wird seine Funktion in der Unterstützung des Schluckaktes durch den Zug am *Os hyoideum* deklariert, was eher die restlichen *infrahyalen* Muskeln leisten [6, 28, 29, 104, 119]. Nicht nur sein Ansatz am *Os hyoideum* weist eine bemerkenswerte Variationsbreite auf, sondern auch sein Ursprung, seine Größe, Breite sowie die Anzahl der Bäuche [43, 54, 109]. Auffällig ist weiter, dass er *dorsoventral* zieht, ebenfalls eher ein selteneres Verhalten [2]. Dabei befindet sich die Zwischensehne direkt hinter dem *M. sternocleidomastoideus* (*M. STCL*), was eine interessante Lagebeziehung ohne bisherige Erklärungsansätze darstellt [6, 28, 29, 104, 119].

Die Lehrbuchliteratur schreibt dem Muskel als weitere Funktion das Offenhalten der *Vena jugularis interna* (*VJI*) zu, was bei einer großen Vene des Kopfes aufgrund der Schwerkraft nicht erforderlich scheint, auch weil diese bereits ein großes Lumen besitzt, das sich, wie beim Valsava-Pressversuch ersichtlich, bei Bedarf deutlich erweitern kann [4, 82]. Der Verlauf des Muskels zur Vene ist spitzwinklig mit einer geringen Kontaktfläche und hat somit, physikalisch gesehen, eine geringere Auswirkung auf das Lumen [6, 28, 29, 104, 119]. Außerdem befindet sich direkt unterhalb seiner Kreuzung mit der *VJI* eine Venenklappe, die im Zweifelsfall ein Leerlaufen sichern würde [103]. Umgekehrt ist er in seinen Bewegungen über die *Lamina praetrachealis*, der *Fascia cervicalis*, deren *laterale* Aufhängung er bildet, zwangsgekoppelt an sein kontralaterales Gegenstück, sodass sein Bewegungsmaß gering ist [6, 28, 29, 104, 119].

1.2 KLINISCHE RELEVANZ

Der *M. OMH* kann trotz seines unscheinbaren Erscheinungsbildes Beschwerden auslösen und wird in der Literatur für mehrere Pathologien verantwortlich gemacht. Das folgende *Review* aus einigen wissenschaftlichen Artikeln und *Case reports* von Fachzeitschriften gibt einen Überblick über diverse Veränderungen, die mit dem *M. OMH* im Zusammenhang stehen sowie über seine klinische Relevanz. Es zeigt, dass dieser Muskel durchaus vielfältig ist und Ärztinnen und Ärzte diverser Fachrichtungen mit ihm in Berührung kommen können.

So beschreibt das *omohyoidale* Muskelsyndrom das Hervorquellen des *M. OMH* beim Schluckakt, was die Betroffenen kosmetisch sehr stört, insbesondere wenn, wie in den meisten Fällen, nur eine Seite betroffen ist und zudem Schmerzen beim Schluckakt verursacht [110, 121]. Man geht davon aus, dass der Muskel entweder degeneriert und so seine Fähigkeit zur Dehnung oder Relaxation verliert oder er durch verschiedene Umstände *dorsal* mit seiner Zwischensehne nicht mehr an der *Lamina praetrachealis* sondern mit dem über ihm liegenden *M. STCL* gekoppelt ist [57, 122]. Dadurch wird dieser beim Schluckakt passiv hochgedrückt, sodass eine muskuläre Wulst zum Vorschein kommt [122]. In einigen Fällen kommt es zusätzlich dadurch zu einer Veränderung der Stimmfarbe oder Schmerzen in diesem Bereich [110]. Teilweise wird dabei die *Trachea* durch den Zug nach *lateral* verlagert [66]. Die Therapie besteht neben Injektion von Lokalanästhetika oder Botulinumtoxin auch in der Möglichkeit einer operativen Intervention [110]. Ein Weg, der kosmetisch besonders schöne Ergebnisse liefern soll, ist die laparoskopische Operation [110]. Der fibrotisch veränderte Muskel wird dabei quer am oberen und am unteren Bauch inzidiert [57, 110, 122].

Als weitere Pathologie wird vom *myofaszialen Omohyoid-Schmerzsyndrom* berichtet. Ein solches Schmerzsyndrom ist theoretisch an jedem Muskel des Körpers möglich und entsteht durch intensive Überbelastung des Muskels [95]. Beim *M. OMH* wird eine solche Überbeanspruchung zum Beispiel (z. B.) durch starke *Emesis*, durch Verletzungen der Halswirbelsäule oder der Muskulatur verursacht, wie sie beispielsweise im Rahmen eines Schleudertraumas entstehen kann [95]. Aber auch chronische muskuloskelettale Erkrankungen im Sinne eines rheumatoiden Geschehens können eine solche Überlastung bedingen [95]. Diese führt schließlich zu Schmerzen, die in alle umliegenden Gebiete wie Schädel, Hals-Nacken-Schulter-Muskulatur sowie den *Thorax* oder die oberen Extremitäten ausstrahlen können [18, 95]. Abhilfe wird durch Triggerpunkt-Massagen, Relaxationstherapien mit Wärme und Kälte oder *Kinesio-Tapes* im Bereich der *lateralen* Halsmuskulatur geschaffen [18, 95].

Der *kongenitale Torticollis*, der vorrangig durch eine Verkürzung des *M. STCL* verursacht wird, kann ebenfalls durch eine Kontraktur oder fibrotische Veränderung des *M. OMH* bedingt sein [87, 105]. Sein Zug am *Hyoid-Knochen* kann im Falle einer ausgeprägten *Fibrose* so stark sein, dass er neben einer Schiefstellung des *cervicofaszialen* Bereiches eine Kehlkopf-*Trachea*-Verlagerung verursachen kann [87, 105].

Weiter wird über die chronische *cerebrospinale* venöse Insuffizienz berichtet. Diese beruht auf einer Enge des *cerebralen* Abflusses über die *VII*, welche unter anderem durch einen abnormen *M. OMH* bedingt sein kann, der durch seine

Lagebeziehung zur *VJI* diese in ihrer Ausdehnung einschränkt [106]. Simka *et alii* (*et al.*) schrieben von einer Theorie, dass ein daraus resultierender insuffizienter Blutfluss die Progredienz einer Erkrankung mit *Multipler Sklerose* negativ beeinflussen könnte [106]. Auch andere Autoren hatten ähnliche Vermutungen, dass ein verminderter venöser Rückfluss wie bei einer chronischen *cerebrospinalen* venösen Insuffizienz, kurz *CCSVI* genannt, einige Pathologien bedingen könnte [7]. Die Hypothesen umfassten eine Erhöhung des venösen Drucks im Bereich der *cerebrospinalen* venösen Gefäße mit einer Steigerung des *intracerebralen* Drucks sowie durch *intracerebralen* Rückstau einerseits die Ansammlung von Metaboliten, vor allem Eisen wie Hämosiderin, und andererseits den verstärkten Durchtritt dieser Metabolite durch Schäden an der Blut-Hirn-Schranke in das umliegende Gewebe mit bedingter *intracerebraler Inflammation* und Neurodegeneration [7, 106]. Allerdings ergaben die Untersuchungen über die Progredienz der Erkrankung auch nach interventioneller Dilatation und in experimentellen Legierungen der Gefäße in Tierversuchen keinen signifikanten Beleg für diese Annahmen [7, 106]. Eine andere Theorie stellte einen ähnlichen Zusammenhang zum *Morbus Menière* her, ebenfalls aufgrund des veränderten Blutabflusses [86]. Auffällig ist bei solchen Berichten die Erkenntnis, dass Menschen mit *Multipler Sklerose* oder dem *Morbus Menière* scheinbar häufiger Anomalien des venösen *cerebralen* Abflusses aufweisen als die Vergleichsgruppen ohne eine solche Erkrankung [86, 106]. Aus diesem Grund war man der Annahme, eine *CCSVI* könnte der Grund für eine *Multiple Sklerose* sein und deren Behandlung auch die Erscheinung der *Multiplen Sklerose* verringern [7, 125]. Die Dekompression der verengten *VJI* aufgrund des *M. OMH* und folglich auch die Dilatation dieser aufgrund einer *CCSVI* kann konservativ durch physiotherapeutische Behandlungen, operativ durch dessen Inzision oder per *perkutane transluminale Angioplastie (PTA)* behandelt werden [7, 86, 106]. Bei beiden Erkrankungen kam es den Berichten und Studien zufolge, nach der Therapie zu einer nachweislichen Erweiterung des Lumens der *VJI* und einem messbar schnelleren Blutfluss [7, 106]. Nach den Artikeln von Piraino *et al.* beziehungsweise (bzw.) Simka *et al.* verbesserte sich durch die Intervention die *Morbus Menière*-Symptomatik, während sie jedoch keinen signifikanten Einfluss auf den Verlauf der *Multiplen Sklerose* zeigte [7, 51, 86, 106].

Infracervikale Muskeln werden neben anderen möglichen Muskeln wie z. B. dem *M. latissimus dorsi* seit Jahrzehnten für diverse Deckungen nach operativen Defekten im Rahmen von operativen Entfernungen, unter anderem von *oralen* oder *oropharyngealen* Tumoren, verwendet [97, 100]. Je nach Einsatzort werden entweder *musculocutaneale* Lappen, bestehend aus Haut mit dem darunter liegenden Muskel, oder reine muskuläre Anteile genutzt [22]. Hierzu eignet sich der *M. OMH* als eine Option, da er sich durch seine Morphologie besonders für kleinere Plastiken eignet, wie z. B. zur Deckung von Defekten der Stimmbänder ebenso wie zur gestielten Schwenkplastik im Bereich des *oropharyngealen* Raumes, bei der die vasculäre Versorgung des *Venter superior* über die *Arteria (A.) thyroidea superior* und des *Venter inferior* über die *A. thyroidea inferior* erhalten werden kann [36, 79, 100]. In einer Studie, die Chotipanich *et al.* mit 34 Probanden beschrieb, die eine *infracervikale* Lappenplastik zur Defektdeckung nach Resektion eines *oralen* Tumors

erhielten, zeigte sich ein nahezu 30-prozentiges Risiko für eine *Inflammation* oder einer partiellen Insuffizienz der Plastik [22]. Diese entstanden durch Resektion von kleinsten und Verwendung nur der größeren Gefäße und damit labileren venösen Abflussverhältnissen, welche jedoch konservativ behandelt werden konnten und nach Abschluss der Wundheilung zufriedenstellende Ergebnisse erbrachten [22]. Im Bereich des *Larynx* nach einer vollständigen *Laryngektomie* mit partiellem *Larynxdefekt*, wie nach der operativen Entfernung eines *Larynxkarzinoms*, kann ein solcher Defekt mit einem *omohyoidalen myofaszialen* Lappen behoben werden [19]. Der Vorteil ist, dass an beiden Seiten der *M. OMH* an dessen Ansatz am *Os hyoideum* belassen werden kann und nach Durchtrennung der Muskeln an beiden Seiten etwa 1-2 cm *caudal* der Zwischensehne nach *dorsal* zum *Larynxdefekt* verlegt werden kann [19]. Die Rekonstruktion des entfernten Gewebes erfolgt mittels Adaption der unteren Bäuche des *M. OMH* an das verbliebene gesunde Gewebe [19]. Postoperativ kam es zu einer raschen Epithelialisierung des Transplantates und im Vergleich zu anderen Defektplastiken zeigte sich keine drastische Änderung der Stimmfarbe [19, 22].

Nicht nur nach Beseitigung von *Karzinomen* im Bereich des Kopfes und des Halses kann der *M. OMH* genutzt werden, sondern auch bei anderen operativen Eingriffen in diesen Regionen, wie dem Verschluss einer *Ösophagusperforation* [79]. Ähnlich wie beim *Larynxdefekt* wird eine Schwenkplastik des oberen Bauches in der Region des Defektes mit Belassen seiner Anbindung an die Vaskularisation verwendet, wodurch eine komplikationsfreie Heilung von kleineren Perforationen ermöglicht wird [36, 111].

Ähnlich zur *Ösophagusperforation* eignet sich der Muskel auch zum Flickern von postoperativen *Chylusfisteln*, wie sie nach einer radikalen *Neck-Dissection* entstehen können, bei denen Lymphflüssigkeit austritt [127]. Solche Fisteln sind nur schwer zu verschließen, da die Lymphgefäße oft sehr dünne Wände aufweisen, die beim Übernähen direkt wieder einreißen können [72]. Ein Leck kann bis ins *Mediastinum* und den *Thorax* drainieren und zu schwerwiegenden sowie lebensbedrohlichen Komplikationen führen [65, 72]. Denn die Lymphe ist eine lipidhaltige Flüssigkeit, die verschiedene Stoffe und metabolische Produkte des Intrazellulärraumes oder des Verdauungstraktes transportiert, was in diesem Fall als *Chylus* bezeichnet wird [72]. Für eine solche *Leckage* kann der *M. OMH* zur operativen Versorgung genutzt werden, indem auch hier der obere Muskelbauch inzidiert und wie oben beschrieben, geschwenkt wird [79]. Da sich dieser bereits im Operationsgebiet befindet und leicht verfügbar ist, stellt er eine einfache und zuverlässige Möglichkeit zum Verschluss eines *Chyluslecks* dar [127].

Im Bereich des *lateralen* Halses finden sich viele relevante Strukturen wie *A. carotis interna (ACI)*, *VII* und die *Ansa cervicalis* [6, 28, 29, 104, 119]. Die Verletzung oder Durchtrennung dieser Strukturen kann bei diversen Operationen wie der *Thyroidektomie*, der *Parathyroidektomie*, *Neck-Dissection* und anderen chirurgischen Eingriffen im Bereich des *lateralen* Halses zu schweren Konsequenzen führen [81, 123]. Die Lagebeziehung des *M. OMH* als *laterale* Aufhängung der *Lamina praetrachealis*, der *Fascia cervicalis*, kann hilfreich sein zur Sicherung der *Vagina carotica*, welche die *Carotiden*, die *VII* und den *Nervus (N.) vagus* umschließt [6, 28, 29, 104, 119]. Des Weiteren liegt die Schleife der *Ansa cervicalis* in direkter

Nachbarschaft zum oberen Bauch des *M. OMH* [10, 80]. Nach der Untersuchung von Mwachaka *et al.* befindet sich die Schleife in den meisten Fällen direkt über dem oberen Bauch des *M. OMH* [80], während sie nach der Untersuchung von Bellier *et al.* meistens unterhalb von diesem lokalisiert ist [10]. Hieraus wird deutlich, dass die tatsächliche Lage der Schleife nicht explizit genannt werden kann, da diese eine enorme Variabilität aufweist. Der *N. suprascapularis* vom *Plexus brachialis* steht ebenfalls in Beziehung zum *M. OMH*, denn dieser verläuft in Richtung des *M. OMH* und parallelisiert sich im Verlauf mit dessen unterem Bauch auf seinem Weg nach *dorsal* zur *Scapula* [6, 8, 14, 28, 29, 58, 104, 119]. Die Möglichkeit, diesen Nerven anhand des *M. OMH* rasch auffinden zu können, ist bedeutend bei der Durchführung einer Regionalanästhesie oder der Behandlung von ihm ausgehenden Neuropathien [14, 58].

In der Geschichte der Medizin war die Stellung des *M. OMH* von Bedeutung bei der inzwischen veralteten Klassifikation der Lymphknotenstationen zur Abgrenzung der *zervikalen* Lymphknotenstationen III und IV [71]. Dabei war der *M. OMH* bei seiner Kreuzung der *Vagina carotica* einerseits der Boden der Lymphknotenstation III und andererseits das Dach der Station IV [71]. Immer wieder wurde die Einteilung der Lymphknoten, die in der Historie von Männern wie Crile 1906, Martin *et al.* 1951 und Medina *et al.* 1989 geprägt wurde, überarbeitet und im Laufe der Jahre modernisiert [68, 71]. In der aktuellen Klassifikation des *Neck Dissection Committee of the American Head and Neck Surgery and Oncology*, kurz *AHNS*, und nach offizieller Anpassung durch Robbins *et al.* wird das *Os hyoideum* als Trennstruktur genutzt, da dieser aus radiologischer Sicht einfacher zu erfassen ist als der Kreuzpunkt des Muskels [98, 99, 112]. In seiner Anatomie zeigt der *M. OMH* eine große Variabilität [31, 37, 54, 56, 75, 92, 93, 107, 109, 113, 115, 118]. Aufgrund seiner Lagebeziehung, wie oben beschrieben, bietet er ausreichend Gelegenheiten, ihn während Eingriffen als Orientierungspunkt zu nutzen [31]. Allerdings kann er in seiner Morphologie stark von der Norm abweichen und deshalb nicht immer als zuverlässige Landmarke dient [31]. Aus diesem Grund wurde der *M. OMH* als Grenze für die Lymphknotenstationen verworfen, da er keinen Einfluss auf die Hierarchie der Lymphknotenstationen hat [75].

Entwicklungsbedingt entsteht der *M. OMH* beim Fetus im Bereich der *medialen Clavicula* und wandert im Verlauf der *Fetalperiode* zur *Scapula*, ebenso wie die Zwischensehne, die erst nach der Verschmelzung beider *Venter* entsteht, welche mögliche Erklärungen für die anatomische Variabilität sein könnten [44, 55, 102]. Beispielweise zeigte die Untersuchung von Rai *et al.* an 35 Verstorbenen, dass zwar zu 85 Prozent (%) eine Normvariante vorliegt, die der heutigen Standardanatomieliteratur entspricht, jedoch zu 15 % eine Variabilität in Bezug auf Ansatz, Ursprung und Morphologie besteht [92]. Bereits seit mehr als 100 Jahren beschreiben einige Autoren wie Langsam 1941, Yamada *et al.* 1960 oder Sukekawa *et al.* 2006 anatomische Varianten des Muskels und erstellten Einteilungen in einen Standardtypus sowie in bis zu sechs häufig entdeckte Variationen [62, 74, 75, 109, 124]. Die anatomische Abweichung des *M. OMH* ist keine Rarität, denn auch andere Muskeln des menschlichen Körpers können verschiedene Variation aufweisen [50]. In einem Fall

wird vom Fehlen beider kompletter *Mm. OMH* bei gleichzeitig vorliegender Duplikatur des *M. digastricus* berichtet [126].

Viele Autoren sind sich in einigen publizierten Artikeln und Studien nicht einig, ob der *M. OMH* nicht mehr oder andere Aufgaben haben könnte als angenommen [82, 91]. So führten Patra *et al.* eine Studie mit 120 Messungen per Dopplersonographie des Querschnittes der *VJI* durch, um die Hypothese zu prüfen, ob der *M. OMH* durch seine Kontraktion Auswirkungen auf den Durchmesser der *VJI* haben könnte, die durch die *Vagina carotica* mit der Zwischensehne des *M. OMH* verbunden ist [6, 28, 29, 33, 82, 104, 119]. Dabei stellte sich heraus, dass eine Kontraktion des Muskels eine Kompression der *VJI* an deren Berührungspunkt und cranial von dieser Kompression eine stauungsbedingte Volumenzunahme der *VJI* erzeugt [82]. Ähnliches beschrieben Simka *et al.* im Zusammenhang mit einer pathologisch gesteigerten Kontraktur des *M. OMH* [106]. Laut Patra *et al.* könnte eine mögliche Erklärung hierfür die Verhinderung des Rückflusses des Blutes sein, ähnlich einer Art Venenklappe bei Aktivierung des *M. OMH* wie beim Gähnen oder Lachen, wobei es zu *thorakaler* oder *abdomineller* Druckerhöhung kommt [82, 91]. Andere

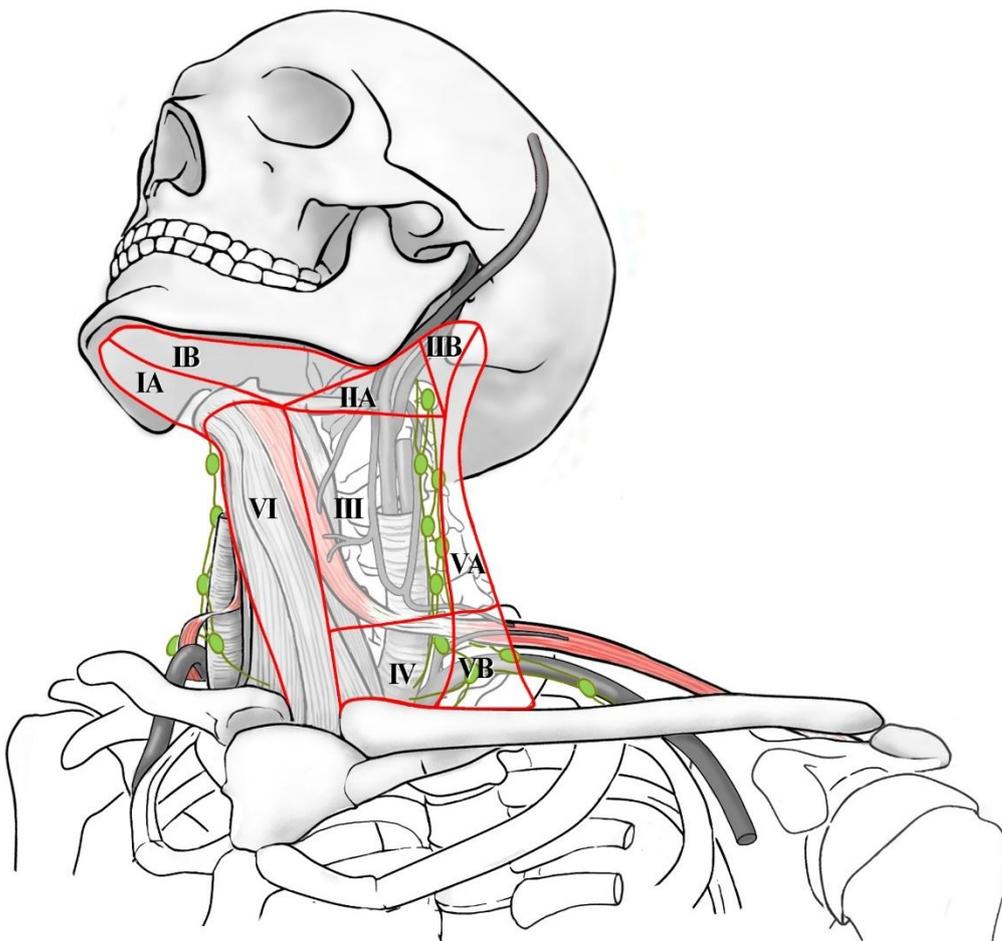
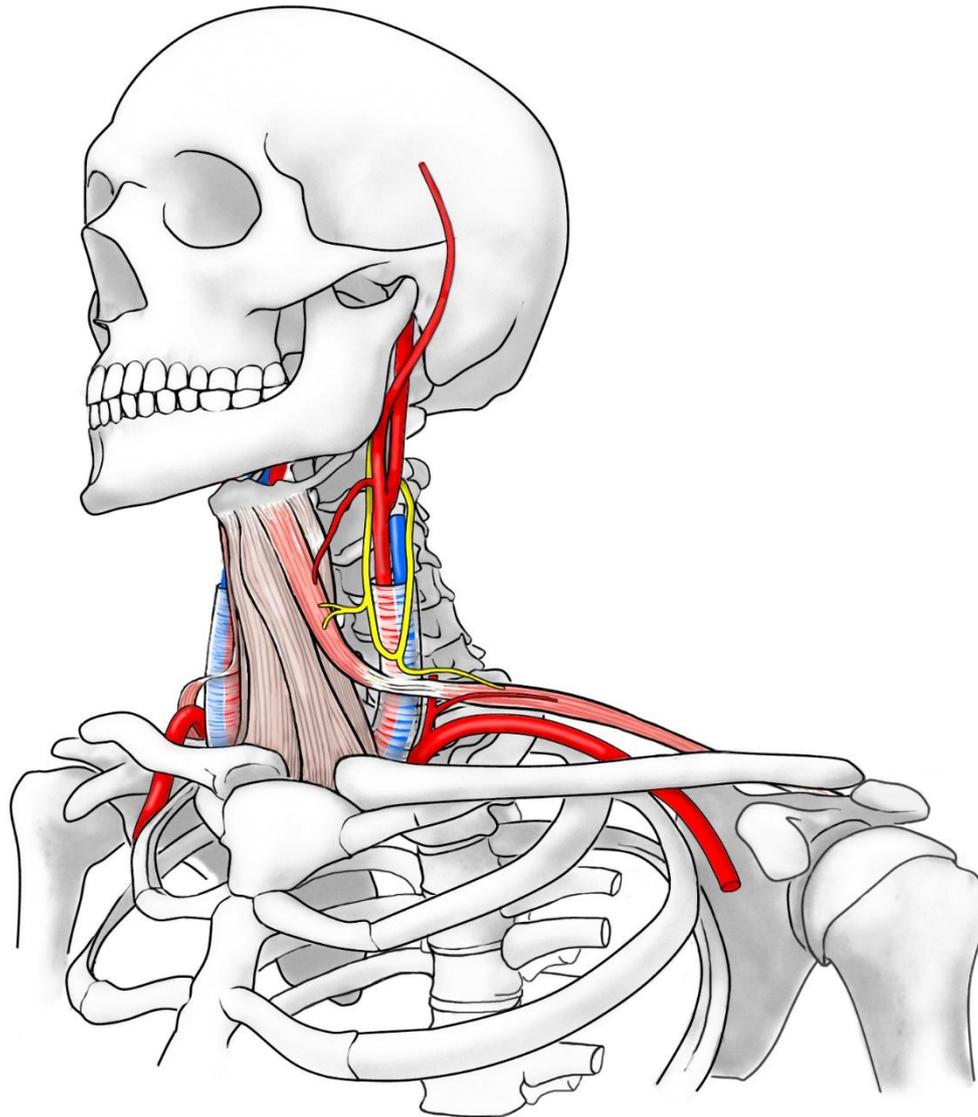


ABBILDUNG 1.1: Ansicht der Lymphknotenstationen mit der aktuellen Einteilung zur *Neck-Dissection* gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler [112]. Die Darstellung zeigt zusätzlich, dass der *M. OMH* die Lymphknotenstationen III und IV voneinander trennt und so als Landkarte genutzt wurde.

Autoren wie Giancesini *et al.* beschrieben einen Fall, bei dem der Längsverlauf der *VJI* bei geschlossenem und geöffnetem Kiefer duplexsonografisch betrachtet wurde mit dem Resultat einer Volumensteigerung der *VJI* durch die Kontraktion des *M. OMH* und den dadurch bedingten Zug an der *Vagina carotica* mit nachfolgender konsekutiver Erhöhung des Blutstromes in die *Vena (V.) cava superior* nach Kieferschluss [34, 76]. Dieses Phänomen ließ die Vermutung aufkommen, einen Zusammenhang zwischen dem Gähnen, bei dem der Kiefer zwangsläufig maximal geöffnet ist, und einem nachfolgend gesteigerten venösen Rückfluss ziehen zu können [34, 76, 106]. Das Gähnen wurde in der medizinischen Geschichte bereits mehrfach untersucht und es existieren mehrere Ansätze über die Auslöser und den Sinn dieses Reflexes, jedoch ist dieses Phänomen auch heute nur unzureichend geklärt [5, 30, 38, 89]. Eine Steigerung des Blutflusses während des Gähnens mit dem Effekt der Steigerung der *kardialen* Vorlast und damit des Herzzeitvolumens zur schnelleren Elimination des Kohlenstoffdioxids aus dem venösen Blut konnte in der Versuchsreihe von Provine *et al.* nicht nachgewiesen werden, jedoch zeigten zahlreiche Untersuchungen von Gallup *et al.* an Menschen und Tieren eine Korrelation zwischen dem Gähnen und der cerebralen Temperaturreduktion im direkten Anschluss an das Gähnen [32, 34, 38, 69, 76, 89, 94, 106].

1.3 ANATOMIE

Der *M. OMH* gehört neben dem *M. sternohyoideus*, *M. sternothyroideus* und dem *M. thyrohyoideus* zur *infrahyalen* Muskulatur. Seine Morphologie und sein anatomischer Verlauf machen ihn zu einer Besonderheit. Er ist einer der wenigen Muskeln, die zur Gruppe der *Biventer* gehören. Diese sind alle über eine zentrale Sehne, die beide Bäuche miteinander koppelt, verbunden. Der *M. OMH* entspringt an der *Margo superior* der *Scapula*, direkt *medial* der *Incisura scapulae*, und setzt am *caudalen* Rand des *Os hyoideum lateral* des Ansatzes des *M. sternohyoideus* an. Beide Knochen sind sehr beweglich und werden durch Muskeln in ihrer Position gehalten. Das *Os hyoideum* ist in seiner Funktionalität besonders auf seine muskuläre Aufhängung angewiesen, da es keinen gelenkigen Kontakt zu einem anderen Knochen hat. Der Verlauf des *M. OMH* von der *Scapula* mit dem *Venter inferior* zieht nach *ventrocranial*. Etwa in seiner Mitte geht er in die Zwischensehne über, wobei



dieser Bereich eine hohe Variabilität hat. Der Bereich, wo die Zwischensehne be-

ABBILDUNG 1.2: Darstellung der anatomischen Lage und des Verlaufes des *M. OMH* gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler. Diese zeigt die Innervation des Muskels über den *Plexus cervicalis* und seine Perfusion über die *A. thyroidea superior* und *inferior*. Die Zwischensehne liegt im Bereich der *Vagina carotica*

ginnt, ist unbeständig, ebenso befindet sich diese nicht immer mittig und kann teilweise vollständig fehlen. Die Zwischensehne kann ebenfalls in Länge und Breite variieren. Ungefähr auf dieser Höhe überkreuzt der *M. STCL* den Bereich der Zwischensehne. Weiter im Verlauf nach der Zwischensehne ändert der Muskel leicht seine Richtung, sodass ein stumpfer Winkel zwischen den Bäuchen entsteht. Der *Venter superior* zieht dann zwar weiterhin nach *ventrocranial*, jedoch deutlich steiler nach *cranial*, um schließlich das *Os hyoideum* zu erreichen. Damit ändert sich sein Verlauf in drei Dimensionen, und ohne ein klares Hypomochlion, ist dieser an zwei sehr beweglichen Knochen befestigt. Hier verwächst er oft *lateral* des *M. sternohyoideus* und *medial* des Ansatzes des *M. sternothyroideus*. Insgesamt ist der

M. OMH sehr schlank und lang. Die Innervation der vier *infrahyalen* Muskeln übernimmt die *Ansa cervicalis profunda* des *Plexus cervicalis* aus den *Foramina intervertebralia* der *cervicalen* Wirbelkörper C1 bis C4. Dabei bilden jeweils ein Strang aus C1, der *Radix superior*, und einer aus C2, der *Radix inferior*, eine Schleife, aus der die vier *Rami musculares* abgehen. Der erste *Ramus* innerviert den *Venter superior* des *M. OMH*, ebenso wie der vierte den *Venter inferior*. Der zweite zieht zum *M. sternothyroideus* und der dritte zum *M. sternohyoideus*. Der *M. thyrohyoideus* wird vom *Ramus thyrohyoideus* versorgt, der weiter *cranial* noch vor der Vereinigung zur Schleife aus C1 entspringt. *Perfundiert* wird der Muskel im Bereich des *Venter superior* von der *A. thyroidea superior* und der *Venter inferior* von der *A. thyroidea inferior*. Die *A. thyroidea superior* entspringt aus der *A. carotis externa*, während die *A. thyroidea inferior* aus dem Ast des *Truncus thyrocervicalis* der *A. subclavia* entspringt. [6, 28, 29, 63, 64, 85, 104, 119]

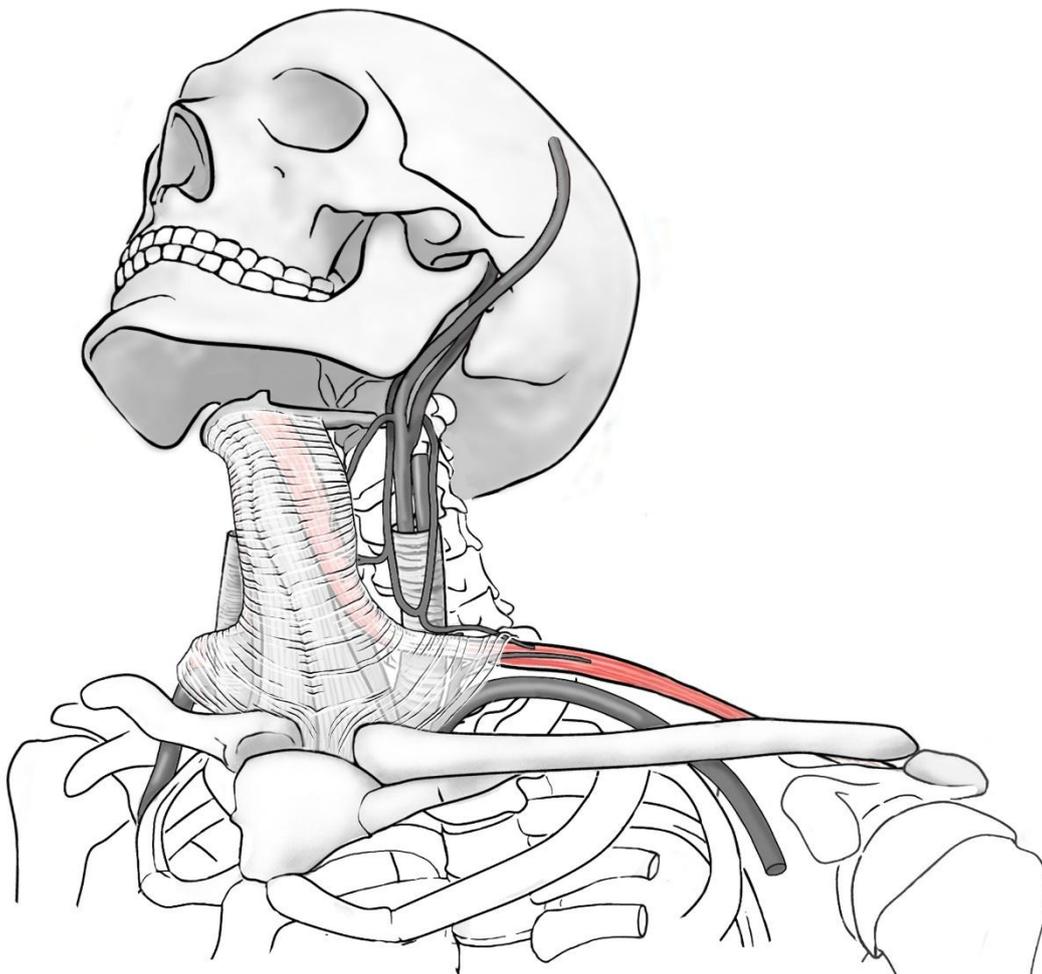
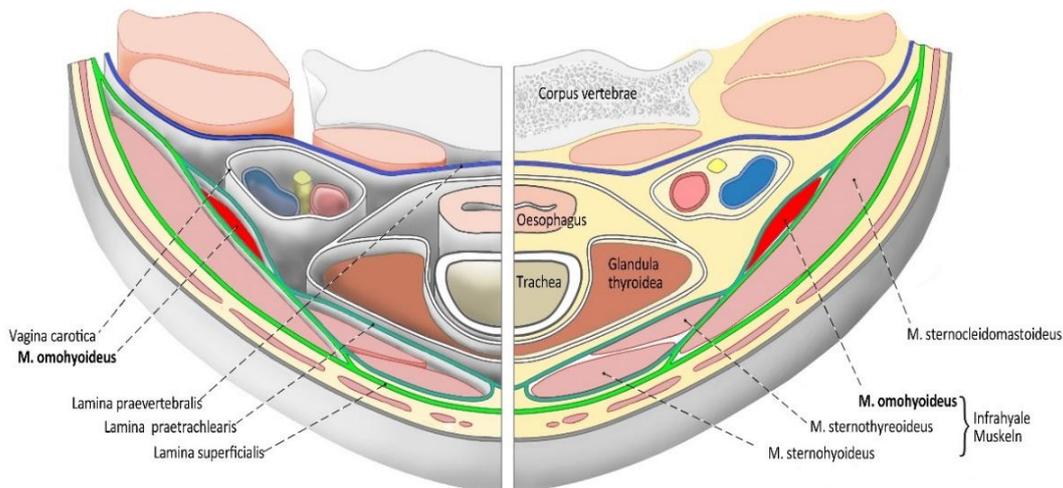


ABBILDUNG 1.3: Darstellung der *Lamina praetrachealis* in ihrer gesamten Ausdehnung und Lagebeziehung zum *M. OMH*, der an seiner Zwischensehne lateral mit der *Lamina* verwachsen ist. Gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler

Die Funktion des *M. OMH* wird als Absenkung des *Hyoids* sowie Zug des *Larynx* nach *caudal* beschrieben, durch dessen *Pronation* der Schluckakt abgeschlossen wird. Um einen ausreichend starken Zug auf das *Hyoid* auszuüben, bedarf es drei weiterer Muskeln, die anatomisch als *infrahyale* Muskulatur zusammengefasst werden. Außerdem hält der *M. OMH* mit seiner Zwischensehne die *VJI* offen. Demzufolge wird der Blutabfluss unterstützt und ein Kollaps der *VJI* durch den Zug an der *Vagina carotica* verhindert. Diese beinhaltet die *A. carotis communis*, die *VJI*, die



Ansa cervicalis und den *N. vagus*. Die *Vagina carotica* ist mit der *Lamina pra-*
 ABBILDUNG 1.4: Übersicht als Querschnitt durch die Schichten des Halses auf Höhe der *Glandula thyroidea*. Diese bildet unter anderem die *infrahyoidale* Muskulatur ab. Zusätzlich sind die 3 Halsfaszien farblich hervorgehoben. Gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler

trachealis, der *Fascia cervicalis* verwachsen, welche die gesamte *infrahyale* Muskulatur umgibt und deren *lateralen* Rand der *M. OMH* bildet. [6, 28, 29, 63, 64, 85, 104, 119]

1.4 HISTOLOGIE DER PROPRIOZEPTOREN

Die histologische Betrachtung von Gewebe und dessen Zusammensetzung kann Rückschlüsse auf dessen Bestimmung erlauben. Diese ändert sich je nach Fasern, aus denen das Gewebe zusammengesetzt ist, und danach, welche Anteile es an welchen Strukturen enthält. Solche Strukturen sind unter anderem neuronaler Herkunft. Unter peripheren Nerven zur Innervation von Sensibilität oder Motorik können auch sogenannte korpuskuläre Propriozeptoren im Gewebe enthalten sein [39, 53, 96]. Diese lassen sich einerseits in Mechanorezeptoren unterteilen, welche Umweltreize wie Berührung, Druck oder Vibration in elektrische Informationen umwandeln, und andererseits in Propriozeptoren einteilen, welche über Detektion von Dehnung von Sehnen, Muskeln, Ligamenten und anderem Gewebe Rückschlüsse auf das Bewegungsausmaß und die Position von Gelenken im Raum erlauben [39, 53, 96]. Zu den Mechanorezeptoren zählen Vater-Pacini-Körperchen (benannt nach

Abracham Vater, 1684-1751, und dessen Beschreiber Filippo Pacini, 1812-1883), Golgi-Mazzoni-Körperchen (benannt nach Camillo Golgi, 1843-1926, und nach Vittorio Mazzoni, 1880-1940), Meissner-Tastkörperchen (benannt nach Georg Meissner, 1829-1905), Merkel-Zellen (benannt nach deren Entdecker Friedrich Merkel, 1845-1919) und Ruffini-Körperchen (RK, beschrieben 1893 von Angelo Ruffini, 1864-1929) [11, 13, 49, 60, 67, 120]. Vater-Pacini-Körperchen (gehören zum Typ II *rapidly adapting afferents*, RAII) und Golgi-Sehnenapparate (zählen zum Typ II *slowly adapting afferents*, SA2) sind in der Lage, Vibrationen in elektrische Informationen umzuwandeln [11, 48, 53, 67, 120]. Meissner-Tastkörperchen (gehören zum Typ I *rapidly adapting afferents*, RAI) detektieren Berührungen [53, 67, 120]. Für die Verarbeitung von Druck sind Merkel-Zellen (gehören zum Typ I *slowly adapting afferents*, SA1) und Ruffini-Körperchen (zählen zum Typ II *slowly adapting afferents*, SA2) zuständig [53, 67, 120]. Zu den Propriozeptoren gehören Muskelspindeln (MS, 1851 von Arthur Hill Hassall entdeckt, 1817-1894), welche muskeleigene Propriozeptoren sind, sowie Golgi-Sehnenapparate und RK [53, 60, 67, 101, 108, 116, 120].

In dieser Arbeit wurden RK und MS in den Fokus gestellt, da die Detektion von Gleitbewegungen und Dehnung in diesem Muskel von besonderem Interesse ist.

1.4.1 RUFFINI-KÖRPERCHEN

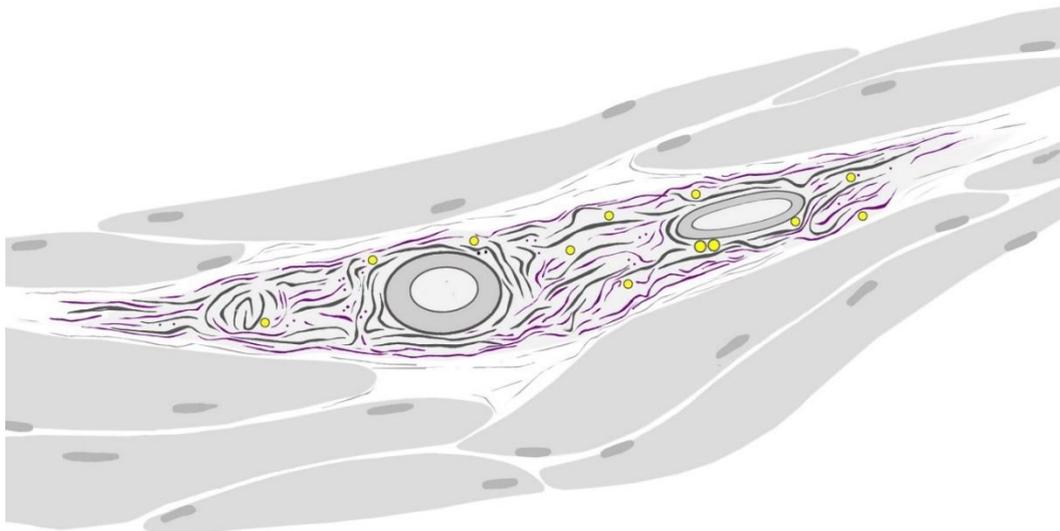


ABBILDUNG 1.5: Schematische Zeichnung eines RK im Längsschnitt zum Muskelfaserverlauf, gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler: Das RK liegt im Endomysium und enthält zahlreiche elastische Fasern.

RK entsprechen morphologisch einem spindelförmigen Zylinder von etwa 20 Mikrometern (μm) bis 2 Millimetern (mm) Größe, der Schwannzellen und Kollagenfasern enthält und dessen Enden offen sind für ein- bzw. am anderen Ende wieder austretende kollagene Fasern [1, 9, 46, 49, 60, 120]. Nicht immer wird dieser Zylinder vollständig von einer Kapsel umgeben, die teilweise aus *Endoneurium* und teils

aus *Perineurium* besteht [21, 39, 41, 46, 48]. In diesem Zylinder finden sich Nervenendigungen eines myelinisierten afferenten Axons, der in diesen Zylinder eintritt, jedoch ohne die myelinisierenden Zellen [1, 9, 24, 41, 42, 49, 60, 120]. Des Weiteren können darin Blutgefäße und elastische Fasern nachgewiesen werden [41]. Sie lassen sich in den tieferen *Dermis*schichten, wie dem *Stratum reticulare* und in der *Subkutis* finden, wo sie als *kutane* Mechanorezeptoren fungieren, ebenso wie in Gelenkkapseln und Ligamenten, in denen sie die Funktion der Propriozeptoren ausführen und durch die Detektion von Dehnung Rückschlüsse auf Lageveränderungen erlauben [1, 3, 9, 24, 40, 49, 52, 60, 120]. Sie gehören zu der Gruppe der SA-II-Sensoren, den sogenannten *slowly adapting type 2 receptors* und wie ihr Name es bereits verrät, adaptieren sie langsam, was bedeutet, dass sie dauerhaft durch Generierung von Ruheaktionspotentialen Dehnungsveränderungen und Scherkräfte an das zentrale Nervensystem weiterleiten können [21, 42, 48, 53]. Carlos *et al.* und Hagert *et al.* beschrieben das Vorkommen von RK in Muskelgewebe, teils mit dem Hinweis, dass diese die MS verdrängt haben könnten [20, 23, 40]. Interessanterweise gibt es demzufolge Muskeln, wie *M. palmaris longus* und *M. plantaris*, die RK enthalten, während es andere wie den *M. palmaris brevis* und das *Platysma* gibt, in denen histologisch bisher keine entdeckt worden sind [15, 52, 70].

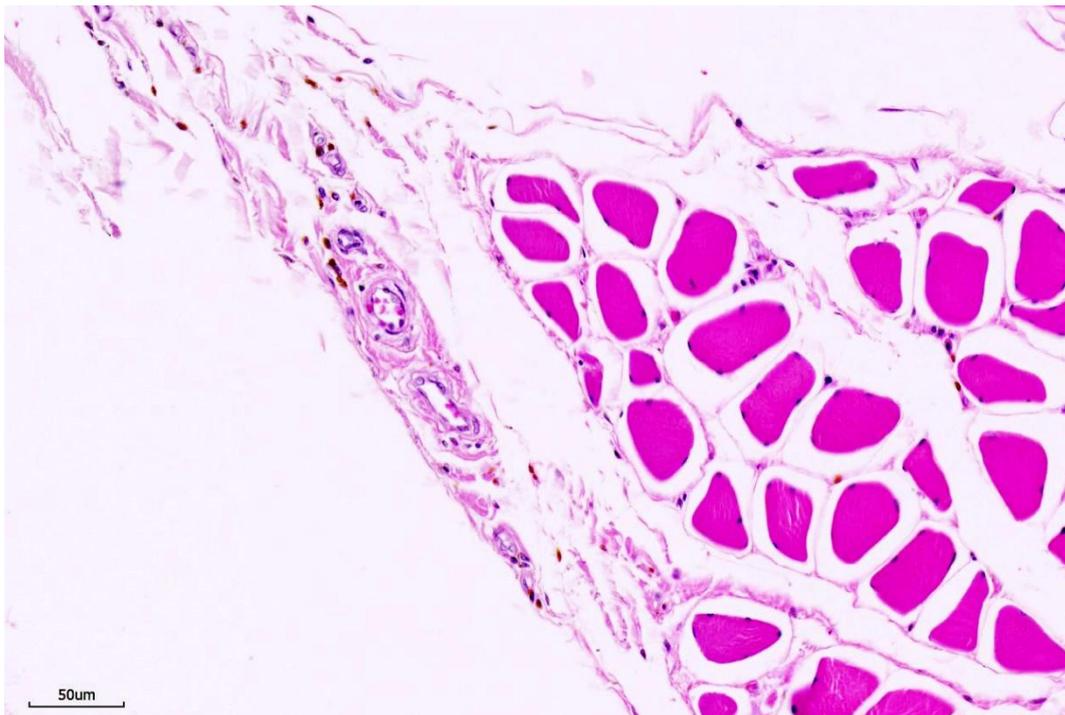


ABBILDUNG 1.6: RK im Bereich der Zwischensehne des *M. OMH* in Hämatoxylin-Eosin-Färbung (HE), 20x

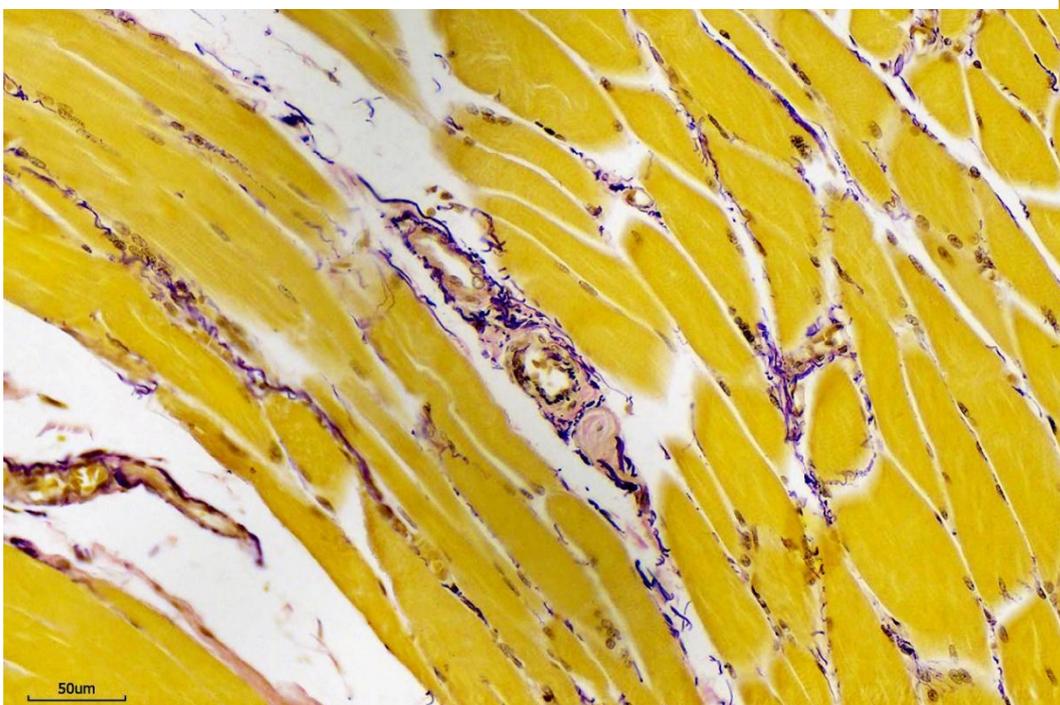


ABBILDUNG 1.7: RK im *cranialen* Bereich der Zwischensehne des *M. OMH* in Elastica-van-Gieson-Färbung (EvG), 20x

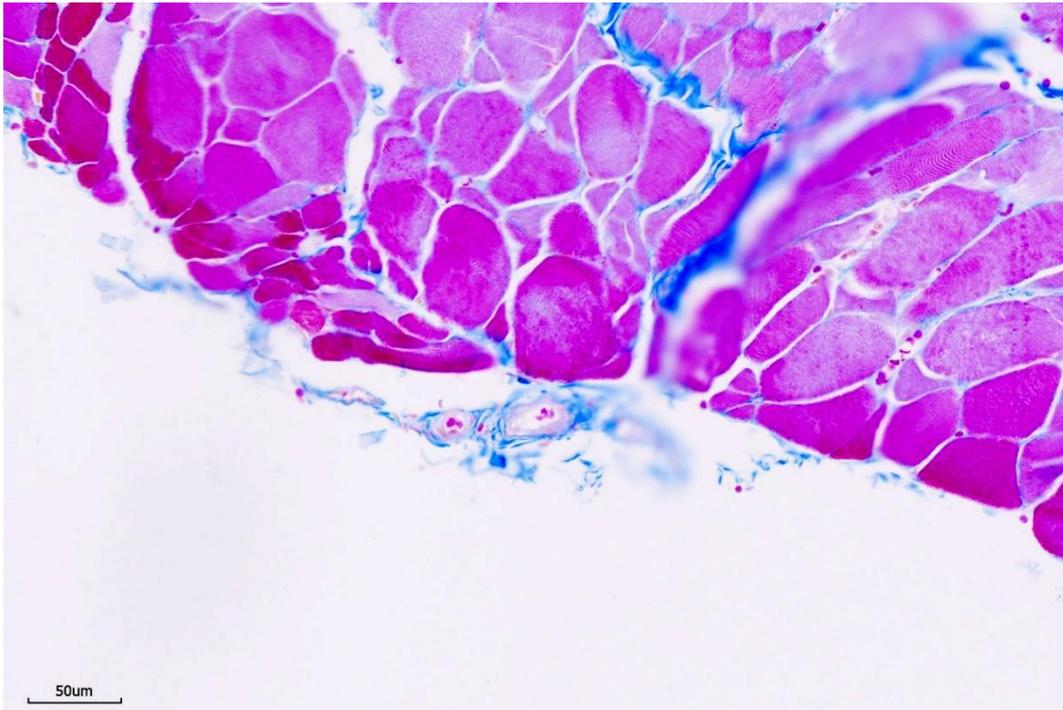


ABBILDUNG 1.8: RK im *caudalen* Bereich der Zwischensehne des *M. OMH* in Azan, 20x

1.4.2 MUSKELSPINDELN

Aus mikroskopischer Sicht sind MS spindelförmig angeordnet und von speziellen Bindegewebsfasern umgeben, die als *Perineurium* bezeichnet werden und ebenfalls Nerven umhüllen [16, 42, 60, 67, 120]. Sie messen 1-10 mm und in deren Kapsel findet man einige *intrafusale* Muskelfasern, die in *Endomysium* eingehüllt sind, welches als Bindegewebe ebenfalls einzelne Muskelfasern umgibt [16, 42, 60, 83, 116, 120]. *Intrafusale* Muskelfasern sind spezialisierte Muskelzellen, die in zwei Arten unterschieden werden: den Kernkettenfasern und den Kernsackfasern, welche die Dehnung bzw. die Längenänderung erfassen können [60, 116, 120]. Diese spiralförmig umschlingend und innervierend, treten neben motorischen auch sensorische und vegetative Nervenfasern durch die Kapsel [12, 16, 42, 60, 120]. Die die MS umgebenden Skelettmuskelzellen bezeichnet man als *extrafusale* Muskelfasern, welche über die Bindegewebskapsel verbunden sind [42, 120].

Funktionell sind MS, wie bereits erwähnt, Dehnungsrezeptoren, welche aber im Gegensatz zu RK ausschließlich in Skelettmuskeln vorkommen können [9, 24, 120]. Sie liegen parallel zum Muskel, messen und kontrollieren die Spannung des Muskels, seine Länge sowie deren Änderung und kommunizieren dies an das zentrale Nervensystem, was einen Rückschluss auf die Gelenkposition ermöglicht [9, 24, 88, 120]. Damit liefern sie Informationen zum Schutz vor Überdehnung und ermöglichen gleichzeitig willkürliche Bewegungen [9, 24, 88]. In Muskeln, die besonders

feine und gezielte Bewegungsmuster erfordern, wie z. B. die Augenmuskulatur, lassen sich besonders viele MS finden [9, 24].

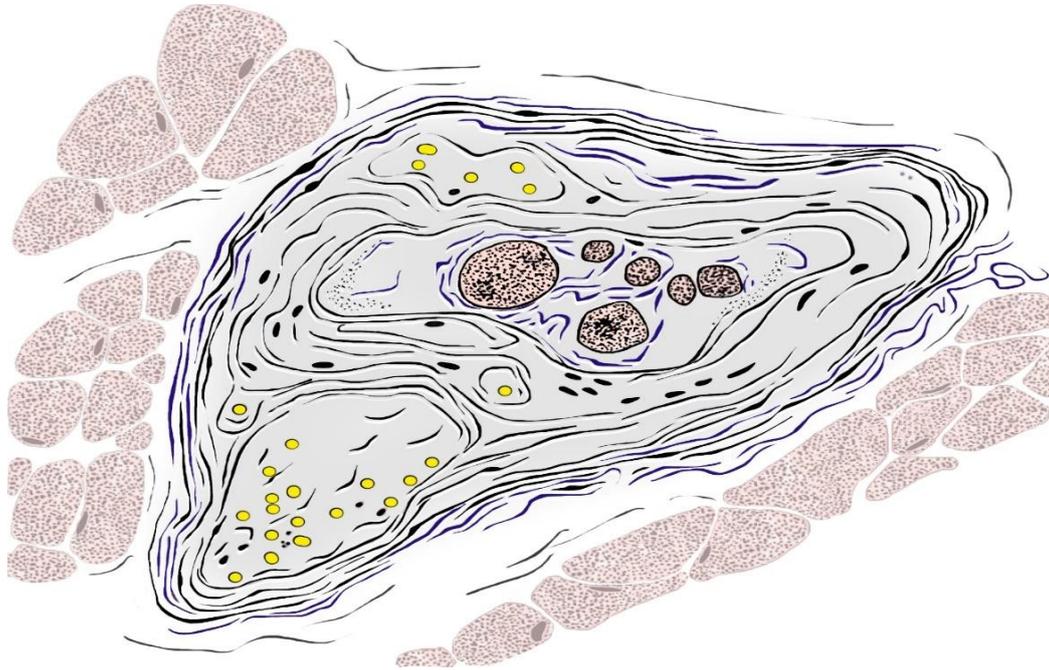


ABBILDUNG 1.9: Schematische Zeichnung einer MS im Querschnitt zum Muskelfaserverlauf gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler: Die MS wird von Bindegewebsfasern umgeben und enthält *intrafusale* Muskulatur sowie Nervenfasern.

Durch einige Studien konnte belegt werden, dass MS teilweise von sympathischen Ästen innerviert werden, wodurch die Funktionalität der MS in Bezug auf Propriozeption und Motorik der Muskeln moduliert werden könnte, insbesondere in Situationen von hoher Sympathikusaktivität wie z. B. Stress [90]. Dies wäre demzufolge eine mögliche Erklärung für *Myalgien* und das chronische Schmerzsyndrom bei Zuständen mit hoher physischer oder psychischer Belastung [90]. Es gibt jedoch in einigen Studien Hinweise darauf, dass nicht jeder Muskel MS enthält [35]. So wurden z. B. im *M. constrictor pharyngis superior*, *M. buccinator* oder dem *M. zygomaticus major* beispielsweise keine MS gefunden, unter der Annahme, dass diese durch andere Propriozeptoren wie RK ersetzt wurden [15, 20, 23, 35, 52, 70].

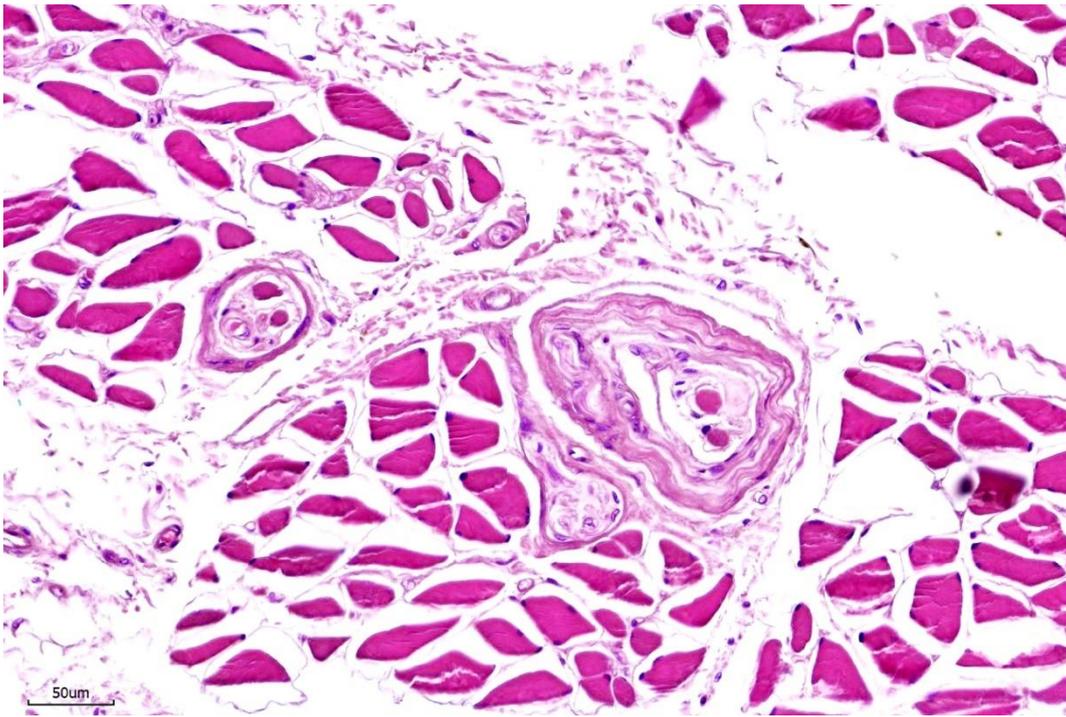


ABBILDUNG 1.10: MS im Bereich des cranialen Venter des *M. OMH* in HE, 20x

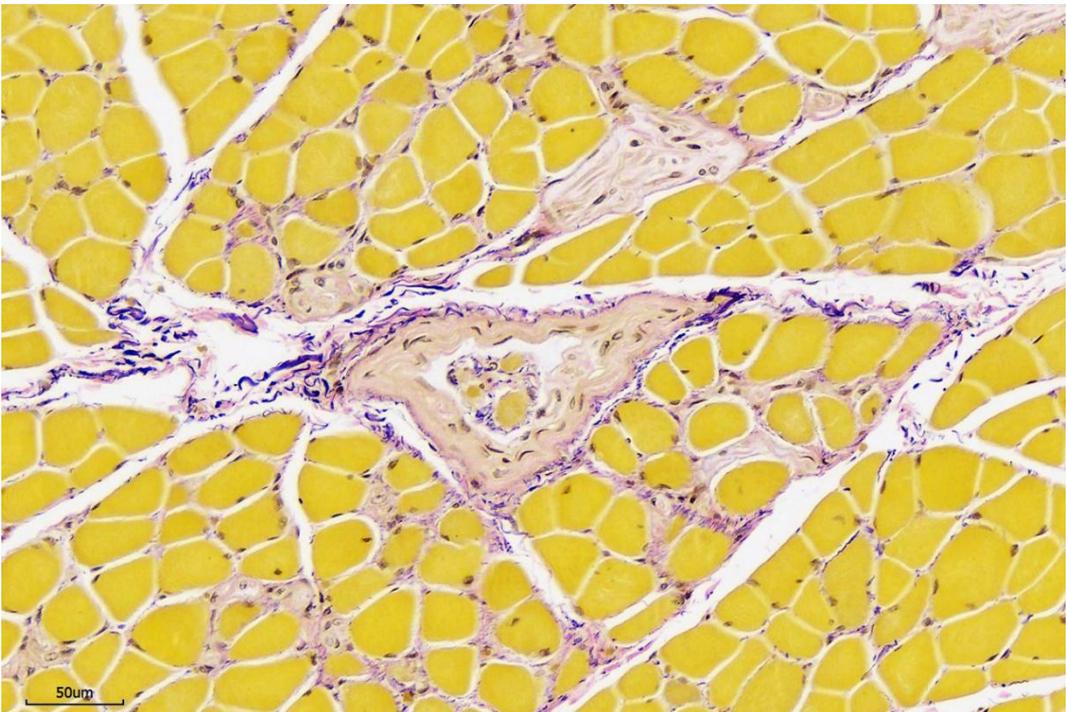


ABBILDUNG 1.11: MS im *cranialen* Bereich der Zwischensehne des *M. OMH* in EvG, 20x

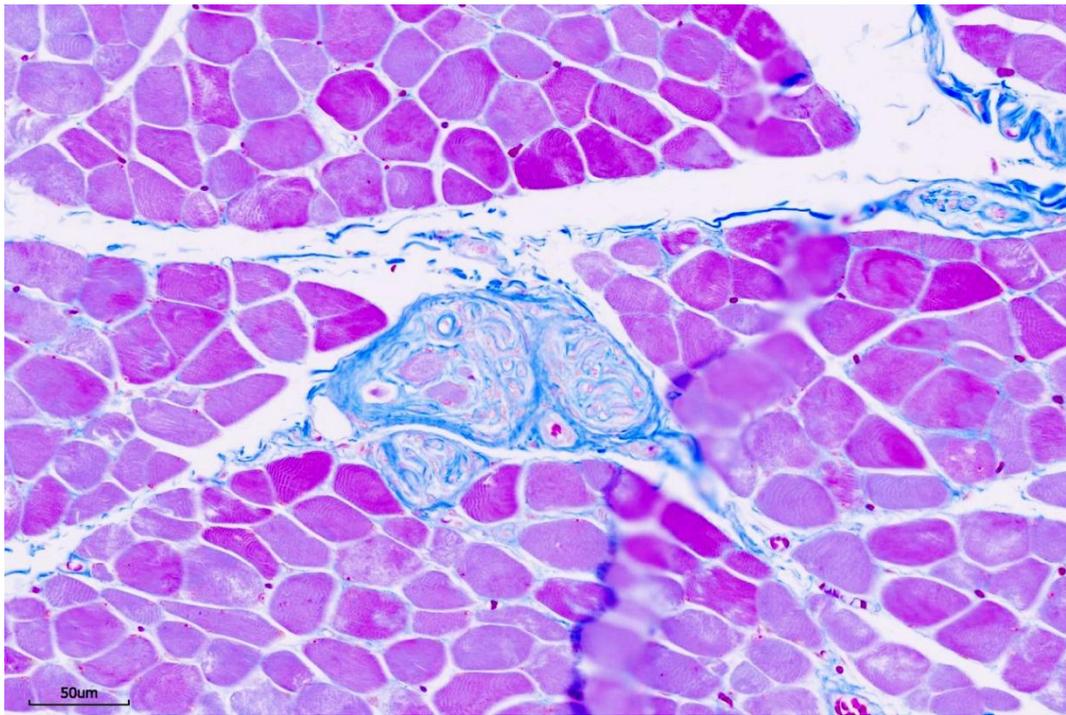


ABBILDUNG 1.12: MS im *cranialen* Bereich der Zwischensehne des *M. OMH* in Azan, 20x

1.5 ZIELSETZUNG

Diese Arbeit dient der histologischen Untersuchung der neuronalen Ausstattung des *M. OMH*. Seine Beschaffenheit soll in Bezug auf Propriozeptoren dargestellt werden. Seine Beschreibung in der Literatur enthält teilweise physikalisch nicht plausible Erklärungen seiner Funktion. Da er evolutionär gesehen immer vorhanden ist, scheint seine Existenz von Bedeutung. Dennoch ist seine operative Entfernung und die klinische Anwendung zu diversen Plastiken durchaus möglich, ohne dass direkt eine ersichtliche Beeinträchtigung der Patienten in der Bewegung oder dem cerebralen Blutfluss entsteht [39, 53, 96]. Des Weiteren soll ein Vergleich seiner Untersuchungsergebnisse zu anderen parallelfaserigen Muskeln erfolgen, um beurteilen zu können, ob die Quantität der Propriozeptoren typisch für parallelfaserige Muskeln ist. Möglicherweise kann dieser Vergleich zusammen mit dem Verteilungsmuster der Propriozeptoren mehr Aufschluss über seine Funktionalität in Korrelation zu seiner Topografie bringen.

2 MATERIAL UND METHODEN

2.1 PRÄPARATION

Für die Arbeit wurden Muskeln von 14 Körperspendern entnommen, welche ihren Körper nach ihrem Versterben der medizinischen Aus- und Weiterbildung in Anatomie und der wissenschaftlichen Forschung zur Verfügung gestellt haben. Für diese Arbeit wurde hierzu am 20.02.2020 von der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität ein positives Ethikvotum (Studien-Nr.: 2019-823-andere Forschung) erteilt.

Das durchschnittliche Alter der Körperspender beträgt 82 Jahre und die Altersspanne liegt zwischen 71 und 94 Jahren, acht davon sind weibliche und sechs sind männliche Körper (Mit „Geschlecht“ wird in dieser Arbeit das biologische Geschlecht entsprechend dem chromosomalen Vorhandensein von XX- bzw. XY-Chromosomen bezeichnet. Anhand der vorliegenden Anatomie der inneren und äußeren Geschlechtsorgane der Körperspender erfolgte die Zuordnung der Körper zum weiblichen oder männlichen Geschlecht). Fünf der Körper wurden nach ihrem Tod zur Konservierung in 10 % Formaldehydlösung und 10 % Methanol als Stabilisator eingelegt. Diese Fixierung schützt die Körper vor Veränderungen und stabilisiert das Gewebe. Die restlichen Körper waren zum Zeitpunkt der Muskelentnahme noch nicht fixiert.



ABBILDUNG 2.1: Körperspender nach Abnahme von Haut und Fettgewebe. Der *M. STCL* wurde zur besseren Ansicht auf darunterliegende Bereiche vom *Sternum* abgetrennt und zur Seite gelegt. Bis auf den Ursprung an der *Scapula*, ist der *M. OMH* in seinem Verlauf gut sichtbar. Er liegt direkt dem *M. sternohyoideus* an. Deutlich wird seine Lagebeziehung zu den Gefäßen *A. carotis communis* und der *V. JI*.

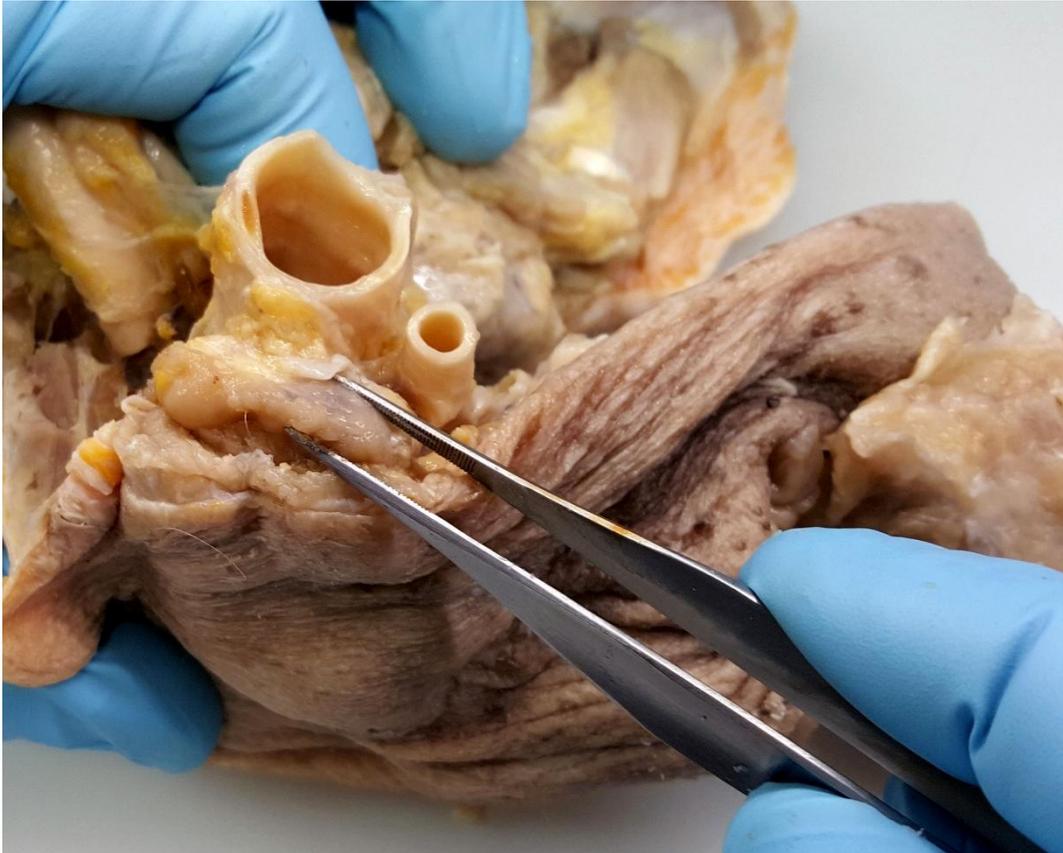


ABBILDUNG 2.2: Präparation eines Halsabschnittes und Identifikation des *M. OMH* im Bereich der *Vagina carotica*. Hier ist deutlich ersichtlich, dass der *M. OMH* mit der *Vagina carotica* verwachsen ist.

Die Fotografien in dieser Arbeit wurden zur Dokumentation mit der Kamera der Anatomie I der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf (Canon EOS 500D, Tokio, Japan) aufgenommen.

Der erste Hautschnitt zur Entnahme des *M. OMH* wurde nach Palpation des *Os hyoideum* einen Zentimeter (cm) *transversal* über diesem gesetzt. Der zweite Hautschnitt verlief auf beiden Seiten *supraclavicular* nach jeweils *dorsal* bis zum *Acromion*. Von dort aus wurde weitergeschnitten, über der *Margo superior* über die *Incisura scapulae* hinaus, unter Beachtung, dass *medial* der *Incisura scapulae* sich der Muskelursprung des *M. OMH* befindet. Als Nächstes folgte der dritte Hautschnitt als Verbindung dieses Schnittes und des Schnittes am Oberrand des *Os hyoideum* auf beiden Seiten. Nach dem Durchschnitt der Haut und des *subcutanen* Fettgewebes wurde in den Bereichen der Hautschnitte weiter in die Tiefe präpariert. Der Ansatz des *M. OMH* im Bereich des *caudalen* Randes des *Os hyoideum* und der Bereich des Ursprunges an der *Margo superior* der *Scapula* wurden vorsichtig von den Knochen freipräpariert. Am *lateralen* Hals wurde entlang der zuvor gemachten Hautschnitte über den Gefäßen der *Vagina carotica cranial* und *caudal* in die Tiefe geschnitten sowie hinter der *Vagina carotica* das gesamte Gewebe

angehoben. Auf diese Weise konnte sichergestellt werden, dass der Muskel nicht

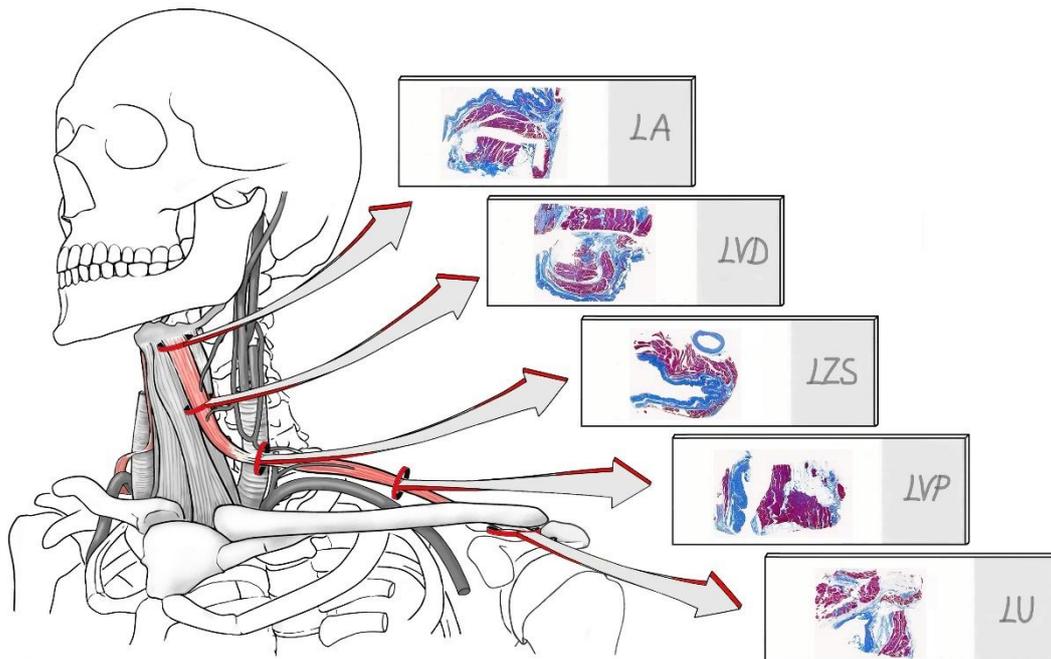


Abbildung 2.18: Schematische Darstellung der demarkierten Entnahmestellen, gezeichnet von Prof. Dr. C. Opfermann-Rüngeler. Dargestellt sind zudem die Bezeichnungen für die entsprechenden Präparate, beispielhaft gezeigt an der linken Körperspenderseite. In diesem Fall steht LA für linken Ansatz, LVD für den linken *Venter distal* (entspricht *Venter superior*), LZS für linke Zwischensehne, LVP für linken *Venter proximal* (entspricht *Venter inferior*) und LU für linken Ursprung. Die Benennung der rechten Seite wurde entsprechend mit einem „R“ versehen

versehentlich zerschnitten wird und in seinem umliegenden Gewebe eingebettet bleibt. Von dieser Gewebeprobe wurden zuerst Stücke des *M. OMH* aus den Bereichen vom Ansatz und Ursprung mit einer Dicke von circa (ca.) 20 mm *transversal* herausgeschnitten. In den Bereichen der Zwischensehne sowie dem *Venter superior* und dem *Venter inferior* musste der Muskel identifiziert werden und durch vorsichtige Entfernung des umliegenden Gewebes freigelegt werden, bevor auch davon etwa 20 mm dicke Stücke jeweils *transversal* entnommen wurden. Durch die *transversale* Schnittführung erzielte man einen Schnitt quer zum Muskelverlauf.

Für die histologische Untersuchung wurden von den oben genannten Stücken schließlich präzisere Schnitte vorgenommen, bei denen für diese Arbeit nicht relevantes Gewebe vom Muskel abgetragen wurde. Diese Zuschnitte erfolgten zum Schutz vor den Formalindämpfen am Medite Fume Adsorber (TAZ 19, Burgdorf, Deutschland). An einigen Körperspendern, welche vor der Entnahme nicht in Formaldehydlösung gelagert waren, wurden Haut und *subkutanes* Fettgewebe am Muskel belassen, da diese ohne Schäden des Muskels selbst nicht davon zu trennen waren. Die zugeschnittenen Proben wurden am jeweils *medialen* Rand mit einer Spezialtinte (CDI's Tissue Marking Dye 2[®] green, Langenhagen, Deutschland) markiert und in eine beschriftete Einbettkapsel für die weitere histologische Schnitthanfertigung gelegt (siehe Abbildung 2.4). Damit das Einbettverfahren bei allen Präparaten einheitlich ist, wurde darauf geachtet, dass der *craniale* Bereich eines

Querschnittes sich stets am Boden der Gewebekapsel befindet. Zudem wurden Längsschnitte der jeweiligen Abschnitte von bis zu 20 mm Länge gemacht und in die entsprechende Gewebekapsel dazugelegt.

Für den Vergleich der Propriozeption des *M. OMH* mit anderen parallelfaserigen Muskeln wurden die Muskeln *M. STCL*, *M. pronator quadratus (M. PQ)*, *M. sartorius*



ABBILDUNG 2.4: Gewebekapsel mit einer Gewebeprobe eines *M. OMH* aus dem Bereich der linken Zwischensehne. Die grüne Tintenmarkierung wurde an der jeweils *medialen* Seite der Gewebeprobe angebracht. Die kleine Gewebeprobe auf der rechten Seite der Gewebekapsel ist ein Querschnitt und das größere Gewebestück auf der linken Seite ein Längsschnitt

(*M. SAR*) und *M. vastus lateralis (M. VAS)* ausgewählt.

Der *M. STCL* gehört zur *ventralen* Halsmuskulatur [28, 85]. Sein Ursprung zieht sich vom *medialen* Drittel der *Clavicula* bis zum *Sternum* und sein Ansatz befindet sich am *Processus mastoideus* des *Os temporale* [28, 85]. Die Entnahme einer Probe des *M. STCL* erfolgte ähnlich der *ventrolateralen* Präparation des *M. OMH*, da dieser den *M. OMH* im Bereich der *Vagina carotica* überdeckt. Auf ungefähr dieser Höhe kann er nach Abnahme von Haut und dem *subcutanen* Fett gut identifiziert werden. Von ihm wurde eine Probe von etwa 20 mm Länge herausgeschnitten. Davon wurde ein Querschnitt zum Muskelfaserverlauf von ca. 5 mm Dicke angefertigt. Beide Stücke wurden als Querschnitt und als Längsschnitt jeweils in eine beschriftete Gewebekapsel gelegt.

Der *M. PQ* ist ein, wie sein Name es verrät, quadratischer Muskel, der für die *Pronation* des Unterarmes verantwortlich ist. Er hat seinen Ursprung an der *Facies anterior* des *distalen Radius* und seinen Ansatz an der *Facies anterior* der *distalen Ulna* [28, 85]. Um an den *M. PQ* zu kommen, muss man sich durch alle Schichten bis zu den Knochen vorarbeiten. Dazu wurde zuerst ein *medialer* Hautschnitt *palmar* gemacht, beginnend etwa auf Höhe des *Os pisiforme* bis maximal zur Hälfte des Unterarmes. Nach Aufspreizen der Haut mit Präparation des *subcutanen* Fettgewebes wurde das *Retinaculum musculorum flexorum* durchtrennt. Die darunter befindlichen Sehnen der Handflexoren wurden zur Seite gedrückt, sodass sich in der Tiefe der *M. PQ* zeigte. Von diesem wurde eine etwa 20 mm lange und etwa 20 mm breite Probe herausgetrennt. Davon wurde ein etwa 5 mm dickes, quer zu den Fasern verlaufendes Stück abgeschnitten. Der verbleibende Rest als Längsschnitt kam zusammen mit der Querschnittprobe in eine beschriftete Gewebekapsel.

Der *M. SAR* ist ein schmaler, langer Oberschenkelmuskel, der von der *Spina iliaca anterior superior* des *Os ilium* bis zum *Pes anserius superficialis* an der *Tibia* zieht [28, 85]. Für den *M. SAR* wurde ein *anteromedialer* Hautquerschnitt auf etwa der Hälfte des Oberschenkels gemacht. Nach Aufspreizen der Haut und Präparation des Unterhautfettgewebes konnte der Muskel leicht an seinem spezifischen Verlauf identifiziert werden. Er liegt direkt unter dem Fettgewebe und zieht schräg von *laterocaudal* nach *mediocaudal*. Davon wurde ein ca. 20 mm langes Stück präpariert. Von diesem wurde ein etwa 5 mm breiter Querschnitt entnommen und der Rest als Längsschnitt belassen. Beide Proben wurden jeweils in eine Gewebekapsel gelegt.

Der *M. VAS* ist ein Teil des *M. quadriceps femoris* und zieht vom *lateralen Trochanter major* des *Femurs* (*Linea intertrochanterica* und *Labium laterale lineae asperae*) bis zum *Condylus lateralis tibiae* [28, 85]. Für diesen Muskel wurde der *transversale* Hautschnitt, der für den *M. sartorius* gemacht wurde, weiter nach *lateral* verlängert. Auch dieser Muskel befindet sich direkt unterhalb des *subcutanen* Fettgewebes. Anhand seines *craniocaudalen* Faserverlaufs kann er gut vom, ebenfalls oberflächlich liegenden, zweifach gefiederten *M. rectus femoris* abgegrenzt werden. Vom *M. VAS* wurde ein etwa 20 mm langes und 20 mm breites Stück herausgetrennt und davon eine ca. 5 mm dicke Scheibe quer zum Faserverlauf

abgeschnitten. Das restliche Stück wurde als Längsschnitt zusammen mit dem Querschnitt in eine Gewebekapsel gelegt.

2.2 HISTOLOGISCHE SCHNITTE

Die Herstellung der Schnitte erfordert zuvor die Einbettung der Gewebeproben in die Einbettkapseln und deren Stabilisierung mittels Paraffin. Das Paraffin legt sich schützend um das Gewebe, dringt in dieses und in Hohlräume, wie beispielsweise Gefäße, ein und ermöglicht nach dem Aushärten Schnitte im Mikrometerbereich.

Um die Proben in Paraffin einbetten zu können, müssen sie entwässert werden, da das Paraffin *hydrophob* ist. Die Entwässerung erfolgt mithilfe einer aufsteigenden Alkoholreihe. Dafür muss das Formaldehyd entzogen werden, in dem die Gewebeproben gelagert werden, da Formaldehydreste bei der Einbettung zu Artefakten führen können. Hierfür werden die Proben zunächst für 7 Tage in Wasser gelegt. Danach folgt die Entwässerung im Gewebeverarbeitungsautomaten (Leica TP1020, Wetzlar, Deutschland oder Intelsint EFTP, Torino, Italien) anhand einer aufsteigenden Isopropanolreihe, beginnend mit 50 Prozent (%), dann 70 %, 90 %, 96 % und zum Schluss 100 %. Je nach gewähltem Programm variiert die Liegedauer in den jeweiligen Alkoholstufen. Bei dieser Arbeit wurden das Programm 9 am Leica-Automaten und das Programm 11 beim Intelsint verwendet. Sobald dies abgeschlossen ist, werden die Proben automatisch im jeweiligen Automaten zweifach in ein Intermedium (Roticlear® Xylol-Ersatzmedium, Carl Roth GmbH und Co. KG, Karlsruhe, Deutschland) überführt. Dieses entfernt den Alkohol aus den Proben und schafft eine Verbindung der Probe mit dem Paraffin. Anschließend folgen drei Bäder mit flüssigem Paraffin (Leica Surgipath Paraplast Plus®, Carl Roth GmbH und Co. KG, Karlsruhe, Deutschland). Dieser gesamte Prozess benötigt beim Leica-Gerät 5 Tage und beim Intelsint 3,5 Tage.

Danach folgt das manuelle Abknipsen der Deckel der Einbettkapseln am Paraffin-einbettssystem (Medite TES Valida®, Burgdorf, Deutschland). Dieses Gerät ist eine Paraffinausgießstation mit einem Thermostat und einer Wärmeeinheit, über der das Paraffin verflüssigt und in Gießformen gegossen werden kann. Die Einbettkapseln werden die Kapseln über die Gießform gespannt und mit dem flüssigen Paraffin aufgefüllt. Anschließend werden diese auf der Kälteplatte der Ausgießstation zum Aushärten des Paraffins belassen. Das vollständige Aushärten der Präparate dauert je nach Dicke des Paraffins etwa eine halbe Stunde. Nach dem Erkalten werden die entstandenen Paraffinblöckchen aus den Metallschälchen entfernt und am Rotationsmikrotom (Leica RM2155, Wetzlar, Deutschland) in 25-30 µm Schritten getrimmt, bis die gewünschte eigentliche Schnittebene erreicht ist. Nach etwa 2 Stunden auf Wasser-Eis erfolgen schließlich die Schnitte mit 6 µm Dicke. Mittels

einer mit Warmwasser (ca. 32°C) gefüllten Schale können diese Schnitte gestreckt und dann auf einen Objektträger aufgezogen werden.



ABBILDUNG 2.5: Beispielhafter Paraffinblock mit enthaltenen Gewebeproben des *M. OMH* bereit zum Schnitt für die Herstellung von Präparaten. Gut zu erkennen ist die *mediale* grüne Tuschemarkierung des Präparates.

Die Mikroskopie erfolgte mit dem Motic Mikroskop (BA410E, Wetzlar, Deutschland) mit 2-, 4-, 10-, 20-, 40- und 60-facher Vergrößerung sowie der damit verknüpften Moticam 10+. Zur virtuellen Mikroskopie am Computer wurden die Präparate mit dem Scanner (Motic EasyScan Infinity 100, Wetzlar, Deutschland) eingescannt. Dazu kamen die Programme Motic DSAssistant Software als kostenlose *Light*-Version, die von der Anatomie I der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf zur Verfügung gestellt wurde, sowie die kostenlose Software QuPath in der Version 0.2.3 zum Einsatz. Alle eingescannten Bilder sowie die gemachten Fotografien wurden auf dem internen Datenserver (sca-server-00) des Labors für Anatomie I der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf gespeichert.

2.3 FÄRBUNGEN

Die Färbungen wurden in Hämatoxylin-Eosin-Färbung (HE), in der Elastika-van-Gieson-Färbung (EvG) und in Azan vorgenommen. Zur Qualitätssicherung wurden einige Präparate in der immunhistochemischen Färbung speziell für humane Neurofilamente sowie einige ausgewählte Präparate mit der immunhistochemischen Färbung für humane glatte Muskelzellen gefärbt. Die im Labor angewandte, im

Folgenden in Detail beschriebene Methodik richtet sich nach der Anleitung aus dem Romeis [78] in modifizierten Varianten.

2.3.1 HÄMATOXYLIN-EOSIN-FÄRBUNG

Für die Färbung nach HE (siehe Abbildung 1.6, 1.10 und 2.6) wird die spezielle Färbelösung nach Mayer (Paul Mayer, 1848-1923 [78]) benötigt. Dazu wird 1 Gramm (g) Hämatoxylin in 1000 Milliliter (ml) *Aqua destillata* gelöst. Anschließend werden 0,2 g Natriumiodat hinzugefügt und dann unter Rühren 50 g Kalialaun darin gelöst. Sobald sich alles gelöst hat und die Lösung eine blau-violette Farbe angenommen hat, werden 50 g Chloralhydrat und 1 g Zitronensäure hinzugefügt. Der Farbton sollte in rot-violett umschlagen. Die Lösung muss vor der Nutzung filtriert werden und unmittelbar genutzt werden.

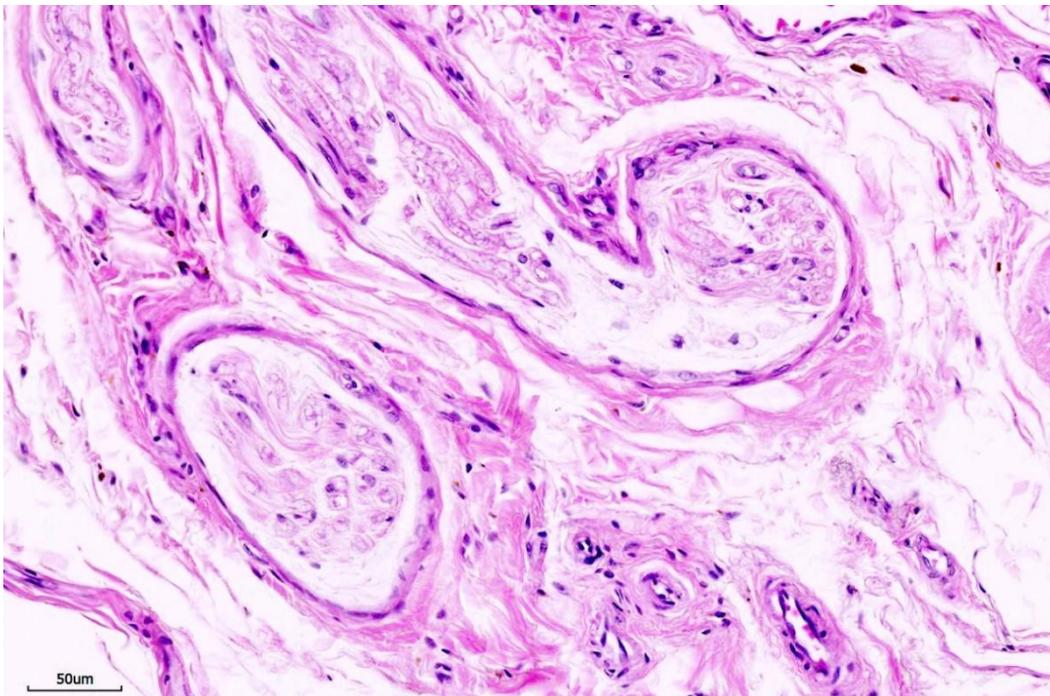


ABBILDUNG 2.6: Beispielhafte lichtmikroskopische Aufnahme der Färbung in HE von Nervengewebe eines *M. OMH* im Bereich der Zwischensehne, 20x

Der Färbungsprozess erfolgt in mehreren Schritten. Zunächst wird das Präparat vor der Färbung für 20 Minuten (min) im Brutschrank bei 70 °Celsius (°C) erhitzt und sofort für 10 min in Xylol entparaffiniert. Danach folgt die Bewässerung in einem absteigenden Alkoholbad mit 100 %, 90 %, 80 % und 70 % für jeweils 2 min. Der Alkohol wird durch eine Spülung mit *Aqua bidest* abgewaschen. Nun werden die Zellkerne in saurem Hämalalaun nach Mayer für 8 min gefärbt und nehmen dabei eine rötliche Färbung an. Die Farbe muss im Anschluss unter fließendem Leitungswasser für 5 min abgespült werden, wobei die Färbung aufgrund der Änderung des pH-Wertes in blau-violett umschlägt. Dieses Phänomen wird als Bläuen bezeichnet

und lässt die Kerne blau werden. Abschließend wird das restliche Gewebe mit 0,3-prozentigem wässrigem Eosin für 3 min rot gefärbt. Dieses muss ebenfalls im Anschluss abgespült werden. Um die Präparate von der Flüssigkeit wieder zu dehydrieren, werden sie erneut in ein Alkoholbad gegeben, diesmal in aufsteigender Reihenfolge mit 70 %, 80 %, 90 % und zweimal mit 100 % für jeweils 2 min. Zur Entfernung des Alkohols erfolgt ein Bad in Xylol, zweimal für 2 min. Die Präparate können dann mit xylolhaltigem Eindeckmedium, dem DePeX oder ROTI®Mount (Carl Roth GmbH & Co. KG, Karlsruhe, Deutschland) und einem Deckglas haltbar gemacht werden. [2, 17, 61, 78]

2.3.2 ELASTIKA-VAN-GIESON-FÄRBUNG

Die EvG-Färbung (siehe Abbildungen 1.11, 1.7 und 2.7) erfordert die Herstellung von drei speziellen Lösungen. Die erste Lösung, die Resorcinfuchsinlösung, wird nach Weigert (Carl Weigert, 1845-1904 [78]) hergestellt. Dazu werden 0,5 g basisches Fuchsin und 1 g Resorcin in 50 ml *Aqua bidest* unter Erwärmung aufgelöst. Parallel werden 2 g Eisen-(III)-Chlorid in 10 ml *Aqua bidest* gelöst. Beide Lösungen werden zusammengerührt und unter Erhitzung für 5 min langsam zum Kochen gebracht. Nach Abkühlen der Lösung folgt die Filtration. Eventueller Niederschlag kann mit 100 ml 96-prozentigem Ethanol filtriert und unter Erhitzen aufgelöst werden. Die Lösung wird mit 0,7 ml konzentrierter Chlorwasserstoffsäure aufgefüllt und im Anschluss erneut filtriert.

Die zweite Lösung, die Hämatoxylinlösung, wird ebenfalls nach Weigert hergestellt. Dazu werden einerseits 1 g Hämatoxylin in 100 ml 96-prozentigem Ethanol gelöst und zum anderen 1,16 g Eisen-3-Chlorid in 99 ml *Aqua bidest*, zusammen mit 1 ml 25-prozentiger Chlorwasserstoffsäure gemischt. Beide Lösungen werden zu gleichen Teilen miteinander vermischt.

Die dritte Lösung besteht aus Pikrinsäurekristallen, die in 1000 ml *Aqua bidest* gelöst werden, bis ein Sediment entsteht. Diese Mischung wird anschließend filtriert und dann mit 5 ml 1-prozentiger Säurefuchsinlösung auf 100 ml aufgefüllt.

Sobald alle Lösungen einsatzbereit sind, kann die Färbung erfolgen. Die Präparate werden mit Xylol entparaffiniert und dann in absteigenden Alkoholbädern mit 100 %, 90 %, 80 % und 70 % für jeweils 2 min rehydriert. Der Alkohol wird mit *Aqua bidest* abgespült. Nun beginnt die erste Färbung mit der Resorcinfuchsinlösung für 15 min, wodurch elastische Fasern rötlich angefärbt werden. Die Lösung wird anschließend mit Leitungswasser oder demineralisiertem Wasser abgespült. Als Nächstes folgt die 5-minütige Färbung mit der Hämatoxylinlösung. Diese wird ebenfalls zuerst mit demineralisiertem Wasser und danach für 10 min mit Leitungswasser abgespült. Aufgrund des pH-Wert-Unterschieds schlägt der Farbton ins Bläuliche um, ein Prozess, der mit demineralisiertem Wasser unterbunden werden wird. Im Folgenden werden die Präparate für 1 min mit der Pikrofuchsinlösung gefärbt, was elastische Fasern und Muskelgewebe in einem Gelbton erscheinen lässt. Diese Lösung wird durch die zweimalige Spülung mit demineralisiertem Wasser wieder abgespült. Für die Dehydrierung werden die Präparate zweimal in 96-prozentigem

Alkohol und folgend in 100-prozentigem Alkohol für jeweils 2 min eingelegt. Der Alkohol wird schließlich mit zweimaliger Waschung mit Xylol für jeweils 2 min wieder entfernt. Zur Haltbarmachung werden die Präparate auch hier mit xylolhaltigem Eindeckmedium, dem DePeX oder ROTI®Mount und einem Deckglas abgedeckt. [2, 17, 61, 78]

2.3.3 AZAN-FÄRBUNG

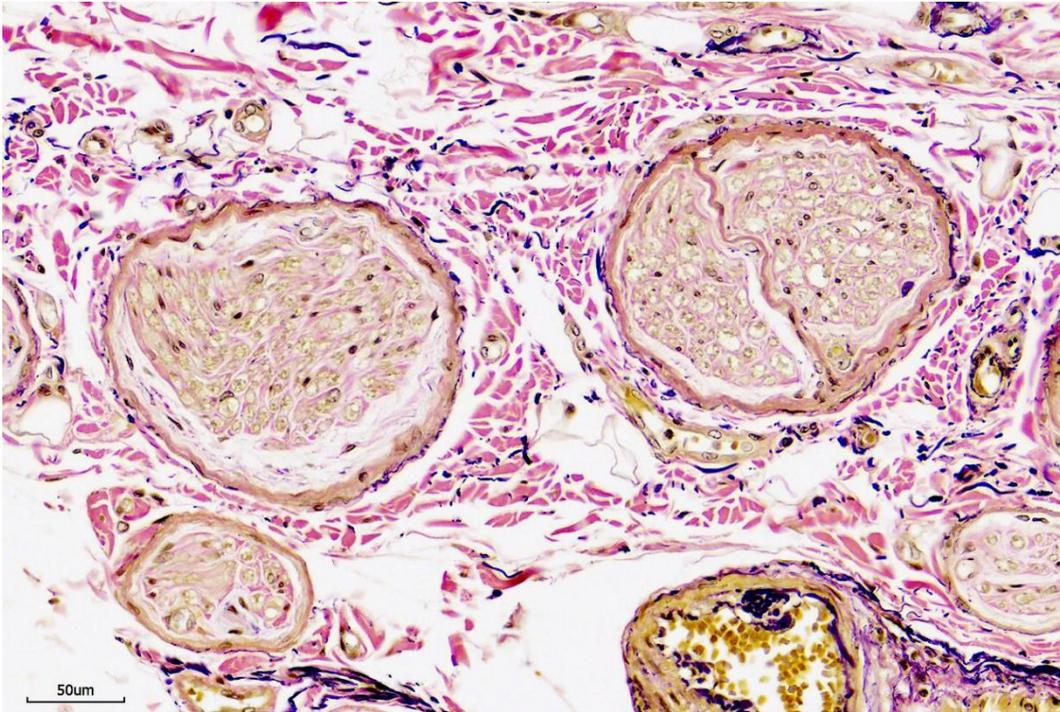


ABBILDUNG 2.7: Beispielhafte lichtmikroskopische Aufnahme der Färbung in EvG an Nervengewebe eines *M. OMH* im *cranialen* Bereich der Zwischensehne, 20x

Für die Azan-Färbung (siehe Abbildungen 1.12, 1.8 und 2.8) müssen die Präparate zunächst bei 60 °C für 20 min erhitzt werden, anschließend für 10 min mit Xylol entparaffiniert und danach in absteigenden Ethanolbädern von 100 %, 96 %, 90 %, 70 %, 50 % für jeweils 2 min vorbehandelt werden. Der Alkohol wird mit *Aqua bidest* abgespült. Für die folgende Azan-Färbung benötigt man eine Azokarminlösung. Diese wird hergestellt, indem 0,1 g Azokarmin G in 100 ml *Aqua destillata* kurz aufgekocht, danach filtriert und 100 ml des Filtrates schließlich mit 1 ml Eisessig gemischt wird. Die Präparate werden in dieser Lösung für 15 min belassen, bis sich diese rot verfärben. Die restliche Farbe wird mit *Aqua destillata*/Malte-Lösung für 10 min abgespült. Für die selektive Färbung der Zellkerne werden die Präparate für 1 min in Anilinalkohol gestellt, welcher aus 100 ml 90-prozentigem Ethanol und 0,1 ml Anilin besteht, bis nur noch die Zellkerne rot angefärbt sind. Das Ganze wird mit essigsauerm Alkohol für 1 min ausgewaschen. Falls das Gewebe noch zu rötlich erscheint, kann der Vorgang mit dem Anilinalkohol und dem essigsaueren Alkohol wiederholt werden. Zum Entfärben des Bindegewebes werden die Schnitte für 40 min in 5-prozentige Phosphorwolframsäure gegeben.

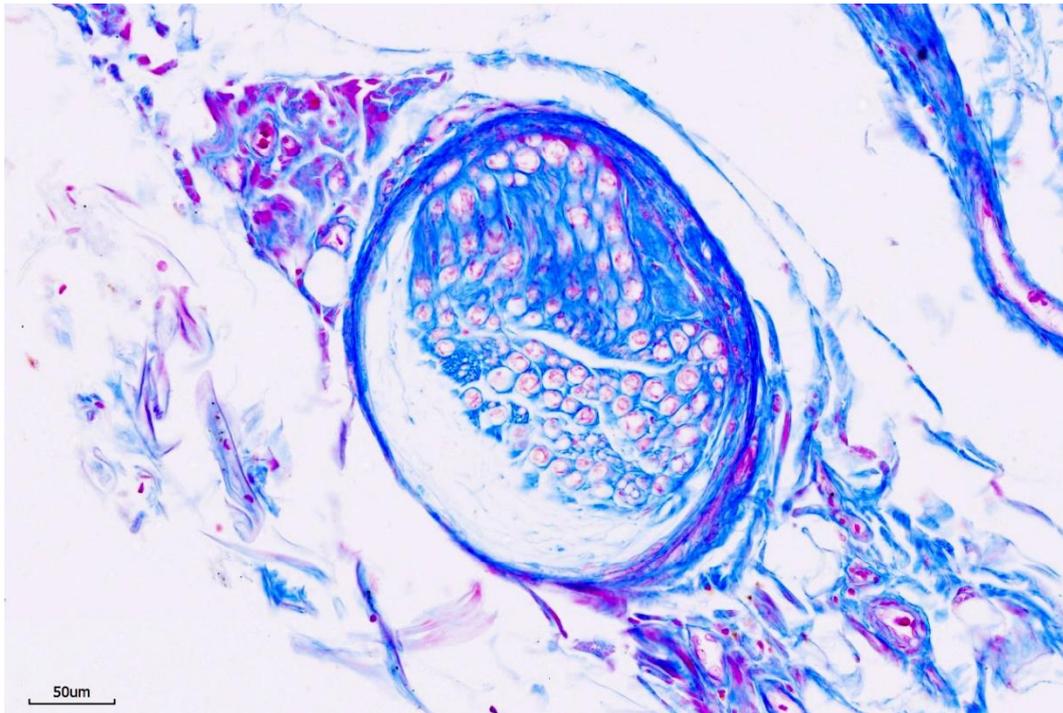


ABBILDUNG 2.8: Beispielhafte lichtmikroskopische Aufnahme der Färbung in Azan von Nervengewebe eines *M. OMH* im Bereich der Zwischensehne, 20x

In der Zwischenzeit kann das Anilinblau-Orange-Gemisch hergestellt werden. Es besteht aus 0,5 g Anilinblau mit 2 g Orange G, die in 100 ml *Aqua destillata* gelöst werden. Dieses Gemisch wird mit 8 ml Eisessig versetzt, kurz aufgekocht und danach filtriert. Die fertige Lösung wird im Verhältnis 1:2 mit *Aqua destillata* verdünnt.

Die Schnitte werden nach dem Bad in der Phosphorwolframsäure mit *Aqua destillata* gespült und anschließend für 15 min in der hergestellten Anilinblau-Orange-Lösung eingelegt.

Um eine bessere Gewebedifferenzierung zu erzielen, sollte es idealerweise unter mikroskopischer Kontrolle mit 96-prozentigem Ethanol oder für einen langsameren Prozess mit 96-prozentigem Isopropanol versetzt werden, bis das gewünschte Ergebnis erreicht ist. Schließlich folgt auch bei dieser Färbung die Entwässerung mithilfe einer aufsteigenden Alkoholreihe. Der Alkohol wird mit einem Xylolbad aus den Präparaten gewaschen und die Präparate mit DePeX oder ROTI®Mount fixiert. [2, 17, 78]

2.3.4 IMMUNHISTOCHEMISCHE FÄRBUNGEN

Die erste immunhistochemische Färbung, die in dieser Arbeit verwendet wurde, färbt spezifisch humane Neurofilamente. In diesem aufwändigen und komplexen

Verfahren werden die Antigene auf den Neurofilamenten demaskiert und mit speziellen Antikörpern beladen. Diese können selektiv angefärbt werden, um so die Neurofilamente unter dem Mikroskop sichtbar zu machen.

Dafür werden die Schnitte zuerst auf dem Objektträger in einem Ofen bei 70 °C für 1-2 Stunden fixiert. Danach erfolgt die Entparaffinierung durch den Roticlear® für zweimal 10 min, gefolgt von einer absteigenden Alkoholbadreihe für jeweils 3 min in 100 % Alkohol, 90 %, 50 % und schließlich destilliertem Wasser. Im nächsten Schritt werden die Antigene durch Hitze in einem Dampfdruckkocher bei 121 °C für 5 min demaskiert. Es folgt die Reinigung mit phosphatgepufferter Salzlösung (PBS) für 3 min. Zur Hemmung der endogenen Peroxidasen werden die Präparate mit 0,6-prozentigem Wasserstoffperoxid (H₂O₂) in PBS für 10 min bei Raumtemperatur (RT) gelöst und dann mit PBS für 1-5 min ausgewaschen. Die Proben sollten danach mit einem PAP-Pen (*Liquid Blocker Hydrophobic Barrier PAP Pen*) umfahren werden, um eine *hydrophobe* Barriere zu schaffen, sodass weniger Reagenzien verloren gehen. Diese Markierung sollte gut trocknen. Nun kommen gereinigtes Anti-h-pNF mit einer Konzentration von 2 µg/ml und *murine* Immunglobuline

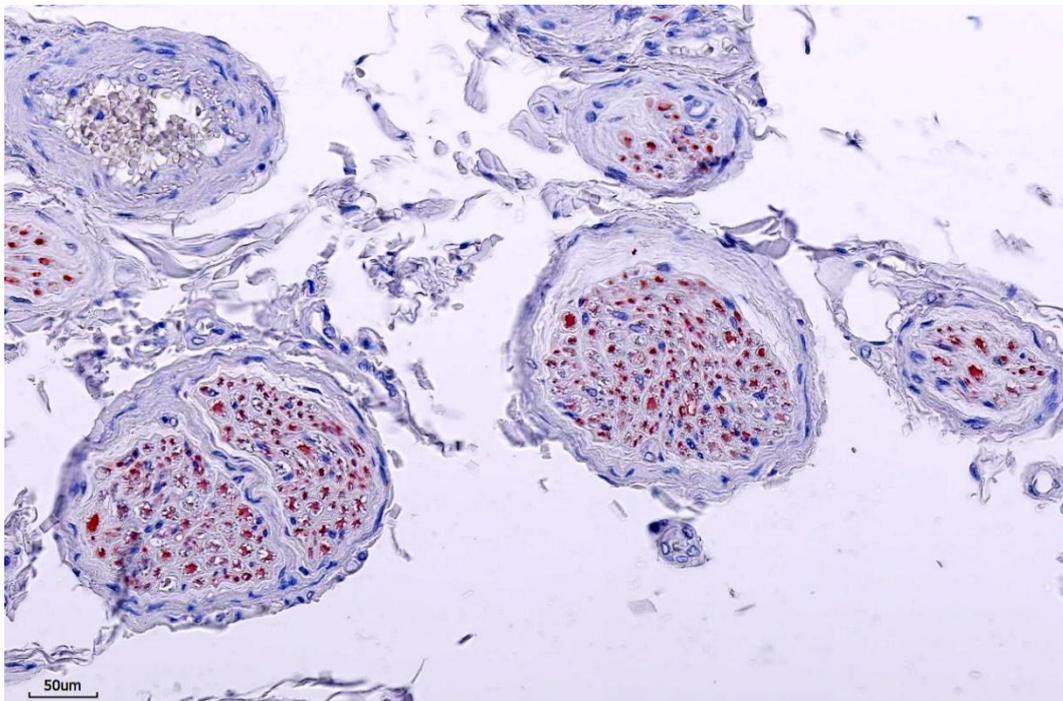


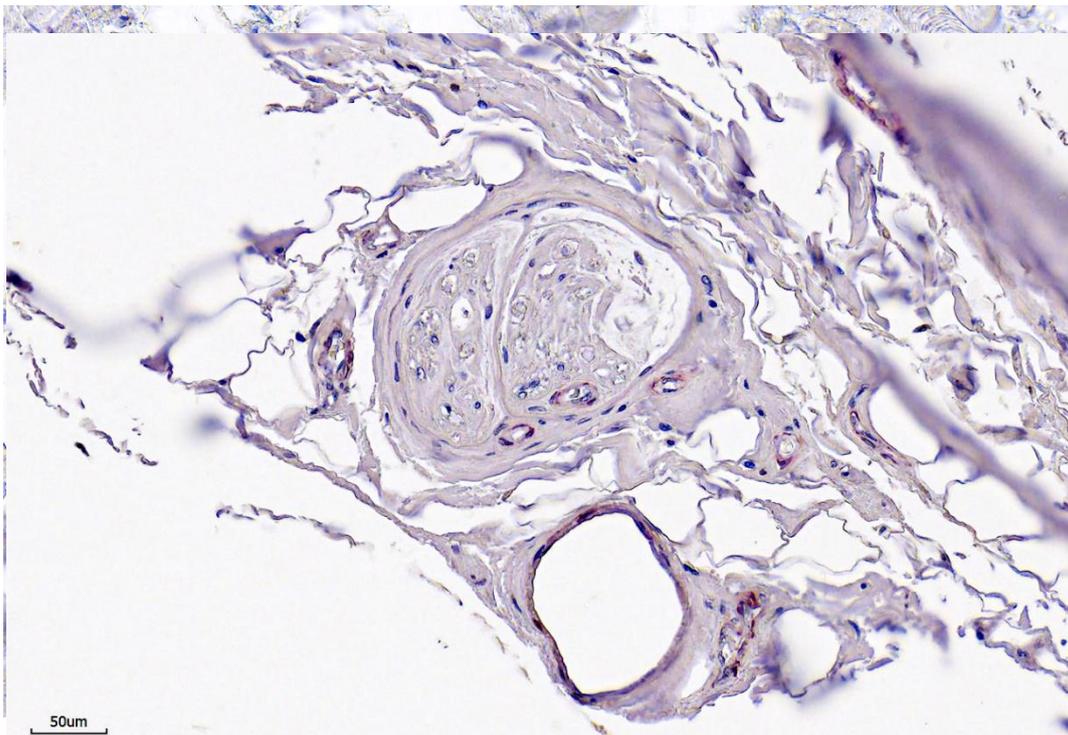
ABBILDUNG 2.9: Beispielhafte lichtmikroskopische Aufnahme der Färbung in pNFM von Nervengewebe eines *M. OMH* im *cranialen* Bereich der Zwischensehne, 20x. Die braunrote Färbung entsteht durch die spezifische Anfärbung von Neurofilamenten

IgG1 und IgM für die Negativkontrolle, ebenfalls in 2 µg/ml Konzentration, zum Einsatz. Das Anti-h-pNF ist ein spezifischer polyklonaler Antikörper gegen die schweren Ketten des Neurofilaments. Zu den Antikörpern und den Immunglobulinen wird 3-5-prozentiges Pferdeserum beigemischt, auf die Präparate gegeben und über

Nacht bei RT gelassen. Am nächsten Tag werden die Präparate dreimal für jeweils 5 min in PBS gebadet.

Als Nächstes folgt die Biotinylierung mit Anti-Maus-IgG und -IgM in PBS mit einer 1:250-Verdünnung für 75 min bei RT. Nach Abschluss dieses Schrittes werden alle Reagenzien zweimal für 5 min mit PBS gespült. Danach erfolgt die Inkubation mit Streptavidin-HRP (*Horseradish Peroxidase*) in einer 1:750-Verdünnung für 60 min bei RT. Danach folgt eine zweimalige 5-minütige Spülung mit PBS. Unter mikroskopischer Kontrolle werden die Präparate für 1-3 min bei RT mit NovaRED®-HRP-Substrat versetzt. Dieses wird anschließend mit Wasser oder PBS abgespült und dann für 15 Sekunden mit Hämatoxylin gegengefärbt. Die Farbe wird fünfmal für jeweils 1 min mit Wasser wieder abgewaschen. Danach wird alles in 30-90 Sekunden mit gesättigtem Lithium-Carbonat (Li_2CO_3) gelöst und anschließend kurz mit Wasser abgewaschen. Zum Schluss erfolgt die Dehydrierung mit 70 %, 96 % und 100 % Alkohol, bevor die Präparate dreimal mit Xylol versetzt und schließlich mit DePeX oder ROTI®Mount fixiert werden. [2, 78]

Die zweite immunhistochemische Färbung basiert auf einem ähnlichen Prinzip. Die Antikörper richten sich gegen das Alpha-Aktin-2, welches auch Alpha-Smooth-Muskel-Aktin, abgekürzt α -SMA genannt wird [45]. Dieses Protein wird vor allem in Zellen der glatten Muskulatur und in Myofibroblasten exprimiert und ist für die



ABILDUNG 2.11: Beispielhafte lichtmikroskopische Aufnahme einer Färbung mit α -SMA von Nervengewebe eines *M. OMH* im Bereich der Zwischensehne, 20x. Die braunrote Färbung entsteht durch die spezifische Anfärbung von glatten Muskelzellen. Dadurch wird die glatte Gefäßmuskulatur deutlich hervorgehoben.

Kontraktilitätsfähigkeit zuständig [45]. Durch diese Spezialfärbung können Zellen mit Alpha-Aktin-2 selektiv angefärbt werden.

Zu Beginn müssen die Präparate zur Fixierung bei 70 °C für 30-60 min in den Ofen. Danach erfolgt die Entparaffinierung durch den Roticlear® für 15 min, gefolgt von einer absteigenden Alkoholbadreihe für jeweils 3-5 min in 100 % Alkohol, 90 %, 50 % und schließlich destilliertem Wasser. Um die Antigene zu demaskieren, bedarf es 5 min Hitze im Dampfdruckkocher bei 121 °C. Es folgt die Reinigung mit phosphatgepufferter Salzlösung (PBS) für 3 min. Zur Hemmung der endogenen Peroxidasen werden die Präparate mit 0,6-prozentigem Wasserstoffperoxid (H₂O₂) in PBS gelöst und für 10 min bei Raumtemperatur (RT) versetzt und folglich mit PBS für 1-5 min ausgewaschen. Die Proben sollten auch hier mit einem PAP-Pen umfahren werden. Nun kommen die polyklonalen Antikörper gegen das α-SMA mit 20 µg/ml

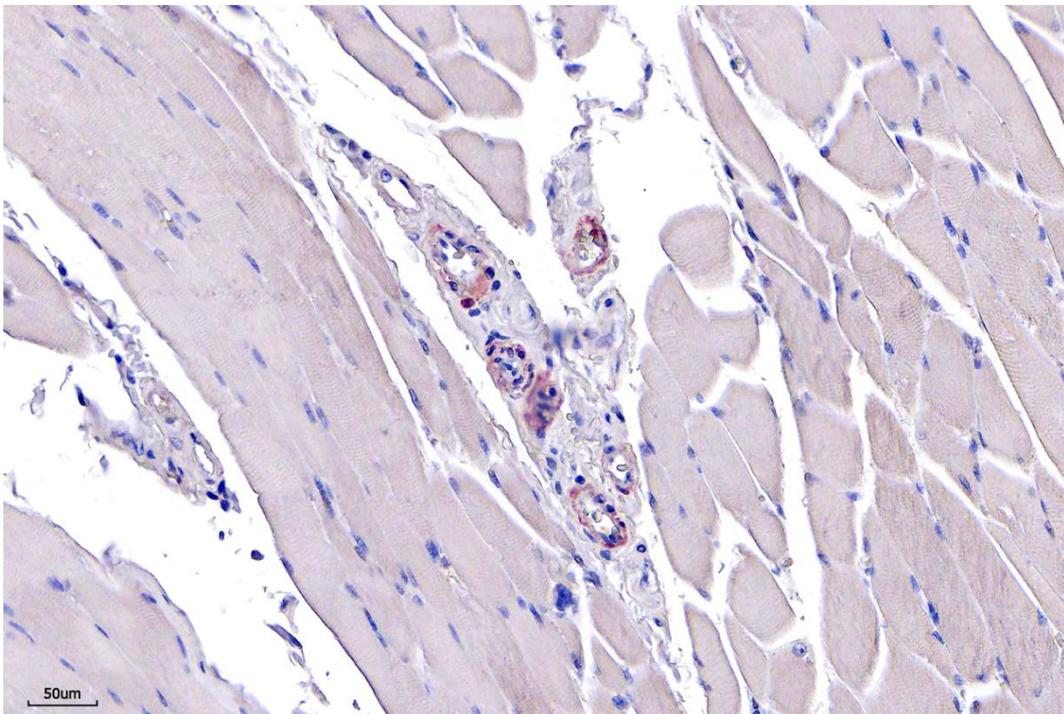


ABBILDUNG 2.12: Lichtmikroskopische Aufnahme eines RK eines *M. OMH* im *cranialen* Bereich einer Zwischensehne in α-SMA, 20x. Die braunrote Färbung zeigt spezifisch glatte Muskelzellen

und IgG-Antikörper von Kaninchen, ebenfalls mit einer Konzentration von 20 µg/ml, als Negativkontrolle zum Einsatz. Diese Antikörper werden mit 3-5-prozentigem Ziegenserum für 60 min bei 36 °C auf die Präparate gegeben. Dieses Reagenz wird nach der abgelaufenen Stunde dreimal für jeweils 5 min mit PBS abgespült. Danach wird biotinyliertes Anti-Kaninchen-IgG von Ziegen in einem Verhältnis von 1:250 in PBS verdünnt und für 40 min bei RT auf die Präparate gegeben. Anschließend wird diese Lösung erneut zweimal für jeweils 5 min mit PBS abgespült. Es erfolgt die Inkubation mit Streptavidin-HRP mit einer Verdünnung von 1:800 für 30 min bei RT. Dieses wird zweimal für jeweils 5 min mit PBS entfernt und anschließend für 1 min bei RT in das NovaRED®-HRP-Substrat gegeben. Dieses wird mit Wasser oder PBS

ausgewaschen. Daraufhin werden die Präparate für 1 sek in Hämatoxylin getaucht und fünfmal für jeweils 1 min mit Wasser gewaschen. Schließlich folgt die Dehydrierung mit 70 %, 96 % und 100 % Alkohol, bevor die Präparate dreimal mit Xylol versetzt und mit DePeX oder ROTI®Mount fixiert werden. [2, 78]

2.4 VISUALISIERUNG

Zur Dokumentation der Mikroskopie und zur visuellen Darstellung der Ergebnisse wurde jedes Präparat eingescannt. Auf dem so entstandenen Ausdruck wurden die Fundorte von RK, MS, Nervengewebe und Blutgefäßen erfasst. Dies ermöglichte eine topografische Zusammenfassung der Funde auf einer schematischen Zeichnung eines Querschnittes eines *M. OMH*. Die topografische Kartierung der gefundenen Propriozeptoren erfolgte getrennt für die rechte sowie die linke Seite und wurde in den fünf Entnahmeebenen aus den Bereichen des Ursprunges, des *inferioren Venter*, der Zwischensehne, des *superioren Venter* und des Ansatzes vorgenommen, die im Kapitel 2.1 näher erläutert und in der Abbildung 2.3 dargestellt werden. Zusammenfassend wurden die Propriozeptoren beider Seiten auf der jeweiligen Entnahmeebene aufsummiert. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um ein mögliches Verteilungsmuster der Propriozeptoren visuell erkennen zu können.

Gleichzeitig wurden die Verteilung und Häufung von RK und MS tabellarisch festgehalten. Hierfür wurde der Muskelquerschnitt in beiden Ebenen halbiert. *Sagittal* befindet sich die *mediale* Seite des Muskels, die während der Herstellung der Präparate mithilfe einer grünen Spezialtinte markiert worden ist. *Transversal* entspricht der *craniale* Teil des Präparates der *dorsalen* und der *caudale* Teil der *ventralen* Seite des Muskels. Auf diese Weise wurde eine räumliche Zuordnung des Fundortes der Propriozeptoren ermöglicht. Zusätzlich wurde die Nähe der Propriozeptoren zu Blutgefäßen und Nervenfasern dokumentiert. Der Fundort der RK im Muskelgewebe, im *Perimysium* oder im *Epimysium* wurde ebenfalls dort verzeichnet.

Aus den so gesammelten Informationen konnten Kartierungen des Verteilungsmusters von RK und MS von einem Muskelquerschnitt erstellt werden. Diese Kartierungen erfolgten in allen fünf Entnahmeebenen jeweils getrennt nach Körperseiten sowie als Summe beider Seiten von allen vorhandenen Querschnitten von acht Körperspendern. Die Körperspender sind zwischen 71 und 94 Jahre alt, mit einem Durchschnittsalter von 82 Jahren. Darunter befinden sich fünf weibliche und drei männliche Körper.

Die Erstellung aller Tabellen, Diagramme sowie die statistischen Berechnungen wurden mit den Programmen IBM® SPSS® Statistics und Microsoft® Excel vorgenommen. Für die Bildbearbeitung der Fotografien wurde Adobe Photoshop® genutzt. Alle Zeichnungen wurden in enger Zusammenarbeit mit der technischen Zeichnerin Frau C. Opfermann-Rüngeler angefertigt.

3 AUSWERTUNG

3.1 HYPOTHESEN

Insgesamt ließen sich in den Proben des *M. OMH* 110 RK und 292 MS auf einer untersuchten Gesamtfläche von 281,31 Quadratcentimetern (cm²) Muskelproben als Präparate nachweisen. Es wurden Präparate mit der EvG-Färbung für die Analyse verwendet, da sich die anderen Färbungen im Laufe des Prozesses als weniger geeignet zeigten. Die Korrektheit der gefundenen Strukturen, die als RK identifiziert wurden, wurde durch die durchgeführten immunhistochemischen Färbungen bestätigt. Für die folgenden grafischen Darstellungen und statistischen Analysen wurde die relative Anzahl der Propriozeptoren jeweils pro Fläche angegeben, um einen Vergleich zwischen den Schnittebenen und den Seiten des *M. OMH* anhand einer so geschaffenen Objektivierung der Daten zu ermöglichen. Während der Anfertigung der Präparate wiesen manche *Mm. OMH* eine teilweise große anatomische Größenvarianz auf. Zusätzlich ergaben sich unterschiedliche Anzahlen an angefertigten Präparaten pro Körperspender und pro Schnittebene.

Die Dokumentation der mikroskopischen Arbeit erfolgte tabellarisch mit dem Programm Microsoft® Excel. Anhand dieser wurden die statistischen Berechnungen mit dem Programm IBM® SPSS® *Statistics* durchgeführt. Die graphischen Darstellungen wurden ebenfalls mit Microsoft® Excel erstellt. Zur Untersuchung wurden folgende Nullhypothesen mit einem Signifikanzniveau α von 0,01 formuliert:

- H1: Es zeigt sich keine topographische Häufung der Propriozeptoren in bestimmten Ebenen im *M.OMH*.
- H2: Es gibt in Bezug auf die rezeptive Ausstattung keinen signifikanten Unterschied zwischen dem *M. OMH* und anderen parallelfaserigen Muskeln.
- H3: Es besteht kein statistischer Zusammenhang zwischen der Anzahl der RK und der MS im *M. OMH*.

Die dazu äquivalenten Alternativhypothesen lauten:

- H01 (zu H1): Es zeigt sich eine topographische Häufung der Propriozeptoren in bestimmten Schnittebenen im *M.OMH*.
- H02 (zu H2): Es gibt in Bezug auf die rezeptiven Einheiten einen signifikanten Unterschied zwischen dem *M. OMH* und anderen parallelfaserigen Muskeln.
- H03 (zu H3): Es besteht ein statistischer Zusammenhang zwischen der Anzahl der RK und der MS im *M. OMH*.

Die folgend aufgeführten Daten sind nominal- und ordinalskaliert. Es wurden folgende statistische Tests angewandt: t-Test zur Analyse von Mittelwertunterschieden der Variablen, Kruskal-Wallis-Test zum Vergleich unabhängiger Gruppen und der Chi-Quadrat-Test zur Testung der Relation der Variablen auf Signifikanz.

3.2 VERGLEICH DER TOPOGRAFIE VON RUFFINI-KÖRPERCHEN UND MUSKELSPINDELN IM M. OMOHYOIDEUS

Die lichtmikroskopisch detektierten Propriozeptoren wurden auf einer Abbildung des jeweiligen Präparates markiert. Zusätzlich wurden topographische Beziehungen zu Nervengewebe und Gefäßen vermerkt. Aus diesen Daten konnten tabellarische und graphische Darstellungen erstellt werden. Aufgeteilt nach den fünf Schnittebenen, die im Kapitel 2.1 beschrieben werden, wurden die Ergebnisse aller Körperspender als Kartierung auf Skizzen der jeweiligen Ebenen aufgetragen (siehe

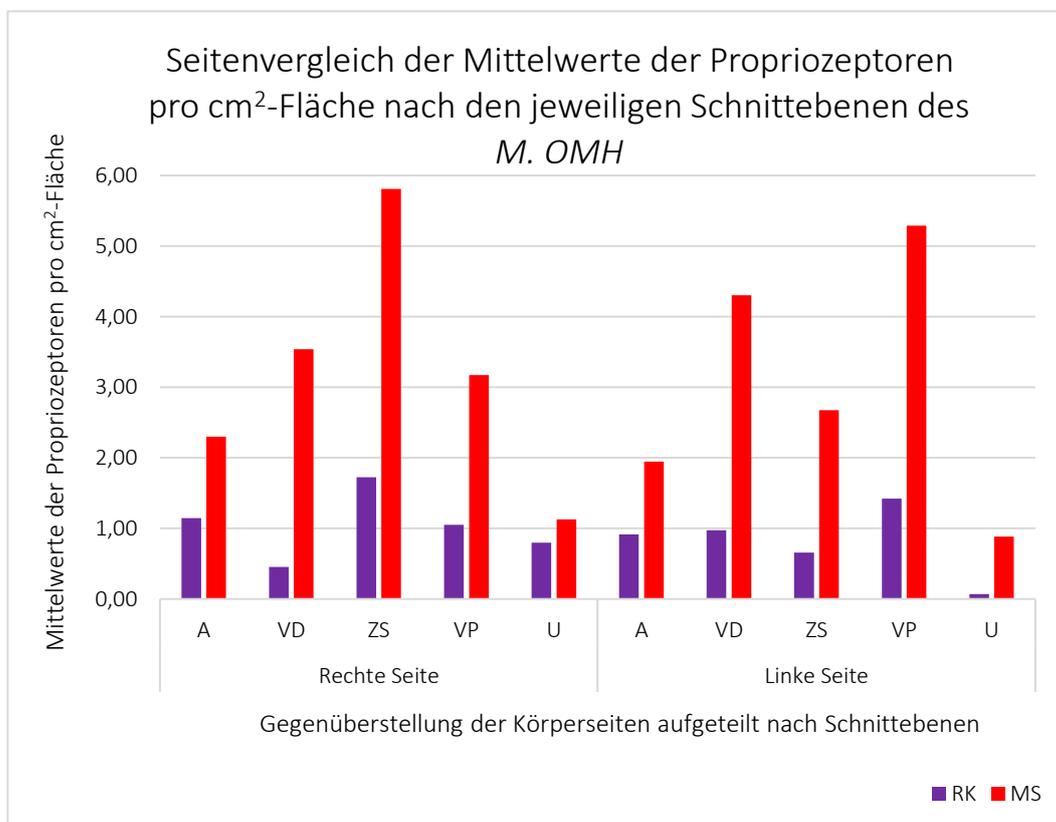


ABBILDUNG 3.1: Diagramm mit der Gegenüberstellung der rechten und der linken Seite des M. OMH in den fünf Schnittebenen. Die Werte sind Anteile pro cm² Fläche aller Querschnitte von allen Körperspendern aufsummiert und aufgeteilt nach den Körperseiten. Auf den ersten Blick fällt auf, dass die Bereiche der Ansätze und vor allem der Ursprünge auf beiden Seiten eine geringere Anzahl an Propriozeptoren pro cm² aufweisen.

Abbildungen 3.6 bis 3.8). Bereits visuell (vergleiche (vgl.) Abbildung 3.1) zeigte sich eine unterschiedliche Verteilung der Propriozeptoren im Seitenvergleich und in den jeweiligen Schnittebenen. In der Abbildung 3.1 ist zu erkennen, dass im Bereich der

Ursprünge und der Ansätze die Anzahl der RK und MS jeweils geringer ausfiel als in den anderen Schnittebenen pro cm²-Fläche. Gleichzeitig lässt sich rein visuell eine Seitendifferenz erahnen. Statistisch betrachtet, bestand bei den RK und MS pro cm²-Fläche im t-Test keine signifikante Seitendifferenz (bei RK pro cm²-Fläche p = 0,409 und bei MS pro cm²-Fläche p = 0,609). Aus diesem Grund erfolgte die Zusammenführung der Daten beider Seiten für die weiteren Analysen, um die vorhandene Datenmenge zu erhöhen und so Ungenauigkeiten möglichst zu reduzieren. Im Gegensatz zum Ergebnis des erwähnten t-Tests zeigte die visuelle Gegenüberstellung der Seiten (vgl. Abbildung 3.1), dass die Ausprägung der RK pro cm²-Fläche im Bereich des linken Ursprunges im Mittel geringer ausfiel. Im t-Test konnte dies als signifikant (p = 0,006) identifiziert werden. In den übrigen Gegenüberstellungen der Schnittebenen bestanden keine weiteren Signifikanzen, sodass zugunsten der Datenerhöhung und Reduktion von Ungenauigkeiten die Zusammenführung beider Seiten für die weiteren Analysen befürwortet wurde. Danach erfolgte der Vergleich der Ausstattung zwischen den weiblichen und den männlichen Körperspendern.

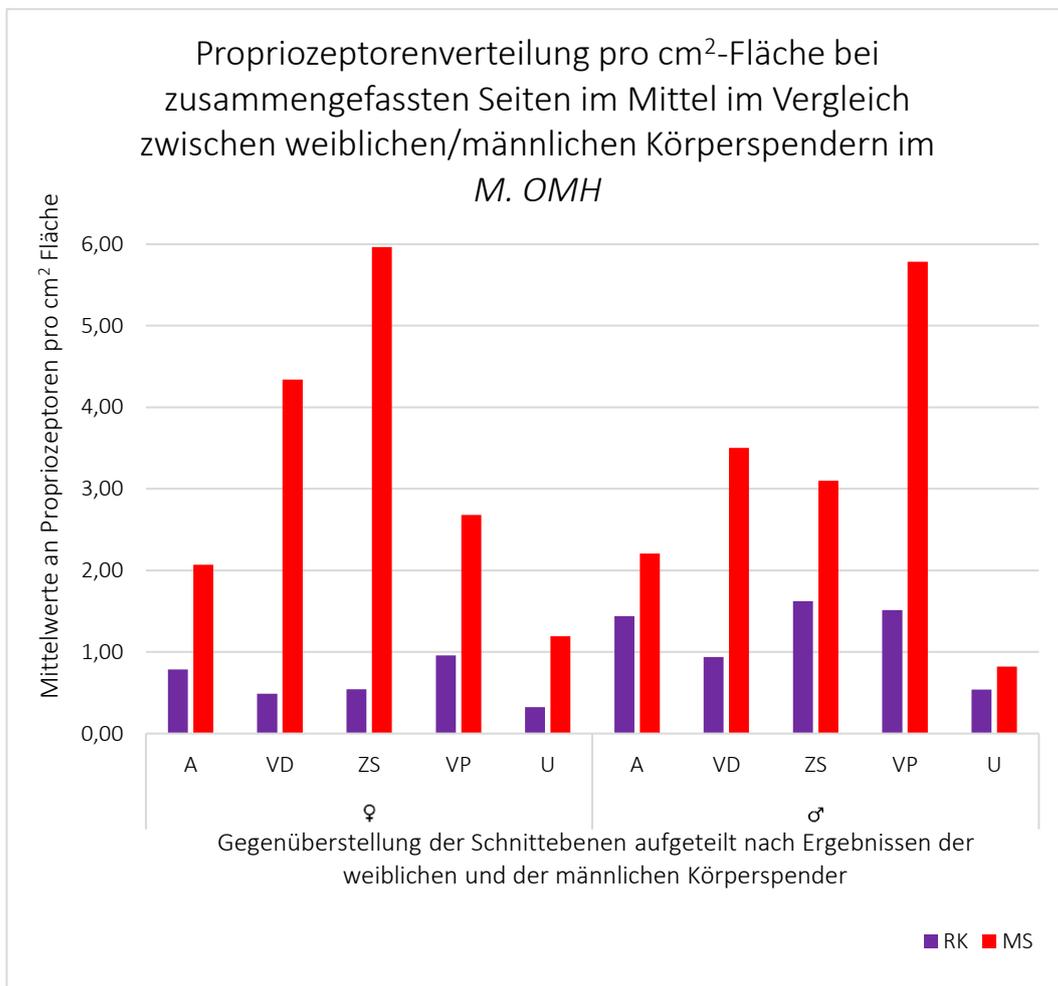


ABBILDUNG 3.2: Diagramm mit der Gegenüberstellung der Ausprägung der Propriozeptoren pro cm²-Fläche in weiblichen und männlichen Körperspendern, aufgeteilt nach den jeweiligen Schnittebenen im *M. OMH*. Auf den ersten Blick erscheint die Menge der RK pro cm²-Fläche in männlichen Körperspendern höher zu sein.

Hierbei zeigte sich ein signifikant ($p = 0,011$) gehäuftes Vorkommen von RK pro cm^2 -Fläche in männlichen Körperspendern (im Mittel ♀ 0,62 pro cm^2 -Fläche, ♂ 1,12 pro cm^2 -Fläche). Eine solche signifikante Häufung konnte bei den MS pro cm^2 -Fläche nicht nachgewiesen werden ($p = 0,946$; im Mittel ♀ 3,25 pro cm^2 -Fläche, ♂ 3,08 pro cm^2 -Fläche). Anhand dieser Ergebnisse konnten für die weiteren Analysen die Daten der MS von weiblichen und männlichen Körperspendern zusammengeführt werden, während die RK weiterhin nach weiblichen und männlichen Körperspendern getrennt betrachtet werden mussten. Die fünf Schnittebenen zeigten bei den MS pro cm^2 -Fläche im Kruskal-Wallis-Test ein p von 0,004 und damit eine hochsignifikante Streuung der Ausprägungen der Propriozeptoren in den jeweiligen Ebenen. Bei den RK konnten pro cm^2 -Fläche hingegen mit $p = 0,547$ bei den weiblichen und $p = 0,71$ bei den männlichen Körperspendern keine Signifikanzen nachgewiesen werden. Nachfolgend wurden aufgrund der oben aufgeführten Signifikanzen alle Schnittebenen im t-Test paarweise gegeneinander verglichen. Dabei konnte im Vergleich der Schnittebenen bei den MS pro cm^2 -Fläche mehrfach eine Signifikanz mit $p < 0,005$ festgestellt werden. Diese bestanden zwischen A und VP ($p = 0,024$), VD und VP ($p = 0,048$), ZS und U ($p = 0,021$) sowie VP und U ($p = 0,017$). Mit diesen Ergebnissen konnte die bereits rein visuell erkennbare Unterscheidung der Ausprägungen, die in Abbildung 3.2 dargestellt ist, statistisch belegt werden. Im Vergleich der übrigen Schnittebenen ergaben sich keine weiteren relevanten Signifikanzen, ebenso bestanden keine im Vergleich der Daten bei den RK pro cm^2 -Fläche. Angesichts der bereits festgestellten Differenzen zwischen den weiblichen und männlichen Körperspendern sowie der visuellen Beobachtung (vgl. Abbildung 3.2) einer unterschiedlichen Ausprägung wurden die Schnittebenen der weiblichen und männlichen Körperspender für eine detaillierte Analyse der erwähnten Signifikanz im Einzelnen gegenübergestellt. Eine schwache Signifikanz von $p = 0,067$ konnte im Bereich der VP belegt werden, die aussagt, dass männliche Körperspender signifikant mehr MS pro cm^2 -Fläche auswiesen als weibliche. Eine Signifikanz konnte bei den RK pro cm^2 -Fläche nicht identifiziert werden.

Die Konnektivität des *M. OMH* im Bereich der ZS mit der *Lamina praetrachealis* könnte rezeptiv einen Sonderbereich darstellen. Zur detaillierten Analyse wurde daher jedes Präparat anhand der grünen Tuschemarkierung, die bei der Herstellung der Präparate gesetzt wurde, und anhand der jeweiligen Fläche eines Präparates visuell in vier möglichst gleich große Abschnitte aufgeteilt (*medioventral*, *mediodorsal*, *lateroventral* und *laterodorsal*). Dies sollte eine Identifikation möglicher rezeptiver topographischer Felder ermöglichen. Folglich wurden die Daten, getrennt nach MS und RK, im Chi-Quadrat-Test gegenübergestellt. Eine Signifikanz bestand bei der Häufung von MS pro cm^2 -Fläche im Vergleich *mediodorsal* und *laterodorsal* mit einem Likelihood-Quotienten von 0,032 sowie im Bereich *mediodorsal* und *lateroventral* mit einem schwach signifikanten Likelihood-Quotienten von 0,083. Bei den RK pro cm^2 -Fläche bestand nur im Vergleich *medioventral* und *mediodorsal* ein

Likelihood-Quotient von 0,005. Bei den restlichen Gegenüberstellungen waren keine Signifikanzen bestehend. Die Daten wurden in der Abbildung 3.3 visualisiert.

Als letzte Analyse zu der oben genannten Hypothese wurde die Nähe zu Nerven und Gefäßen der Propriozeptoren genauer betrachtet, sowie deren Fundort im Inneren von muskulären (sekundären) Faserbündeln, im Bereich des Perimysiums, welches die Faserbündel umgibt, oder des Bereiches des Epimysiums, welches den

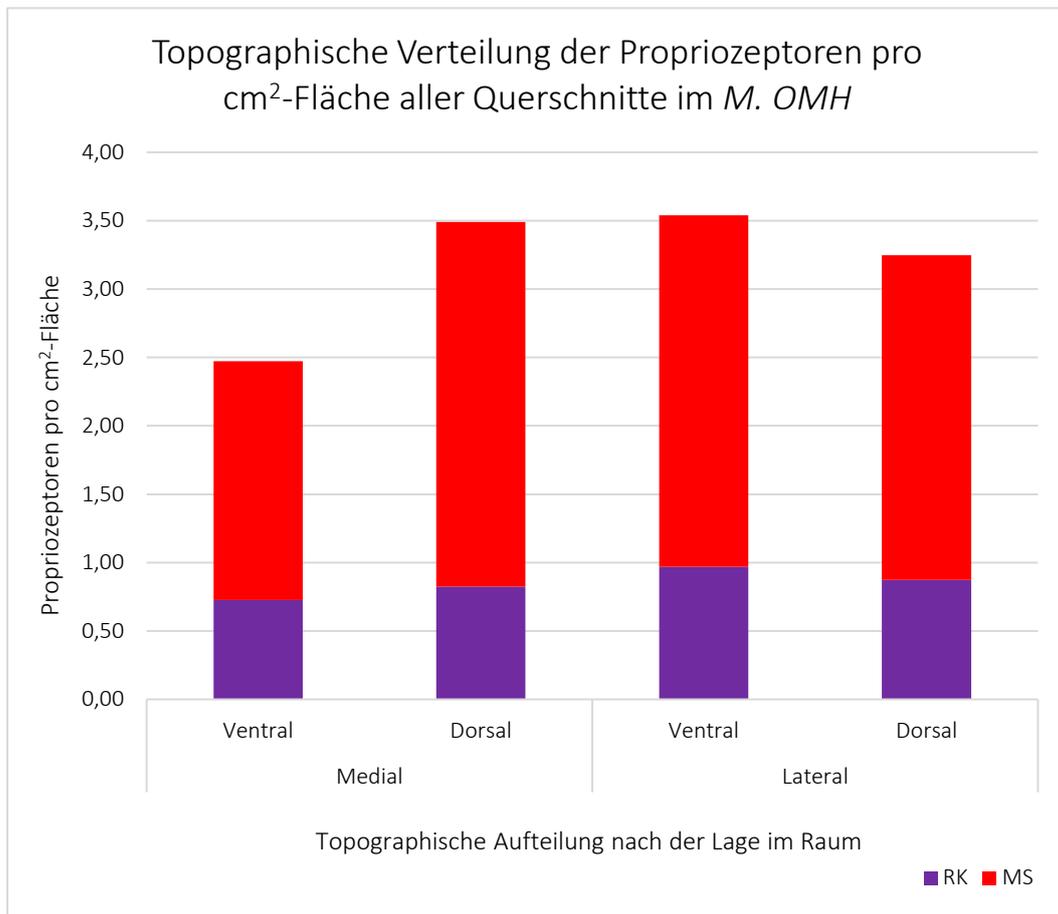


ABBILDUNG 3.3: Diagramm mit der topographischen Verteilung der Propriozeptoren pro cm²-Fläche aller Querschnitte des M. OMH. Visuell fällt die geringere Verteilung der MS pro cm²-Fläche im *medioventralen* Bereich auf. Ansonsten zeigt sich die Verteilung, rein optisch, bei MS und RK pro cm²-Fläche recht homogen.

gesamten Muskel umschließt. Anhand eines Chi-Quadrat-Tests konnte ein Likelihood-Quotient von $< 0,001$ nachgewiesen werden, was auf eine hohe Signifikanz in Bezug auf den örtlichen Fund der RK im M. OMH hinweist. Folglich wurden die einzelnen möglichen Lagen in t-Tests paarweise analysiert. Dabei zeigte sich in allen Vergleichen eine hohe Signifikanz mit $p < 0,001$. Die meisten RK lagen hochsignifikant im Bereich der Muskelfaserbündel, was 56 % aller gefundenen RK entspricht. Prozentual waren die RK zu 33 % im Perimysium und zu 10 % im Epimysium zu finden. Propriozeptoren können je nach Lage und je nach Konnektivität zu anderen Strukturen, wie z. B. Blutgefäßen oder Nervengewebe, die Informationen an

unterschiedliche Zentren steuern, wodurch sich unterschiedliche funktionelle Einheiten herausstellen können. Um diesen Aspekten ebenfalls Beachtung zu schenken, wurde während der Mikroskopie der örtliche Bezug zu Gefäßen und Nerven dokumentiert. Anhand der Daten wurde in der Chi-Quadrat-Gegenüberstellung von RK in Gefäß- und Nervennähe ein signifikanter Likelihood-Quotient von 0,008 erzielt. RK konnten im alleinigen Bereich von Nerven lediglich zu 1 % gefunden werden. 4 % der identifizierten RK befanden sich direkt an gemeinsamer Angrenzung zu Nervengewebe und Blutgefäßen, 22 % lagen in direkter Nachbarschaft zu Gefäßen und 72 % der RK lagen frei, ohne Nähe zu Nerven oder Gefäßen (vgl. Abbildung 3.4). Alle MS konnten ausschließlich in den Muskelfaserbündeln gefunden werden. Der Likelihood-Quotient betrug 0,038 in der Analyse der Nähe der MS zu Nerven-geflechten bzw. Gefäßformationen. Zu 31 % und 30 % befanden sich die MS in direkter Nachbarschaft zu Nerven und Gefäßen, 8 % konnten in gemeinsamen Gebieten zwischen Nerven und Gefäßen gefunden werden und 31 % der MS lagen frei im Muskelgewebe (vgl. Abbildung 3.5).

Prozentuale Anteile der örtlichen Nähe von RK zu Nervengewebe oder Blutgefäßen im *M. OMH*

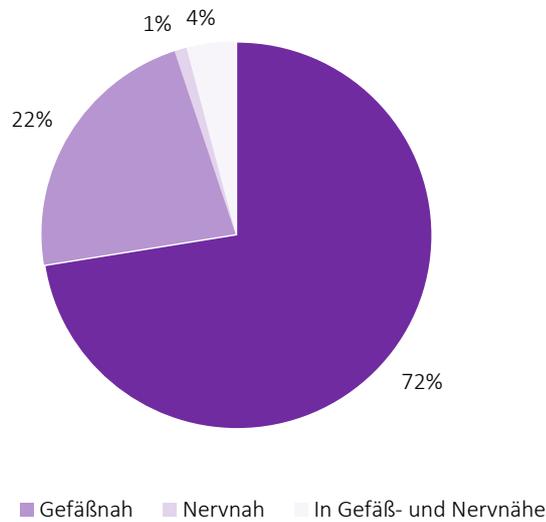


ABBILDUNG 3.4: Kreisdiagramm mit den prozentualen Anteilen der Lage der RK in den untersuchten Präparaten im *M. OMH*. Die meisten lagen frei, ohne Bezug zu Nervengewebe oder Gefäßformationen. In Bereichen von Nervengeflechten ohne Nähe zu Gefäßen konnten keine RK gefunden werden. Zu 21 % lagen die RK an Gefäßformationen.

Prozentuale Anteile der örtlichen Nähe von MS zu Nervengewebe oder Blutgefäßen im *M. OMH*

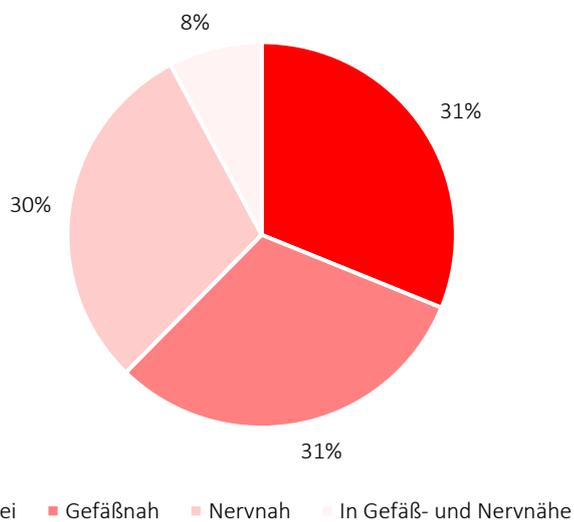


ABBILDUNG 3.5: Kreisdiagramm mit den prozentualen Anteilen der Lage der MS in den untersuchten Präparaten im *M. OMH*. Knapp zur Hälfte aller gefundenen MS lagen diese frei, während die andere Hälfte in direkter Nachbarschaft zu Nerven, Gefäßen oder zu Verbunden aus Nervengewebe und Blutgefäßen zu finden waren.

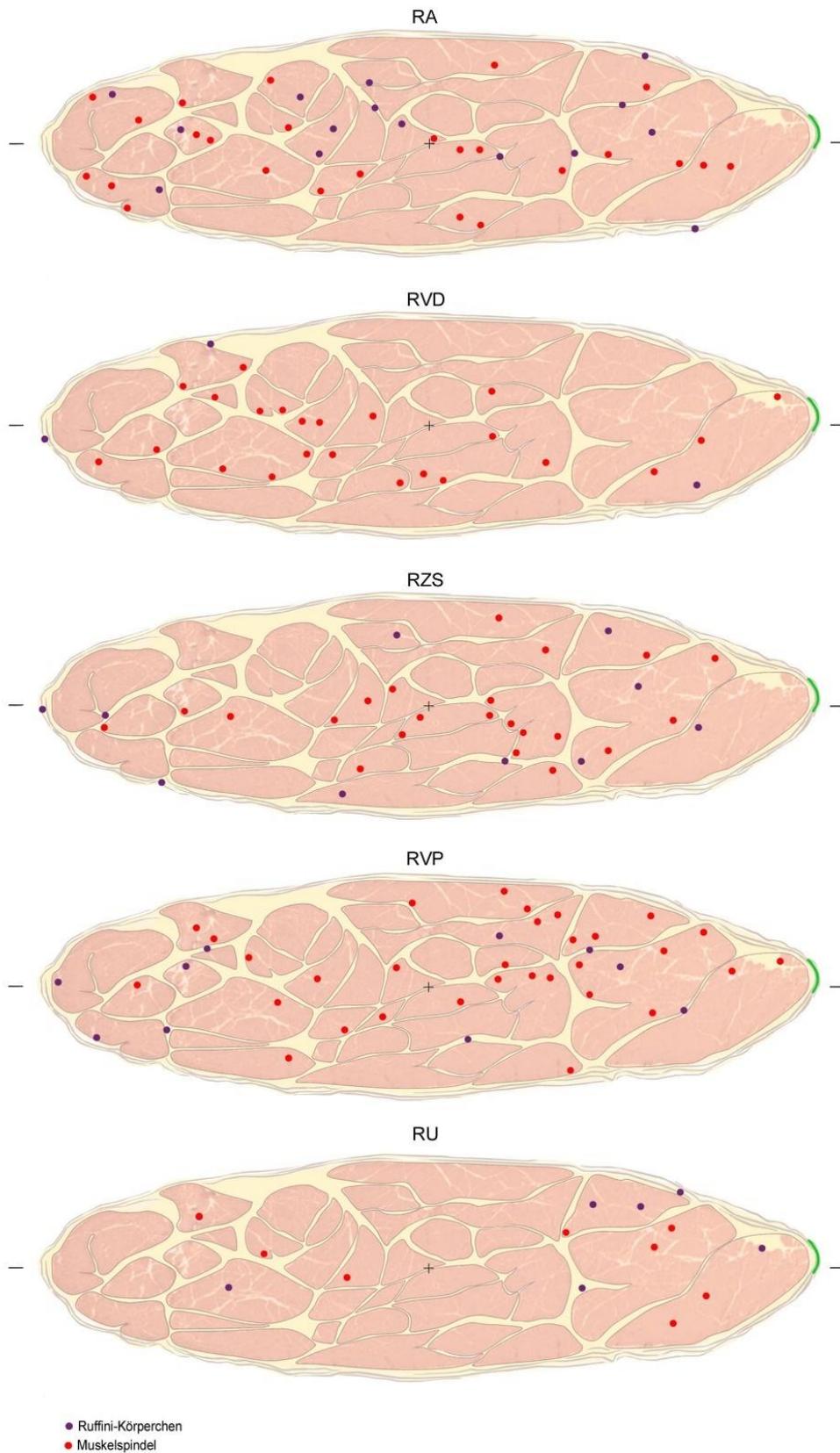


ABBILDUNG 3.6: Kartierung der Querschnitte der rechten *M. OMH* von 8 Körperspendern, summiert und aufgeteilt nach den fünf Schnittebenen. Die grüne Markierung weist nach *medial*.

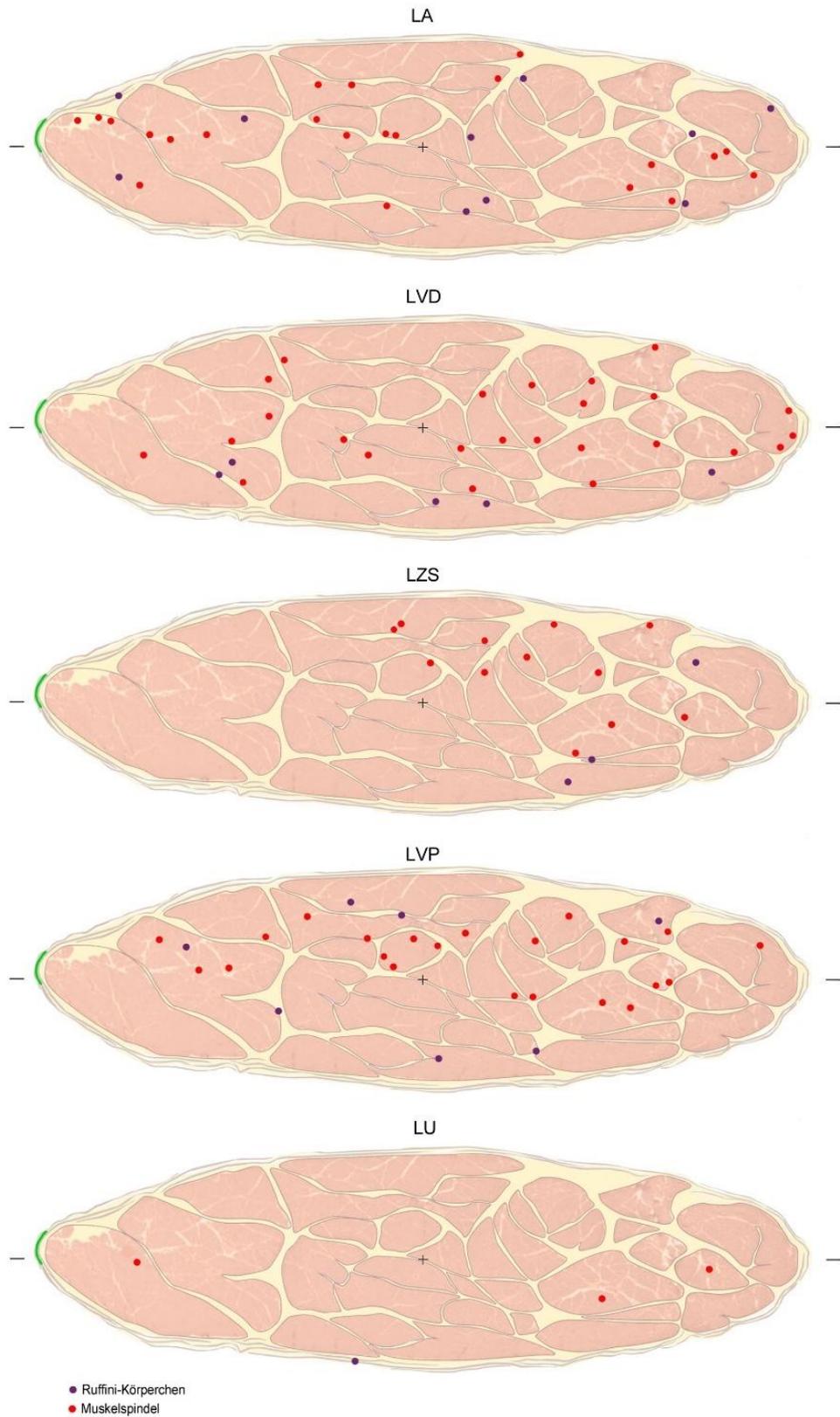


ABBILDUNG 3.7: Kartierung der Querschnitte der linken *M. OMH* von 8 Körperspendern, summiert und aufgeteilt nach Schnittebenen. Die grüne Markierung weist nach *medial*.

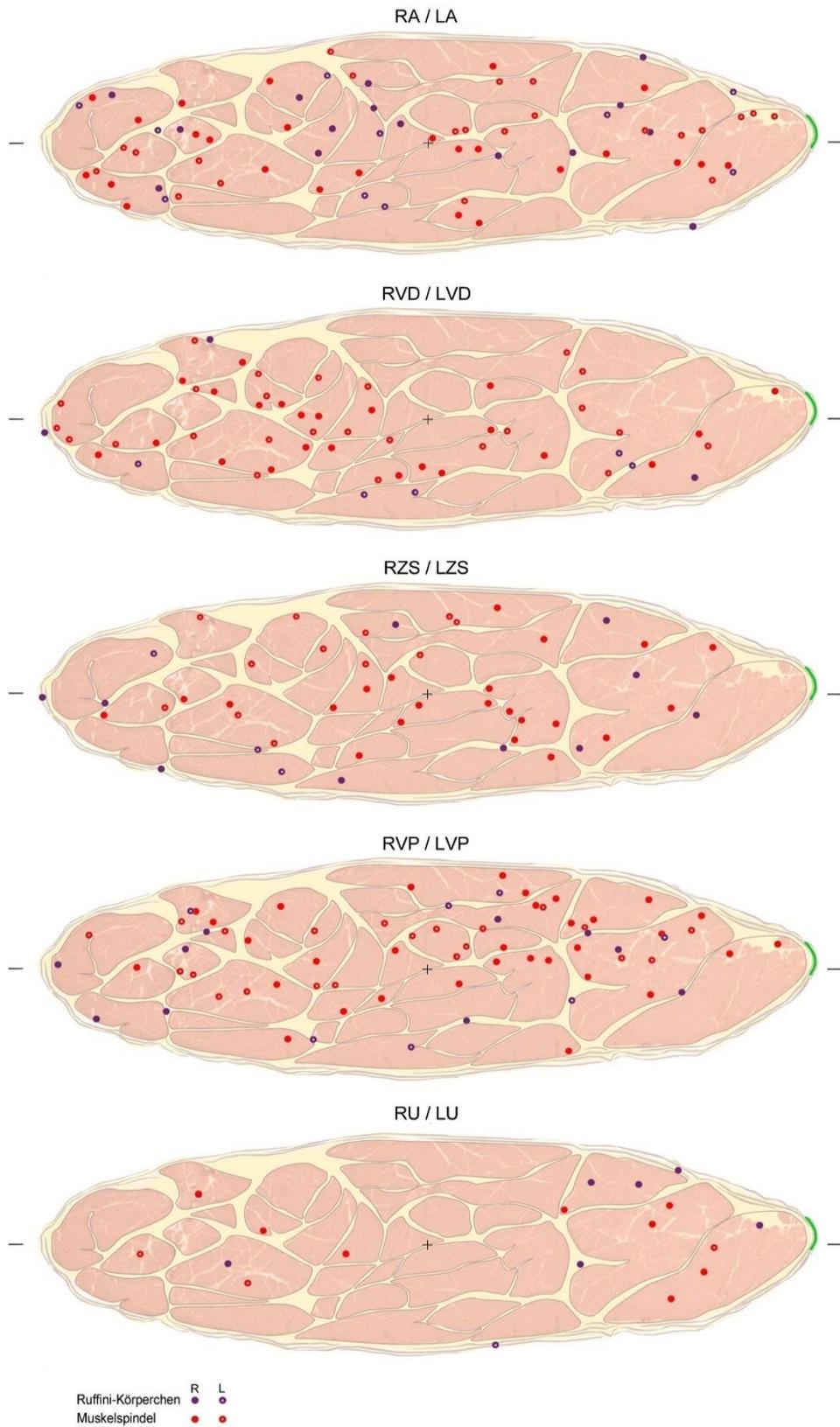


ABBILDUNG 3.8: Summierte Kartierung der Querschnitte der linken und der rechten *M. OMH* aufgeteilt nach Schnittebenen.

3.3 VERGLEICH DES VORKOMMENS VON RUFFINI-KÖRPERCHEN UND MUSKELSPINDELN IM M. OMOHYOIDEUS UND ANDEREN PARALLELFASERIGEN MUSKELN

Zum Vergleich der neuronalen Ausstattung des *M. OMH* wurden einige ebenfalls parallelfaserige Muskeln repräsentativ ausgesucht und histologisch untersucht. Dazu wurden von drei Körperspendern exemplarische Muskelproben aus ausgewählten Stellen des *M. PQ*, *M. SAR*, *M. STCL* und *M. VAS* entnommen. Die Gesamtfläche der untersuchten Proben betrug insgesamt 65,89 cm². Aufgrund von unterschiedlich großen Muskelproben und der unterschiedlichen Anzahlen an Präparaten sowie zur Objektivierung der Daten für einen möglichen Vergleich aller Muskelgruppen wurden die relativen Anzahlen der Propriozeptoren jeweils pro cm²-Fläche Präparat und zum Teil als Mittelwerte pro cm²-Fläche angegeben, auf die sich die folgenden Darstellungen und statistischen Berechnungen beziehen. In den Abbildungen 3.9 und 3.10 wird deutlich, dass die neuronale Ausstattung mit RK und MS im *M. OMH* die der anderen parallelfaserigen Muskeln übersteigt. Gleichzeitig zeigt das Diagramm 3.10, dass sich der *M. STCL* ebenfalls von den anderen

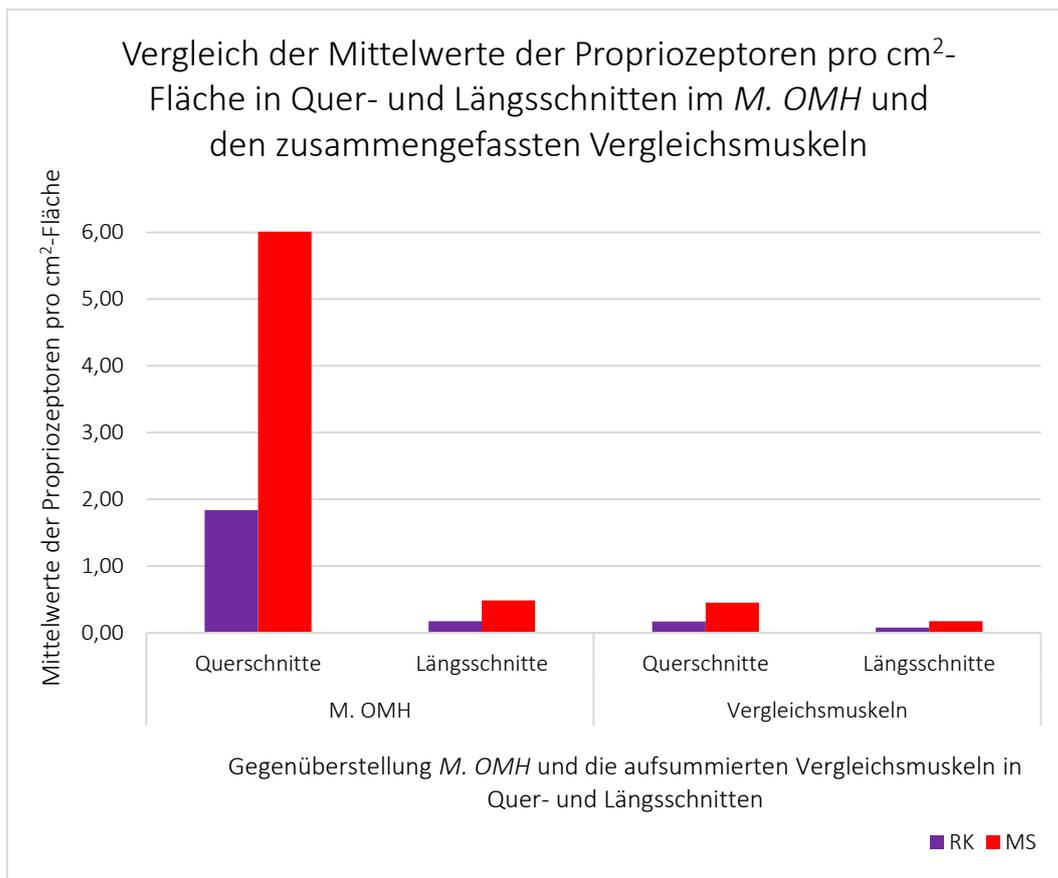
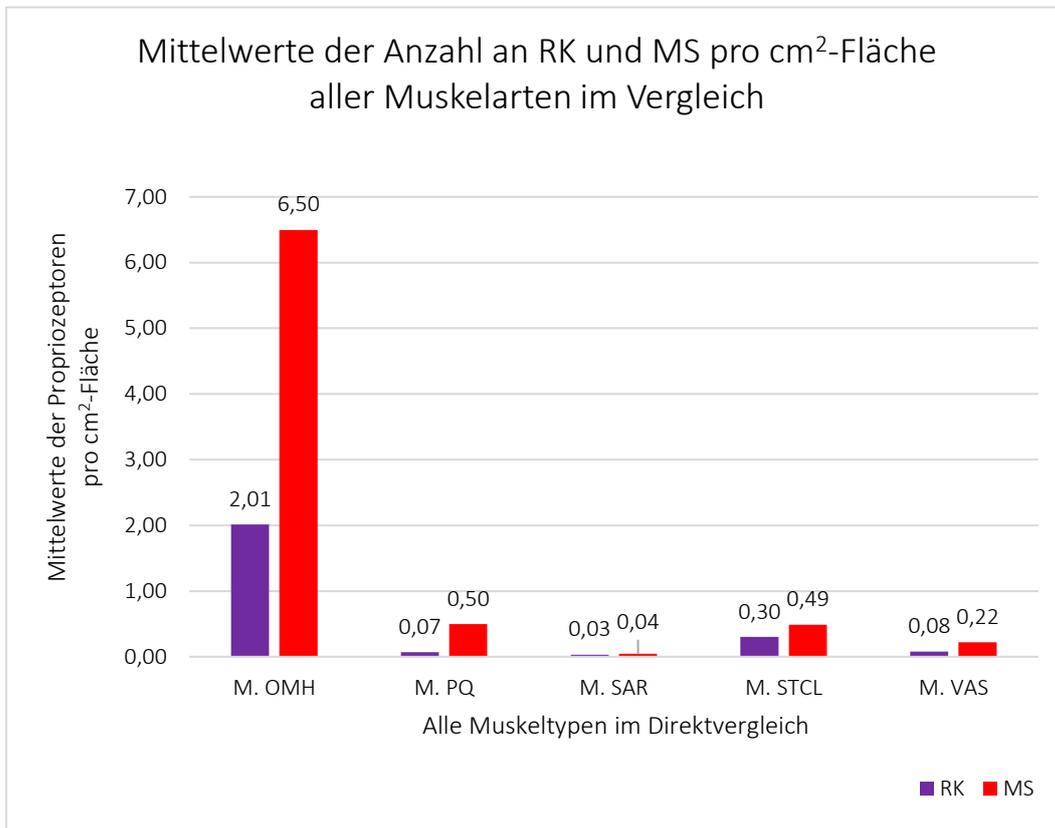


ABBILDUNG 3.9: Vergleich der Mittelwerte von RK und MS pro cm²-Fläche aufgeteilt nach *M. OMH* und den zusammengefassten Vergleichsmuskeln in der Gegenüberstellung zwischen den untersuchten Quer- und Längsschnitten.

Vergleichsmuskeln in seiner Ausstattung mit RK abhebt. Am wenigsten konnten die Propriozeptoren im *M. SAR* nachgewiesen werden. Beide Propriozeptoren waren in allen untersuchten parallelfaserigen Muskeln zu finden. In den Querschnitten von *M. PQ* und *M. SAR* konnten keine RK nachgewiesen werden, jedoch wurden vereinzelt RK in den Längsschnitten des Muskels gefunden.

Der *M. STCL* ist ein Muskel der Halsmuskulatur und verläuft quer vom *Processus*



MS pro cm²-Fläche pro Muskelart. *M. PQ* steht für *M. pronator quadratus*, *M. SAR* für den *M. sartorius*, *M. STCL* für den *M. sternocleidomastoideus* und *M. VAS* für den *M. vastus lateralis*. Die beiden Halsmuskeln *M. OMH* und *M. STCL* zeigen ein häufigeres Vorkommen von RK als die restlichen Muskeln der Peripherie.

mastoideus zum *Os sternum*. Somit sollte er ähnlichen Kräften wie der *M. OMH* ausgesetzt sein, was die Vermutung nahelegt, dass dieser eine ähnliche rezep tive Ausstattung aufweisen müsste. Bereits visuell konnte man pro cm²-Fläche bei den Mittelwerten der Propriozeptoren einen deutlichen Unterschied erkennen (vgl. Abbildung 3.10). Der Vergleich erfolgte statistisch per t-Test zwischen den Ergebnissen des *M. OMH* und denen des *M. STCL*. In Anbetracht der MS pro cm²-Fläche konnte eine Signifikanz mit einem p von 0,047 erzielt werden (bei den RK pro cm²-Fläche p = 0,147). Im gegenseitigen Vergleich der anderen Muskeln zueinander konnte der visuelle Befund (vgl. Abbildung 3.10) des *M. SAR* statistisch belegt werden. Zwischen der Ausprägung des *M. SAR* und des *M. VAS* besteht bei den MS pro cm²-Fläche eine Signifikanz von p = 0,032 (RK pro cm²-Fläche p = 0,119). Ebenso

konnte im Vergleich *M. SAR* gegen *M. STCL* eine Signifikanz von $p = 0,017$ bei den MS pro cm^2 -Fläche und eine Signifikanz von $p = 0,021$ bei den RK pro cm^2 -Fläche nachgewiesen werden. Im Vergleich von *M. SAR* und *M. PQ* bestand ebenfalls eine Signifikanz von $p = 0,027$ bei den MS pro cm^2 -Fläche (RK pro cm^2 -Fläche $p = 0,977$). Bei den übrigen Kreuzproben der Muskelarten konnten ansonsten keine weiteren relevanten Signifikanzen belegt werden. In der Regressionsanalyse der Ausprägung zwischen RK und MS pro cm^2 -Fläche der gesamten Vergleichsmuskeln zeigte sich eine hohe Signifikanz mit einem $p < 0,001$ und einem Korrelationskoeffizienten R von $0,642$.

Fasst man die Ergebnisse pro cm^2 -Fläche pro Typ an Propriozeptoren aller Vergleichsmuskeln zusammen und vergleicht diese zusammengefassten Daten der Vergleichsmuskeln mit denen des *M. OMH* im t-Test, so zeigt sich eine statistisch hohe Signifikanz der Ausprägung beider Propriozeptoren, jeweils mit einem p -Wert $< 0,001$.

3.4 ZUSAMMENHANG ZWISCHEN RUFFINI-KÖRPERCHEN UND MUSKELSPINDELN IM *M. OMOHYOIDEUS*

Der nächste Fokus wurde auf einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen der RK und der MS im *M. OMH* gelegt. Dazu wurden Regressionsana-

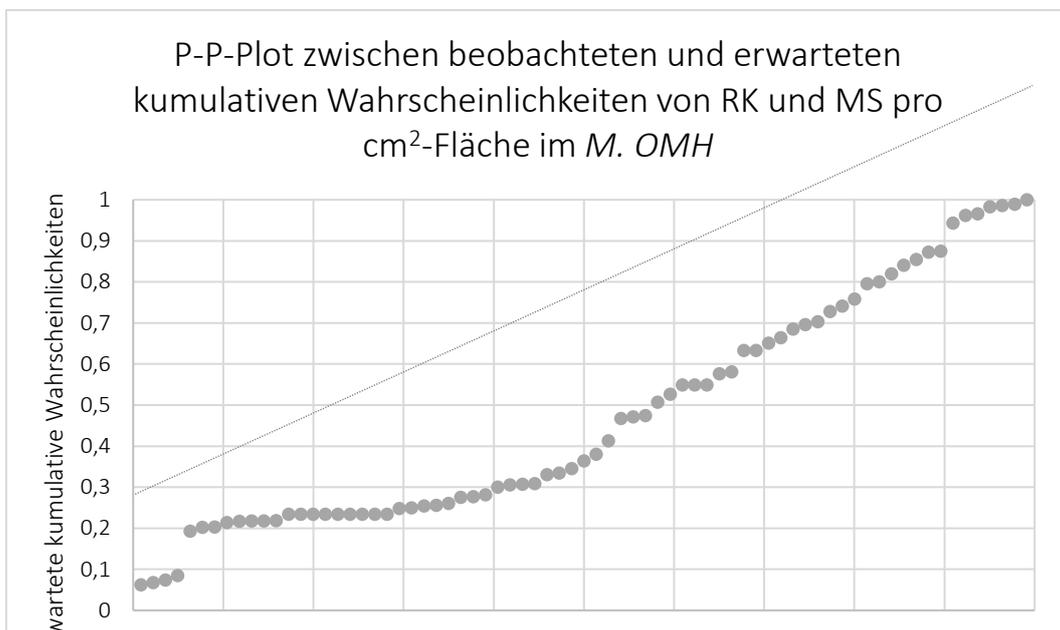


ABBILDUNG 3.11: P-P-Plot mit Werten aus beobachteten und erwarteten Wahrscheinlichkeiten aus RK und MS pro cm^2 -Fläche im *M. OMH*. Die Werte liegen annähernd auf der Diagonalen und zeigen so eine nahezu vorliegende Normalverteilung. Korrelationskoeffizient $R = 0,301$

lysen des *M. OMH* durchgeführt. Hierbei konnte eine Signifikanz mit einem p -Wert von $0,01$ und einem Korrelationskoeffizienten R von $0,301$ berechnet werden, was

im Punktdiagramm der beobachteten und erwarteten kumulativen Wahrscheinlichkeiten in der Abbildung 3.11 veranschaulicht wurde. Wie in Kapitel 3.2 erläutert, wurden danach die gleichen Berechnungen getrennt für weibliche und männliche Körperspender durchgeführt, da in Kapitel 3.2 signifikante Unterschiede zwischen der Ausprägung der RK festgestellt worden waren. Bei den weiblichen Körperspenderinnen ergab sich ein Korrelationskoeffizient R von 0,243 bei einem p -Wert von 0,159. Die Berechnungen der Daten der männlichen Spender ergaben ein signifikantes Ergebnis mit einem R von 0,35 und einem p von 0,031.

Um das Alter der Körperspender und den eventuellen Einfluss des Alters auf die Ausprägung der Propriozeptoren nicht zu vernachlässigen, erfolgten weitere Testungen mit diesem Fokus. Die Summation der Mittelwerte der Propriozeptoren, nach dem Alter der Körperspender sortiert, ist in der Abbildung 3.12 dargestellt. In der durchgeführten Regressionsanalyse konnten in Bezug auf das Alter und im Zusammenhang zwischen der Anzahl von RK pro cm^2 -Fläche und MS pro cm^2 -Fläche keine Signifikanzen nachgewiesen werden. Die Betrachtung der RK pro cm^2 -Fläche erfolgte, wie bereits in den oben aufgeführten Analysen erwähnt, getrennt für weibliche und männliche Körperspender. Bei den weiblichen Spendern betrug die Regression $R = 0,275$ und einem p -Wert von 0,109, und bei den männlichen

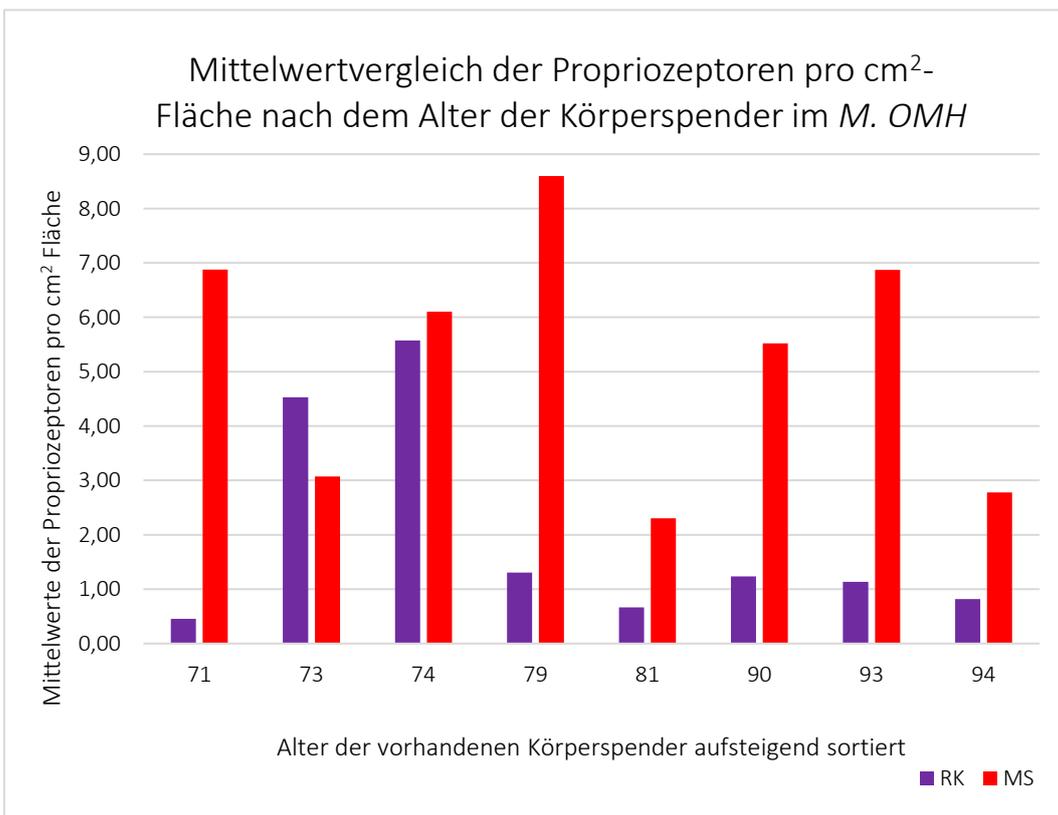


ABBILDUNG 3.12: Diagramm der Mittelwerte der Propriozeptoren pro cm^2 -Fläche im *M. OMH* nach dem Alter der Körperspender sortiert. Jedes aufgeführte Alter war jeweils einmal vertreten. Visuell zeigten die Spender mit 73 und mit 74 Jahren im Hinblick auf die RK pro cm^2 -Fläche und die mit 71 und 79 Jahren auf die MS pro cm^2 -Fläche mehr Propriozeptoren.

Spendern betrug die Regression $R = 0,146$ bei einem p von $0,383$. Für die MS pro cm^2 -Fläche konnte ein Regressionskoeffizient $R = 0,061$ bei einem p -Wert von $0,609$ nachgewiesen werden.

4 DISKUSSION

4.1 ERGEBNISSE

Das Ziel dieser Arbeit war es, den *M. OMH* histologisch näher zu untersuchen, um mehr Informationen über seinen Aufbau und seine Funktion zu erhalten. Der Fokus lag dabei auf der Analyse von Propriozeptoren, deren Lage und deren möglicher Häufung an definierten Ebenen des Muskels. Anhand dieser Informationen sollten Rückschlüsse auf die funktionelle Aufgabe des Muskels ermöglicht werden. Dieses Ziel wurde mit dieser Arbeit erfüllt. Die ausgedehnte Recherche von Artikeln aus medizinischen Fachzeitschriften und Reviews ergab, dass bisher keine ähnliche Untersuchung des *M. OMH* durchgeführt wurde. In den Berichten der Arbeitsgruppen von Carlos *et al.*, welche die *pharyngeale* Muskulatur untersuchten, von Kuehn *et al.*, die den *velopharyngealen* Raum analysierten, und von Hagert *et al.*, die die Daumenmuskulatur untersuchten, wurden Ergebnisse von histologischen Untersuchungen präsentiert, die besagten, dass RK und MS nicht in jedem Muskel vorhanden sind [20, 40, 59]. Eine andere Untersuchung zeigte, dass RK im Schulterbereich vereinzelt in muskelfreien Arealen wie der Gelenkkapsel zu finden sind [24]. Diese Arbeit brachte das Ergebnis hervor, dass im *M. OMH* und den anderen untersuchten parallelfaserigen Muskeln RK und MS nebeneinander vorkommen, dass MS dominieren und dass im Bereich des *M. OMH* ein Vorkommen von anderen Propriozeptoren wie Vater-Pacini-Körperchen, Merkel-Zellen und Golgi-Sehnenapparaten, nicht dokumentiert werden konnten. In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen aufgestellten Hypothesen (siehe Kapitel 3.1) anhand der vorliegenden Ergebnisse interpretiert.

4.1.1 HYPOTHESE 1

Die 1. Nullhypothese: Es zeigt sich keine topographische Häufung der Propriozeptoren in bestimmten Schnittebenen im *M.OMH*.

Der *M. OMH* zieht sich von der *Scapula* bis zum *Os hyoideum* über einen Großteil des seitlichen Halses [28, 119]. Daher ist anzunehmen, dass er an der Sensorik von Bewegungen und Spannungen beteiligt sein könnte. Seine *laterale* Seite bildet den Oberrand der *Lamina praetrachealis*, die die *infrahyale* Muskulatur umgibt, sodass er geeignet scheint, die Spannung dieser Faszie nahezu über seine gesamte Länge zu vermitteln [28, 119]. Der Bereich der ZS ist der Bezirk, an dem der Muskel an der *Lamina praetrachealis* seinen Verlaufswinkel ändert [28, 119]. An diesem Punkt treffen Kräfte aus Bewegung und Spannung eines zusätzlichen Vektors hinzu, sodass physikalisch gesehen eine Häufung rezeptiver Felder im Bereich der ZS anzunehmen wäre. Die erste Arbeitshypothese besagt, dass die Propriozeptoren gleichmäßig im gesamten Muskel verteilt liegen und somit keine funktionellen Einheiten bilden. Diese Annahme sollte im Detail überprüft werden. Diese Hypothese konnte jedoch nur zum Teil bestätigt werden. Durch Unterteilung des Querschnittes in vier

Areale konnte eine Signifikanz der MS pro cm²-Fläche im Chi-Quadrat-Test zwischen *laterodorsal* und *mediodorsal* nachgewiesen werden und zwischen *medioventral* und *mediodorsal* in Bezug auf RK pro cm²-Fläche. Der *ventrale* Bereich des Muskels liegt der *Lamina praetrachealis* an und der *dorsale* Bereich der *Vagina carotica*. *Medioventral* konnten zwar pro cm²-Fläche etwas weniger MS nachgewiesen werden als in den anderen drei Anteilen der Präparate, jedoch ohne Nachweis einer Signifikanz (siehe Abbildung 3.3). Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung könnte funktionell bedingt sein. Möglicherweise liegt die *Vagina carotica* eher *mediodorsal* und die Verbindung zur *Lamina praetrachealis* eher *lateroventral*, so dass diese Bereiche rezeptiv stärker ausgestattet zu sein scheinen.

Angenommen, die Sensorik der Spannung der *Lamina praetrachealis* wäre eine der Aufgaben des *M. OMH*, so würde man auf histologischer Ebene eine höhere Dichte der Propriozeptoren im Bereich der ZS erwarten, also dem Bereich, in dem sich der Verlaufswinkel des Muskels ändert und er somit zusätzlichen Kräften ausgesetzt ist. Die aufsummierte Dichte der RK aller Körperspendern lag im Mittelwert im Bereich der ZS bei 1,19 RK/cm², ähnlich dem Bereich des *VP* mit 1,24 RK/cm². Ähnlich war es in Anbetracht der MS. An der ZS wies die Ausstattung mit 4,24 MS/cm² die höchste rezeptive Dichte auf, vergleichbar mit der Dichte des *VP* mit 4,23 MS/cm². Am U bestand die sensorische Ausstattung hinsichtlich der MS pro cm²-Fläche signifikant geringer als in den übrigen Schnittebenen. Zwar waren ebenso weniger RK pro cm²-Fläche im Bereich des U zu finden, jedoch waren die Zahlen nicht signifikant. Am U, im Bereich der *Scapula*, scheint eine umfangreiche Zugdetektion nicht vorteilhaft zu sein. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alle Bereiche des Muskels und vor allem die Bereiche der ZS und des *VP* mit Ausnahme des U der gemeinsamen Aufgabe der Spannungsdetektion und damit dem Schutz vor Überdehnung dienen.

Eine Seitendifferenz war zwar visuell im Diagramm erkennbar (vgl. Abbildung 3.1), jedoch war diese statistisch nicht signifikant. Im Vergleich der Ausstattung zwischen weiblichen und männlichen Körperspendern konnte hingegen eine Signifikanz festgestellt werden. Männliche Körperspender verfügten über mehr RK pro cm²-Fläche als weibliche. Im Hinblick auf die MS pro cm²-Fläche konnten keine relevanten Unterschiede gefunden werden. RK dienen der Weiterleitung von Informationen bezüglich Dehnungsänderungen des Gewebes, in dem sie liegen. Möglicherweise könnte die höhere Dichte der RK in männlichen Körpern im Sinne geschlechterspezifischer Unterschiede im Körperbau vorliegen [47, 73, 114].

Generell lagen 72 % der RK frei im Muskel und 23 % in direkter Nähe zu Blutgefäßen. Teilweise können die RK direkt an Wänden von Blutgefäßen anliegen, um deren Dehnung bei gesteigertem Blutfluss zu vermitteln. Diese detaillierte Betrachtung der Beziehung zwischen den detektierten RK im *M. OMH* und den Gefäßen des Muskels wurde in dieser Arbeit jedoch nicht in den Fokus gestellt. Die MS lagen nahezu einem Drittel frei und jeweils zu einem Drittel in der Nähe zu Gefäßen und Nerven. Der Schutz des Muskels vor Überdehnung scheint somit homogen verteilt zu sein, ohne bedeutsame Verbindung zum Gefäßsystem oder zu

Nervengeflechten. Insgesamt wurden 56 % der RK in den Muskelfasern, 33 % im Perimysium und 10 % im Epimysium nachgewiesen. Damit lagen die meisten RK frei im Muskelgewebe. Zwischen den Muskelbündeln könnten die RK die Verschiebung der einzelnen Bündel gegeneinander weiterleiten, was anhand dieser Zahlen am ehesten von Bedeutung zu sein scheint [9, 120]. Ein Drittel der RK wurden im Bereich des Perimysiums gefunden, das die Faserbündel umgibt [9, 120]. Damit erscheint die Vermittlung der Verschiebung der Faserbündel gegeneinander ebenfalls von Bedeutung. MS wurden ausschließlich im Bereich der Muskelfasern gefunden. Als Detektoren eines Muskels zum Eigenschutz vor zu starken Dehnungskräften wurden damit die Erwartungen der Lage im Muskel und nicht in der Peripherie erfüllt [9, 120].

4.1.2 HYPOTHESE 2

Die 2. Nullhypothese: Es gibt in Bezug auf die rezeptive Ausstattung keinen signifikanten Unterschied zwischen dem *M. OMH* und anderen parallelfaserigen Muskeln.

Betrachtet man den *M. OMH* mit den exemplarisch ausgewählten parallelfaserigen Vergleichsmuskeln *M. PQ*, *M. SAR*, *M. STCL* und *M. VAS*, könnte man einerseits vermuten, dass deren neuronale Ausstattung sich ähnelt, andererseits würde man auch Unterschiede erwarten, da diese Muskeln funktionell aus unterschiedlichen Bereichen des Körpers entstammen. Tatsächlich zeigt sich, dass die Anzahl der RK und MS pro untersuchte cm^2 -Fläche in den Vergleichsmuskeln niedriger war, was die Abbildung 3.10 visuell verdeutlicht. Im Vergleich der Propriozeption des *M. OMH* konnte eine deutliche Signifikanz im t-Test $p < 0,001$ gegenüber den anderen parallelfaserigen Muskeln festgestellt werden. Die Analyse weist eine Limitation im Vergleich auf, da die Probenentnahme trotz der teils erheblichen Länge der Vergleichsmuskeln nur an einer kleinen, repräsentativen Stelle erfolgte. Trennt man die Vergleichsgruppe und betrachtet die Muskeln einzeln, zeigt sich eine ähnliche Mittelwerttendenz in der Häufung der Propriozeptoren im *M. STCL* sowie im *M. OMH*, wie in Abbildung 3.10 dargestellt. Interessanterweise gehören beide Muskeln zu der Muskulatur des Halses. Ähnlich wie der *M. OMH* verläuft der *M. STCL* quer über die Halsseite [28, 119]. Beide Muskeln liegen etwa im 90° -Winkel zueinander und kreuzen sich in etwa im Bereich der Zwischensehne des *M. OMH* [28, 119]. Daher liegt die Annahme nahe, dass der *M. STCL* ähnlichen Zug- und Bewegungskräften ausgesetzt sein könnte wie der *M. OMH* und dass sich deren rezeptive Felder ähneln könnten. Im Vergleich zum *M. OMH* konnten im *M. STCL* jedoch deutlich weniger RK und MS pro cm^2 -Fläche detektiert werden. Tatsächlich besteht eine signifikant höhere rezeptive Dichte im *M. OMH* mit einem p-Wert von 0,047 im t-Test als im *M. STCL* in Bezug auf die Ausstattung mit MS pro cm^2 -Fläche. Im Hinblick auf die RK pro cm^2 -Fläche konnte statistisch keine Signifikanz nachgewiesen werden, obwohl eine erhöhte rezeptive Ausstattung vorlag. Erwähnenswert ist jedoch die deutlich höhere Anzahl der Präparate des *M. OMH* im Vergleich zu den übrigen Muskeln. Daher könnte die Dichte im Sinne einer individuellen Ausprägung bei

einem größeren Probenselektiv oder größeren Muskelproben anders ausfallen. Eine erneute Testung bei ausgeglichener Datenmenge und gleich großen zu analysierenden Flächen wäre erforderlich, um eine definitive Aussage zum rezeptiven Vergleich treffen zu können. Gleichzeitig hebt sich der *M. STCL* statistisch signifikant vom *M. SAR* in Bezug auf beide Propriozeptoren pro cm²-Fläche ab. Ansonsten waren die Mittelwerte der RK und der MS in den Vergleichsmuskeln nahezu gleich, wobei der *M. SAR* signifikant die geringsten Mittelwerte aufwies. Im Gegensatz zu den übrigen Vergleichsmuskeln ist der *M. SAR* anatomisch der längste Muskel [28, 119]. Seine rezeptive Ausstattung könnte in anderen, nicht untersuchten Bereichen höher ausfallen. Ein Rückschluss auf die gesamte Propriozeption des *M. SAR* wäre anhand einer exemplarischen Probe nicht gänzlich zulässig. Da sich der *M. OMH* und der *M. STCL* statistisch und visuell in Abbildung 3.10 von den anderen Muskeln abheben, könnte dies darauf hindeuten, dass die Halsmuskulatur rezeptiv anders ausgestattet ist als die peripheren Muskeln. Laut den Veröffentlichungen von May *et al.* enthält das Platysma, welches den *ventralen* und den *lateralen* Halsbereich abdeckt, jedoch funktionell zur mimischen Muskulatur zählt, interessanterweise keine RK [70]. Im Gegensatz dazu zeigten die histologischen Untersuchungen von Cobo *et al.*, dass mimische Muskulatur wie der *M. zygomaticus major* und der *M. buccinator* über RK-ähnliche Propriozeptoren verfügen [23]. Die örtliche Lage von Muskeln in einem bestimmten Bereich des Körpers wäre nicht gleichbedeutend mit einer ähnlichen histologischen Struktur. Obwohl der *M. STCL* anatomisch größer ist und seine Lage im Halsbereich ähnliche physikalische Einflüsse vermuten lässt, zeigte diese Analyse mögliche Hinweise auf bedeutsame Unterschiede. Die Hauptaufgaben des *M. STCL* sind die Rotation und Neigung des Kopfes zur Seite [28, 119]. Eine Verbindung zur *Lamina praetrachealis* besteht beim *M. STCL* nicht [28, 119]. Er ist daher ein Muskel, der für Bewegungen essenziell ist und nicht primär der Sensorik dient [28, 119]. Zusammenfassend konnte somit die zweite Nullhypothese statistisch widerlegt werden.

In der Regressionsanalyse der Vergleichsmuskeln konnte eine hohe Signifikanz im Zusammenhang zwischen der Anzahl an RK und an MS pro cm²-Fläche belegt werden. Der Korrelationskoeffizient R mit 0,642 zeigt deutlich: Je mehr Propriozeptoren einer Sorte vorhanden sind, desto mehr lassen sich von der anderen Sorte finden. Damit könnte man argumentieren, dass beide Arten von Propriozeptoren in parallelfaserigen Muskeln in Koexistenz benötigt werden.

4.1.3 HYPOTHESE 3

Die 3. Nullhypothese: Es besteht kein statistischer Zusammenhang zwischen der Anzahl der RK und der MS im *M. OMH*.

Anhand dieser Untersuchung des *M. OMH* lässt sich feststellen, dass dieser über eine höhere Dichte an Propriozeptoren verfügt als die anderen parallelfaserigen Vergleichsmuskeln, wie in Abbildung 3.10 dargestellt. Gleichzeitig zeigt dieses Diagramm, dass bei allen diesen Muskelarten sowohl MS als auch RK nebeneinander vorkommen und die MS gegenüber den RK dominieren. Die Quantität und Qualität

der Propriozeptoren eines Muskels lassen gewisse Rückschlüsse auf dessen Funktion zu, sodass die Erfassung und Gegenüberstellung dieser Faktoren bei dieser Forschung bedeutsam waren. RK detektieren Bewegungen, die sie Änderungen zwischen Ruheaktionspotentialen und Potentialänderung durch Dehnung erfassen und als Signale an das zentrale Nervensystem weiterleiten [9, 120]. MS erkennen ebenfalls Dehnung, jedoch zum Zweck der Spannungsmessung [9, 120]. Sie schützen einen Muskel vor Überdehnung und damit vor Dehnungsschaden, indem sie hohe Spannungen an das zentrale Nervensystem melden [9, 120]. Der *M. OMH* beinhaltet beide Sorten der Propriozeptoren und beide in hoher Menge. Es wurde schon mehrfach von Muskeln berichtet, in denen keine RK oder keine MS nachgewiesen werden konnten [15, 23, 35, 70]. Eine Theorie zur Erklärung dieser Tatsache ist, dass die Funktion oder Lage eines Muskels nur eine Art von Sensorik benötigt und daher eine Art von Propriozeptoren die andere möglicherweise ersetzt haben könnte [23]. In dieser Arbeit wurde der Fokus auf parallelfaserige Muskeln gelegt und es konnte die simultane Existenz beider Propriozeptoren belegt werden. Wenn eine Art von Propriozeptoren die andere ersetzen würde, wäre eine negative Korrelation zwischen beiden zu erwarten. Bei dieser Untersuchung des *M. OMH* zeigen die Analysen jedoch eine signifikant positive Korrelation zwischen RK und MS, welche in der Abbildung 3.11 erkennbar ist. Damit sind im *M. OMH* beide Sorten an Sensorik essenziell. Die Regressionsanalyse der vier Vergleichsmuskeln (*M. PQ*, *M. SAR*, *M. STCL*, *M. VAS*) zeigte ebenfalls eine hochsignifikante positive Korrelation. Die dritte Nullhypothese konnte somit verworfen werden. Die positive Korrelation legt nahe, dass parallelfaserige Muskeln beide Sensortypen simultan benötigen, um einerseits Bewegungsinformationen und andererseits Spannungen zum Selbstschutz weiterzuleiten. Da in allen hier untersuchten parallelfaserigen Muskeln mehr Spannungssensoren als Bewegungssensoren gefunden wurden, könnte man daraus schließen, dass diese Sensoren nicht nur der Analyse von Bewegung und der Lage des Körpers im Raum, sondern vorrangig dem Schutz vor hohen Spannungen und Überdehnungen dienen. Diese Schutzeinrichtung macht im Bereich des sensiblen und überaus beweglichen Halses durchaus Sinn. Eine höhere Dichte an Propriozeptoren müsste dementsprechend mit einem erhöhten neuronalen Informationsfluss einhergehen. Betrachtet man die anatomische Lage der ausgewählten parallelfaserigen Muskeln und berücksichtigt diese in der Rolle als Spannungssensoren, so erscheint diese Funktion passend. Die alleinige Aufgabe des *M. OMH* als Muskel zur Bewegung des *Os hyoideum* zum Schluckakt ist aufgrund seiner hohen Sensorik und seiner Konstitution wenig wahrscheinlich [28, 119]. Da der *M. OMH* den *lateralen* Rand der *Lamina praetrachealis* bildet und zudem mit seiner Zwischensehne *dorsal* an der *Vagina carotica* verbunden ist, sichert er demzufolge vor einer Überdehnung dieser Strukturen [28, 119].

Es besteht zwar eine positive Korrelation zwischen RK und MS im *M. OMH*, jedoch bestehen potenzielle Störgrößen wie Alter, Geschlecht, mögliche Erkrankungen oder die Lateralisierung des Körpers. Die Beziehung beider Propriozeptoren im Seitenvergleich weist keine relevanten Signifikanzen im t-Test auf. Hinsichtlich der Unterschiede zwischen weiblichen und männlichen Körperspendern und der RK/MS-Korrelation deutet ein p-Wert von 0,01 und ein Regressionskoeffizient von

R = 0,301 auf eine Assoziation hin. Bei den weiblichen Körperspendern besteht ein geringerer Korrelationskoeffizient mit R = 0,243 (p = 0,159) als bei den männlichen Körperspendern mit R = 0,35 (p = 0,031). Gleichzeitig konnten in männlichen Körpern mehr RK nachgewiesen werden. In der näheren Betrachtung des Alters waren die Körperspender zum Sterbezeitpunkt zwischen 71 und 94 Jahre alt. Die Körper, die über 90 Jahre alt geworden sind, sind ausschließlich weiblich. Eine Regressionsanalyse zum Einfluss des Alters ergab keinen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Alter der Körper und der Anzahl der Propriozeptoren. Somit könnte der geringere Regressionskoeffizient R der weiblichen Spenderinnen nicht mit ihrem höheren Alter in Verbindung gebracht werden, sondern auf andere Einflüsse zurückzuführen sein (im Durchschnitt waren die acht weiblichen Körperspenderinnen 83,63 Jahre alt, während das Durchschnittsalter der sechs männlichen Körperspender bei 79,33 Jahren lag.). In der Arbeit „*Immunohistochemical analysis of sensory nerve endings in ankle ligaments*“ von Rein wurde beschrieben, dass die Anzahl an RK an Gelenkligamenten in negativer Korrelation mit dem Alter des Menschen steht [96]. Dies könnte die Vermutung zulassen, dass ein ähnlicher Effekt auch bei Muskeln auftreten könnte. Generell sind die möglichen Einflussfaktoren auf die bestehenden Ergebnisse multifaktoriell, da die Geschlechter- und Altersverteilung nicht gleichwertig war und weitere Umweltfaktoren, wie etwaige Erkrankungen, nicht berücksichtigt wurden. Histologische Untersuchungen von humanen Bandscheiben haben gezeigt, dass diese ebenfalls RK aufweisen, welche mechanische Beanspruchung und Druck detektieren, die als Dehnung der Bandscheiben resultieren [25, 84]. Auf Grundlage dessen hat man bei Nachforschungen an geschädigten Bandscheiben im Bereich der zervikalen Wirbelsäule eine erhöhte Anzahl an RK gefunden [25, 84]. Daraus wurde die Annahme abgeleitet, dass geschädigte Strukturen durch Reparaturvorgänge verändert werden und dass diese Degenerationen mit einer übermäßigen neuronalen Stimulation einhergehen [25, 84]. Dies bedingt Fehlinformationen, die an das zentrale Nervensystem gesendet werden und so unter anderem vermehrt Schmerzreize entsenden [25, 84]. Es wäre daher möglich, dass bei Erkrankungen wie dem *Torticollis* oder einem chronischen Halswirbelsäulen-Syndrom die Anzahl der RK höher nachzuweisen wäre als bei Menschen ohne solche Pathologien. Um dies zu belegen, wären weitere Untersuchungen vonnöten.

4.2 METHODENKRITIK

Zu Beginn einer Forschung bestehen Vorstellungen über den Umfang und die Art der Arbeit, die sich im Laufe des Projektes ändern können, da sich bessere Möglichkeiten finden oder neue Ideen entwickelt werden. Für diese Arbeit existierten bereits einige, zum Großteil noch unverarbeitete Blöcke an Präparaten, sodass eine Einarbeitung in die Herstellung und die bestehenden Schnittführungen notwendig war, um diese nicht verwerfen zu müssen. Diese wurden somit zu einer Vorgabe für die zukünftigen Präparate angenommen, um ein einheitliches Vorgehen zu gewährleisten.

Die Entnahme der *Mm. OMH* gestaltete sich schwierig, da die Anatomie trotz vieler Ähnlichkeiten dennoch individuell ist. Das Auffinden dieses schmalen Muskels, seine versehentliche Verletzung und eine nicht einheitliche Schnittführung konnten die Herstellung der Präparate beeinflussen. Eine fehlende Markierung der medialen Seite des Muskels könnte zudem zum Verlust seiner Auswertung führen und war daher von größter Wichtigkeit.

Durch die zahlreichen Prozesse der Herstellung der Präparate entstehen trotz großer Sorgfalt Artefakte, die kleine Strukturen durch Schrumpfung oder Risse zerstören, sodass diese nicht mehr als solche erkannt werden können.

Zu Beginn war das Vorhaben, die Präparate in HE, EvG und Azan zu färben, um herauszufinden, welche Färbung sich am besten für das Auffinden von Propriozeptoren eignet. Da erst viele Färbungen und danach die Mikroskopie stattfand, wurden viele Präparate unnötigerweise gefärbt. Die HE-Färbung erschwerte die Detektion der gesuchten Strukturen aufgrund ihrer einheitlichen und eher eintönigen Farbgebung (vgl. Abbildungen 1.11, 1.7 und 2.7). Die Färbung mit Azan eignete sich ebenfalls nicht besonders für diese Arbeit, da sowohl das gesamte Bindegewebe als auch die RK blau gefärbt wurden, wodurch die Ähnlichkeit zwischen RK und den im Bindegewebe eingebetteten Gefäßformationen verstärkt wurde (vgl. Abbildungen 1.12, 1.8 und 2.8). In solchen Fällen wurden diese als nicht eindeutig identifizierbare einzelne RK nicht in die Statistik aufgenommen. Eine ähnliche Untersuchung sollte vorzugsweise mit der EvG-Färbung durchgeführt werden, die elastische Fasern und das Perimetrium besonders hervorhebt, welche auch in den RK enthalten sind und deren Identität erleichtern. Zur Absicherung sollte, wie für diese Arbeit durchgeführt, zusätzlich eine immunhistochemische Färbung gegen Neurofilamente erfolgen, um ähnlich wirkende Gefäßformationen eindeutig von RK unterscheiden zu können. Immunhistochemische Färbungen sind komplex, aufwändig und teuer. Es sind möglichst frische und nicht fixierte Gewebeproben notwendig, um die Erfolgswahrscheinlichkeit der immunhistochemischen Färbung zu steigern. Dennoch kann eine komplette Erfassung aller zu färbenden Strukturen trotz hochwertiger Immunglobuline, frischer Präparate und gewissenhaftem Vorgehen nicht garantiert werden, sodass selbst mikroskopisch eindeutig identifizierte Strukturen möglicherweise nicht zuverlässig eingefärbt sein könnten. Eine sichere Identifikation von RK kann daher nicht allein auf das Färbeverhalten gestützt werden, sondern erfordert eine sorgfältige und konzentrierte Mikroskopie.

Das Risiko einer doppelten Zählung von selben RK und MS in zwei aufeinanderfolgenden Schichten wurde durch eine Schnittdicke von mindestens 5 µm zwischen den einzelnen Schnitten reduziert, kann jedoch nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden. Aufgrund der direkten Kartierung aufeinanderfolgender Schnitte während des Mikroskopierens wären Propriozeptoren gleicher Art, die direkt beieinander oder auf derselben Stelle liegen, aufgefallen, was während der gesamten Arbeit nicht der Fall war. Gleichzeitig gehen potenzielle Informationen durch den Wegfall von mindestens 5 µm zwischen den Schnitten verloren, da diese Bereiche nicht miterfasst wurden. Somit könnte die tatsächliche Dichte der Propriozeptoren höher sein als in dieser Arbeit festgestellt. Da nicht die komplette Dicke des Muskels betrachtet werden konnte, zeigt diese Arbeit nicht das tatsächliche Verteilungsmuster der Propriozeptoren, sondern lediglich einen Ausschnitt im Sinne einer Stichprobe. Die Längsschnitte lieferten eine gute Übersicht über die gesamte Länge des Muskels, erschwerten jedoch das Auffinden von RK, da diese bevorzugt quer zum Muskelverlauf liegen und daher eher im Querschnitt identifiziert werden können. Möglicherweise wurden aufgrund dessen weniger RK in den untersuchten Längsschnitten gefunden.

Für einen fairen Vergleich müsste die Fläche der zu untersuchenden Präparate der einzelnen Muskeln in etwa gleich sein. In dieser Arbeit lag in etwa zwei Drittel mehr Präparatfläche des *M. OMH* vor als die der anderen parallelfaserigen Muskeln zusammen. Zudem wurden aus den teilweise sehr langen Vergleichsmuskeln nur exemplarische Proben entnommen. Eine unterschiedliche rezeptive Dichte an anderen Stellen der Muskeln wäre daher denkbar. Somit ist eine exemplarische Entnahmestelle nicht als repräsentativ für den gesamten Muskel anzusehen.

4.3 SCHLUSSFOLGERUNG

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der histologischen Aufarbeitung des *M. OMH* in Bezug auf seine rezeptive Ausstattung und den Vergleich mit anderen parallelfaserigen Muskeln (*M. STCL*, *M. VAS*, *M. PQ*, *M. SAR*). Im Rahmen der umfangreichen Recherche und der Arbeit im Präparationssaal zeigte sich, dass in etwa 15 % der untersuchten Fälle anatomische Variationen des *M. OMH* vorliegen [92]. Dieses Wissen ist relevant für mögliche Eingriffe im *ventralen* und *lateralen* Bereich des Halses [43]. Vor allem aufgrund dieser Variabilität wird der *M. OMH* nicht mehr als Landmarke für *Neck Dissections* verwendet [31]. Diese Differenziertheit kann sich auf die gesamte Anatomie des Muskels beziehen oder nur einen Teil davon, wie auf die Bereiche von Ansatz und Ursprung [92]. Obwohl der *M. OMH* durch seinen *caudalen* Ansatz am *Os hyoideum* und durch seine Kontraktion Zug an diesem Punkt ausübt, scheint er keinen bedeutsamen Einfluss auf den Schluckakt zu haben [28, 115, 119]. Die anderen (*infra-*)*hyoidalen* Muskeln sind dafür besser geeignet, da die Zugwirkung des *M. OMH* aufgrund seines physiologisch spitzen Winkels zum *Os hyoideum* vernachlässigbar ist [28, 119]. Einigen Berichten zufolge weisen auch Menschen mit einer variablen Anatomie des Muskels eine normale Entwicklung auf [115]. Die chirurgische Nutzung des *M. OMH* zu operativen Deckungen von

Defekten oder seine komplette Entfernung zeigen ebenfalls keine Auswirkung auf die weitere Lebensqualität [19, 22, 100].

Die Frage ist, welchen Nutzen dieser Muskel haben kann, wenn er kaum zum Schluckakt beiträgt und der Mensch ohne ihn ohne Einschränkung leben kann [19, 22, 100]. Diese Beobachtung sowie seine schmale Konstitution könnten die Annahme nahelegen, dass sich der Muskel im evolutionären Abbauprozess befinden könnte. Diese Hypothese erscheint jedoch unwahrscheinlich, da er bei fast jedem Menschen vorhanden ist und es nur einzelne Berichte über fehlende *Mm. OMH* existieren [126]. Des Weiteren zeigte die Recherche, dass der *M. OMH* auch bei anderen Spezies, einschließlich anderen Säugetieren, vorkommt [27]. Damit ist der *M. OMH* kein besonderer Muskel, der nur Menschen vorbehalten ist und damit einen Zusammenhang zum Sprechen oder dem aufrechten Gang erklären kann [26].

Um die Funktion des Muskels auf mikroskopischer Ebene analysieren zu können, wurde zuerst eine Präparation des Muskels von acht weiblichen und sechs männlichen Körperspendern zwischen 71 und 94 Jahren sowie von exemplarischen Vergleichsmuskeln vorgenommen, gefolgt von einer histologischen Untersuchung. Daraus entstanden Präparate mit einer Gesamtfläche von 347,2 cm², die lichtmikroskopisch auf ihre neuronale Ausstattung hin untersucht wurden. Daraus entstand eine Kartierung, die eine höhere rezeptive Dichte beider Propriozeptoren im Bereich der *ZS* und des *VP* sowie eine signifikant niedrigere Dichte im Bereich des *U*, an der *Margo superior* der *Scapula*, aufzeigte. Dabei ließen sich *RK* und *MS* simultan über seine gesamte Länge ubiquitär finden. Es demaskierten sich statistisch signifikanten funktionellen Einheiten bei der Unterteilung des Muskelquerschnittes in vier Anteile, vor allem im Hinblick auf seine Lagebeziehung *lateral* und *dorsal* zur *Lamina praetrachealis* und der *Vagina carotica*. Folglich konnte die neuronale Ausstattung des *M. OMH* diesen Muskel in seiner nahezu gesamten Länge als einen Spannungs- und Bewegungssensor identifizieren. Durch seine Propriosensorik scheint er die beiden Faszien, *Lamina praetrachealis* und *Vagina carotica*, vor Überdehnung zu schützen. Er kontrahiert bei maximaler Kieferöffnung, wie etwa beim Gähnen, was durch seinen Zug an der *Vagina carotica* physikalisch eine Vergrößerung des Lumens der *VJI* bewirkt und dadurch eine Sogwirkung auf das venöse Blut der gehirnversorgenden Gefäße ausübt [28, 119]. Damit wäre denkbar, dass der *M. OMH* zusätzlich eine Schlüsselrolle im Reflex des Gähnens spielt und den subjektiv empfundenen „Erfrischungseffekt“ des Gähnens erklären könnte. Um dies zu belegen, wären jedoch weitere Analysen und klinische Tests erforderlich.

Die Dichte der Propriozeptoren war signifikant hoch im Vergleich zu den anderen parallelfaserigen Vergleichsmuskeln. Gleichzeitig war die Anzahl der *RK* im *M. STCL* ebenfalls höher als in den anderen peripheren Muskeln. Möglicherweise ist dies ein Merkmal der Halsmuskulatur, sodass weitere histologische Untersuchungen der gesamten *infrahyoidalen* bzw. der Halsmuskulatur notwendig wären, um diese Annahme zu bestätigen. Weiter wäre eine Analyse der *Mm. OMH* von *Torticollis*-patienten interessant, da pathologisch veränderte Muskeln durch Reparaturvorgänge möglicherweise eine deutlich höhere neuronale Struktur aufweisen

könnten und die Schmerzsymptomatik mit der Menge der vorhandenen Propriozeptoren korrelieren könnte [24, 80, 83, 101].

LITERATUR

1. ABRAIRA V E, GINTY D D - The Sensory Neurons of Touch. *Neuron*. 2013, (79): 618-639.
2. ARBEITSGRUPPE DER ANATOMIE I DER HEINRICH-HEINE-UNIVERSITÄT DÜSSELDORF - Anatomische Präparation und histologische Gewebeuntersuchungen (umfasst unter anderem Erfahrungen und Kenntnisse, die mündlich/schriftlich im Rahmen der Arbeit im Institut vermittelt werden)
3. ARIEL DE LIMA D, HELITO C P, LACERDA DE LIMA L, DIAS LEITE J A, COSTA CAVALCANTE M L - Study of the Nerve Endings and Mechanoreceptors of the Anterolateral Ligament of the Knee. *Arthroscopy : The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*. 2019, (10): 2918–2927.
4. ASHER L (Hrsg.) - Blutzirkulation, Einfluß des hydrostatischen Druckes auf die Blutbewegung, Anpassung der Gefäße. 1. Aufl., 1926, Springer, Deutschland. ISBN 978-3-642-48592-3.
5. ASKENASY J J M, ASKENASY N - Inhibition of muscle sympathetic nerve activity during yawning, Case report. *Clinical Autonomic Research*. 1996, (6): 237-239.
6. AUMÜLLER G, AUST G, CONRAD A, ENGELE J, KITSCH J - Duale Reihe Anatomie. 5. Aufl., 2020, Thieme, Stuttgart. ISBN 978-3-13-243502-5.
7. BARACCHINI C, ATZORI M, GALLO P - CCSVI and MS: no meaning, no fact. *Neurological Sciences*. 2012, (3): 269–279.
8. BATTAGLIA P J, HAUN D W, DOOLEY K, KETTNER N W - Sonographic measurement of the normal suprascapular nerve and omohyoid muscle, Technical and measurement report. *Manual Therapy*. 2014, (19): 165–168.
9. BAUMHOER D, STEINBRÜCK I, GÖTZ W (Hrsg.) - Histologie, Kurzlehrbuch mit Schemazeichnungen. 1. Aufl., 2000, Urban & Fischer, München. ISBN 3-437-42230-8.
10. BELLIER A, CAVALIÉ G, CHAFFANJON Y R, CHAFFANJON P C J - Relationship between the ansa cervicalis and the omohyoid muscle: clinical consequences in parathyroid surgery. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2014, (36): 621–626.
11. BENTIVOGLIO M, PACINI P - Filippo Pacini: A determined observer, Article. *Brain Research Bulletin*. 1995, (38): 161–165.
12. BEWICK G S, BANKS R W - Mechanotransduction in the muscle spindle. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*. 2015, (467): 175–190.

-
13. BIEMESDERFER D, MUNGER B L, BINCK J, DUBNER R - The pilo-ruffini complex: A non-sinus hair and associated slowly-adapting mechanoreceptor in primate facial skin, Reserach report. *Brain Research*. 1978, (142): 197–222.
 14. BILFELD M F, LAPÉGUE F, SANS H, GANDOIS H C, LAUMONERIE P, LARBI A - Ultrasonography study of the suprascapular nerve. *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2017, (98): 873–879.
 15. BRAMKE S, MAY C A - Characterization of afferent corpuscular sensors of the human palmaris brevis muscle. *Journal of Anatomy*. 2020, (236): 351–356.
 16. BUCHER O (Hrsg.) - *Cytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen, Mit Berücksichtigung der Histophysiologie und der mikroskopischen Diagnostik*. 10. Aufl., 1980, Verlag Hans Huber. ISBN 3-456-80976-X.
 17. BURCK H-C (Hrsg.) - *Histologische Technik*. 6. Aufl., 1982, Georg Thieme Verlag. ISBN 3133143069.
 18. BURNETT M T, JR. - Omohyoideus Myofascial Pain Syndrome, Successfully Treated with Precision Manual Therapy, Case study. 2018.
 19. CALCATERRA T C - Bilateral omohyoid muscle flap reconstruction for anterior commissure cancer. *The Laryngoscope*. 1987, (97): 810–813.
 20. CARLOS F de, COBO J, MACÍAS E, FEITO J, COBO T, CALAVIA M G, GARCÍA-SUÁREZ O, VEGA J A - The sensory innervation of the human pharynx: searching for mechanoreceptors. *Anatomical Record*. 2013, (11): 1735–1746.
 21. CHAMBERS M R, DUERING V M, IGGO A - The structure and function of the slowly adapting type II mechanoreceptor in hairy skin. *Quarterly Journal of Experimental Physiology*. 1972, (57): 417–445.
 22. CHOTIPANICH A, WONGMANEE S - The infrahyoid myocutaneous flap for reconstruction after oral cancer resection: A retrospective single-surgeon study, Research paper. *World Journal of Otorhinolaryngology - Head and Neck Surgery*. 2018, (4): 273–277.
 23. COBO J L, ABBATE F, VICENTE J C de, COBO J, VEGA J A - Searching for proprioceptors in human facial muscles, Research report. *Neuroscience Letters*. 2017, (640): 1–5.
 24. DI GIACOMO G, POULIART N, COSTANTINI A, VITA A - *Atlas of Functional Shoulder Anatomy, Part 5 - Neuromuscular control and proprioception of the shoulder*. 1. Aufl., 2008, Springer, Mailand. ISBN E-Book 978-88-470-0759-8, ISBN Print 978-88-470-0758-1.

-
25. DIMITROULIAS A, TSONIDIS C, NATSIS K, VENIZELOS I, DJAU S N, TSITSOPOULOS P - An immunohistochemical study of mechanoreceptors in lumbar spine intervertebral discs. *Journal of Clinical Neuroscience*. 2010, (17): 742–745.
26. DIOGO R - First Detailed Anatomical Study of Bonobos Reveals Intra-Specific Variations and Exposes Just-So Stories of Human Evolution, Bipedalism, and Tool Use, Article 53. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2018, (6): 1–7.
27. DIOGO R, ABDALA V, LONERGAN N, WOOD B A - From fish to modern humans - comparative anatomy, homologies and evolution of the head and neck musculature. *Journal of Anatomy*. 2008, (213): 391–424.
28. DRAKE R L, VOGL A W, MITCHELL A W M (Hrsg.) - *Gray's Atlas der Anatomie*. 2. Aufl., 2016, Elsevier Urban & Fischer. ISBN 978-3-437-44701-3.
29. DRENCKHAHN D, WASCHKE A (Hrsg.) - *Taschenbuch Anatomie*. 16. Aufl., 2008, Elsevier Urban & Fischer, München. ISBN 978-3-437-41194-6.
30. DUMPERT V - Zur Kenntniss des Wesen und der physiologischen Bedeutung des Gähnens. *Journal für Psychologie und Neurologie*. 1921, (27): 82-95.
31. FUKUDA H, ONIZAWA K, HAGIWARA T, IWAMA H - The omohyoid muscle: A variation seen in radical neck dissection, Case report. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 1998, (36): 399–400.
32. GALLUP A C, ELDAKAR O T - The thermoregulatory theory of yawning: what we know from over 5 years of research, Article. *Frontiers in Neuroscience*. 2013, (6): 1–13.
33. GERVASIO A, MUJAHED I, BIASIO A, ALESSI S - Ultrasound anatomy of the neck: The infrahyoid region. *Journal of Ultrasound*. 2010, (13): 85–89.
34. GIANESINI S, MENEGATTI E, MASCOLI F, SALVI F, BASTIANELLO S, ZAMBONI P - The omohyoid muscle entrapment of the internal jugular vein. A still unclear pathogenetic mechanism, Short report. *Phlebology*. 2014, (9): 632–635.
35. GOODMURPHY C W, OVALLE W K - Morphological study of two human facial muscles: Orbicularis oculi and corrugator supercilii. *Clinical Anatomy*. 1999, (12): 1–11.
36. GÖRMÜS G, BAYRAMOĞLU A, ALDUR M M, CELIK H H, MARAL T, SARGON M F, DEMIRYÜREK D, AKSIT M D - Vascular pedicles of infrahyoid muscles: an anatomical study. *Clinical Anatomy*. 2004, (17): 214–217.
37. GUO-HUA W, XIAO-LING J, RONG W, WEI-QIONG Z, TING-WEI B, JIAN-HUA L - Doubled omohyoid muscle in human, Case report and literature review. *Clinical Anatomy*. 2009, (22): 868–870.

-
38. GUPTA S, MITTAL S - Yawning and its physiological significance. *International Journal of Applied & Basic Medical Research*. 2013, (3): 11–15.
39. HAGERT E, FORSGREN S, LJUNG B O - Differences in the presence of mechanoreceptors and nerve structures between wrist ligaments may imply differential roles in wrist stabilization. *Journal of Orthopaedic Research*. 2005, (23): 757–763.
40. HAGERT E, LEE J, LADD A L - Innervation patterns of thumb trapeziometacarpal joint ligaments. *The Journal of Hand Surgery*. 2012, (37): 706-714.
41. HALATA Z, HAUS J - The ultrastructure of sensory nerve endings in human anterior cruciate ligament. *Anatomy and Embryology*. 1989, (179): 415–421.
42. HAMMERSEN F (Hrsg.) - Sobotta/Hammersen, *Histologie*. 6. Aufl., 2002, Urban & Fischer. ISBN 3-43-743140-4.
43. HATIPOĞLU E S, KERVANCIOĞLU P, TUNCER M C - An unusual variation of the omohyoid muscle and review of literature. *Annals of Anatomy*. 2006, (188): 469–472.
44. HILLOOWALA R A - The Migrating Omohyoid Muscle - Its Significance? *Journal of Human Evolution*. 1980, (9): 165–172.
45. HINZ B, CELETTA G, TOMASEK J J, GABBIANI G, CHAPONNIER C - Alpha-smooth muscle actin expression upregulates fibroblast contractile activity. *Molecular biology of the cell*. 2001, (12): 2730–2741.
46. HOGERVORST T, BRAND R A - Mechanoreceptors in Joint Function. *The Journal of Bone & Joint Surgery*. 1998, (80): 1365–1378.
47. HUNTER S K, ANGADI S S, BHARGAVA A, HARPER J, LINDÉN HIRSCHBERG A, LEVINE B D, MOREAU K L, NOKOFF N J, STACHENFELD N S, BERMON S - The Biological Basis of Sex Differences in Athletic Performance: Consensus Statement for the American College of Sports Medicine. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2023, (55): 2328–2360.
48. IGGO A - Cutaneous and subcutaneous sense organs. *British Medical Bulletin*. 1977, (33): 97–102.
49. IGGO A, ANDRES K H - Morphology of Cutaneous Receptors. *Annual Review of Neuroscience*. 1982, (5): 1–31.
50. IMOSEMI I O, ATIBA F A - Anatomical variations of the musculoskeletal system - A review of literatures, Review. *International Research Journal of Medicine and Medical Sciences*. 2015, (6): 151–155.
51. JAGANNATH V A, PUCCI E, ASOKAN G V, ROBAK E W - Percutaneous transluminal angioplasty for treatment of chronic cerebrospinal venous insufficiency (CCSVI) in people with multiple sclerosis, Intervention review. *The Cochrane Library*. 2019, (5): 1-32.

-
52. JOZSA L, BALINT J, KANNUS P, JÄRVINEN M, LEHTO M - Mechanoreceptors in human myotendinous junction. *Muscle & Nerve*. 1993, (16): 453–457.
53. KAAS J - *The Human Nervous System*. 2. Aufl., 2004, Elsevier. ISBN 978-0-12-547626-3.
54. KASAPOGLU F, DOKUZLAR U - An Unknown Anatomical Variation of Omohyoid Muscle, *Compendium of anatomical variants*. *Clinical Anatomy*. 2007, (20): 964–965.
55. KATORI Y, KIM J H, RODRÍGUEZ-VÁZQUEZ J F, KAWASE T, MURAKAMI G, CHO B H - Early fetal development of the intermediate tendon of the human digastricus and omohyoideus muscles: A critical difference in histogenesis. *Clinical Anatomy*. 2011, (24): 843–852.
56. KIM D-I, KIM H-J, PARK J-Y, LEE K-S - Variation of the infrahyoid muscle: duplicated omohyoid and appearance of the levator glandulae thyroideae muscles, Case report. *Yonsei Medical Journal*. 2010, (51): 984–986.
57. KIM L, KWON H, PYUN S-B - Pseudodysphagia Due to Omohyoid Muscle Syndrome, Case report. *Dysphagia*. 2009, (24): 357–361.
58. KRISHNAN K G, PINZER T, REBER F, SCHACKERT G - Endoscopic exploration of the brachial plexus: technique and topographic anatomy-a study in fresh human cadavers. *Neurosurgery*. 2004, (54): 401–409.
59. KUEHN D P, TEMPLETON P J, Maynard J. A. - Muscle Spindles in the Velopharyngeal Musculature of Humans. 1990, (33): 488–493.
60. KÜHNEL W (Hrsg.) - *Taschenatlas der Zytologie, Histologie und mikroskopischen Anatomie*. 10. Aufl., 2002, Thieme. ISBN 3-13-348610-1.
61. LANG G (Hrsg.) - *Historechnik, Praxislehrbuch für die Biomedizinische Analytik*. 2. Aufl., 2013, Springer. ISBN 3709111897.
62. LANGSAM C L - M. omohyoideus in American Whites and Negroes. *American Journal of Physical Anthropology*. 1941, (28): 249–259.
63. LANZ T, WACHSMUTH W (Hrsg.) - *Praktische Anatomie, Hals*. 1. Aufl., 2019, Springer. ISBN 978-3-662-58086-8.
64. LANZ T, WACHSMUTH W (Hrsg.) - *Praktische Anatomie, Kopf: Teil A: Übergeordnete Systeme*. 1. Aufl., 2019, Springer. ISBN 3662580470.
65. LAUMEN K, SCHILD H H, PIEPER C C - Interventionell-radiologische Behandlung einer postoperativen rechts zervikalen Chylusfistel bei anatomisch variantem Verlauf des Ductus thoracicus, Case report. *RöFo: Fortschritte auf dem Gebiet der Röntgenstrahlen und der bildgebenden Verfahren*. 2018, (4): 361–363.

-
66. LEE A D, YU A, YOUNG S B, BATTAGLIA P J, HO C J - Omohyoid Muscle Syndrome in a Mixed Martial Arts Athlete, Case report. *Orthopaedic Surgery*. 2015, (7): 458–462.
67. LÜLLMANN-RAUCH R, ASAN E (Hrsg.) - Taschenbuch Histologie. 5. vollständig überarbeitete Auflage, 2015, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York. ISBN 978-3-13-129245-2.
68. MARTIN H, DEL VALLE B, EHRLICH H, CAHAN W G - Neck dissection. *Cancer*. 1951, (4): 441–499.
69. MASSEN J J M, DUSCH K, ELDAKAR O T, Gallup A. C. - A thermal window for yawning in humans: Yawning as a brain cooling mechanism. *Physiology & Behavior*. 2014, (130): 145–148.
70. MAY A, BRAMKE S, FUNK R H W, MAY C A - The human platysma contains numerous muscle spindles. *Journal of Anatomy*. 2018, (232): 146–151.
71. MEDINA J E - A rational classification of neck dissections, Editorial. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery*. 1989, (100): 169–176.
72. MEYER A, STÖCKLI S, HECHELHAMMER L - Perkutane transabdominale Embolisation des Ductus thoracicus bei Chylusfistel nach Neck Dissektion, Case report. *Laryngo-Rhino-Otologie*. 2014, (93): 620–621.
73. MILLER A E J, MACDOUGALL J D, TARNOPOLSKY M A, SALE D G - Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1993, (66): 254–262.
74. MIURA M, KATO S, ITONAGA I, USUI T - The double omohyoid muscle in humans: report of one case and review of the literature, Case report. *Okajimas Folia Anatomica Japonica*. 1995, (72): 81–98.
75. MIZEN K D, MITCHELL D A - Anatomical variability of omohyoid and its relevance in oropharyngeal cancer. *The British Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*. 2005, (43): 285–288.
76. MNATSAKIANIAN A, AL KHALILI Y - Anatomy, Head and Neck, Thyroid Muscles, Review. *StatPearls*. 2020, 1–13.
77. MOORE K, PERSAUD T V N, TORCHIA M G (Hrsg.) - Embryologie, Entwicklungsstadien - Frühentwicklung - Organogenese - Klinik. 4. Aufl., 2013, Urban & Fischer. ISBN 978-3-437-16886-4.
78. MULISCH M, WELSCH U (Hrsg.) - Romeis - Mikroskopische Technik. 19. Aufl., 2015, Springer, Berlin, Heidelberg. ISBN 978-3-642-55190-1.

-
79. MUÑOZ-JIMENEZ G, Telich-Tarriba J. E. Palafox-Vidal D. Cardenas-Mejia A. - A novel highly specialized functional flap: omohyoid inferior belly muscle, Article. *Plastic and Aesthetic Research*. 2018, (5:14): 1–5.
80. MWACHAKA P M, RANKETI S S, ELBUSAYDI H, OGENG' O J - Variations in the anatomy of ansa cervicalis. *Folia Morphologica*. 2010, (69): 160–163.
81. NOUSSIOS G - Omohyoid Muscle's Interesting Anatomical Variations – Review of the Literature. *The Internet Journal of Human Anatomy*. 2015, (3): 1–7.
82. PATRA P, GUNNESS T K, ROBERT R, ROGEZ J M, HELOURY Y, LE HUR P A, LEBORGNE J, LAUDE M, BARBIN J Y - Physiologic variations of the internal jugular vein surface, role of the omohyoid muscle, a preliminary echographic study. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 1988, (10): 107–112.
83. PEIKERT K, KASPER M, MAY C A - Distribution of caveolin in the muscle spindles of human skeletal muscle. *Journal of Anatomy*. 2014, (224): 681–687.
84. PENG B - Cervical Vertigo: Historical Reviews and Advances. *World Neurosurgery*. 2018, (109): 347–350.
85. PERNKOPF E, FERNER H (Hrsg.) - *Pernkopf Anatomie, Atlas der topographischen und angewandten Anatomie des Menschen, Kopf und Hals*. 3. Aufl., 1991, Urban & Schwarzenberg. ISBN 9783541021437.
86. PIRAINO D, GAROFALO G, FALETRA A, MESSINA A - The omohyoid and sternocleidomastoid muscles entrapment of the internal jugular vein: Which role in Mènière disease patients? Treatment perspective description, Case report. *Veins and Lymphatics*. 2018, (7): 98–100.
87. PIRSIG W - Kongenitaler Schiefhals mit Kehlkopf-Trachea-Verlagerung durch Kontraktur des Musculus omohyoideus, Short communication. *Arch Otorhinolaryngol*. 1977, (215): 335–337.
88. PROSKE U, WISE A K, GREGORY J E - The role of muscle receptors in the detection of movements. *Progress in Neurobiology*. 2000, (60): 85–96.
89. PROVINE R R, TATE B C, GELDMACHER L L - Yawning: No Effect of 3-5% CO₂, 100% O₂, and Exercise. *Behavioral and Neural Biology*. 1987, (48): 382–393.
90. RADOVANOVIC D, PEIKERT K, LINDSTRÖM M, DOMELLÖF F P - Sympathetic innervation of human muscle spindles. *Journal of Anatomy*. 2015, (226): 542–548.
91. RAI R, NAYAK S R, RANADE A V, PRABHU L V, RAJANIGANDHA V - Duplicated omohyoid muscle and its clinical significance, Case report. *Romanian Journal of Morphology and Embryology*. 2007, (48): 295–297.

-
92. RAI R, RANADE A V, NAYAK S R, RAJANIGANDHA V, MANGALA P, KRISHNAMURTHY A - A Study of Anatomical Variability of the Omohyoid Muscle and its Clinical Relevance, *Basic Research. Clinics*. 2008, (63): 521–524.
93. RAIKOS A, AGNIHOTRI A, YOUSIF S, KORDALI P, SABERI M, BRAND-SABERI B - Internal jugular vein cannulation complications and elimination of the muscular triangle of the neck due to aberrant infrahyoid muscles, Case report. *Romanian Journal of Morphology and Embryology*. 2014, (55): 997–1000.
94. RAMIREZ V, RYAN C P, ELDAKAR O T, GALLUP A C - Manipulating neck temperature alters contagious yawning in humans. *Physiology & Behavior*. 2019, (207): 86–89.
95. RASK M - The Omohyoideus Myofascial Pain Syndrome: Report of Four Patients, Case report. *Journal of Craniomandibular Practice*. 1984, (2): 256–262.
96. REIN S, HAGERT E, HANISCH U, LWOWSKI S, FIEGUTH A, ZWIPP H - Immunohistochemical analysis of sensory nerve endings in ankle ligaments: a cadaver study. *Cells, Tissues, Organs*. 2013, (197): 64–76.
97. REMMERT S, GEHRKING E, MEYER S, SOMMER K - Transplantate der Schulter-Rücken-Region. *HNO*. 2001, (49): 724–731.
98. ROBBINS K T, CLAYMAN G, LEVINE P A, MEDINA J, SESSIONS R, SHAHA A, SOM P, WOLF G T - Consensus Statement on the Classification and Terminology of Neck Dissection. *Arch Otorhinolaryngol*. 2008, (134): 536–538.
99. ROBBINS K T, MEDINA J E, WOLFE G T, LEVINE P A, SESSIONS R B, PRUET C W - Standardizing neck dissection terminology. Official report of the Academy's Committee for Head and Neck Surgery and Oncology. *Archives of Otolaryngology - Head & Neck Surgery*. 1991, (117): 601–605.
100. ROJANANIN S, SUPHAPHONGS N, BALLANTYNE A J - The infrahyoid musculocutaneous flap in head and neck reconstruction. *The American Journal of Surgery*. 1991, (162): 400–403.
101. RUFFINI A - On the Minute Anatomy of the Neuromuscular Spindles of the Cat, and on their Physiological Significance. *Journal of Physiology*. 1898, (23): 190–208.
102. SADLER T W, LANGMAN J (Hrsg.) - Taschenlehrbuch Embryologie, Die normale menschliche Entwicklung und ihre Fehlbildungen. 12. Aufl., 2014, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York. ISBN 978-3-134-46612-6.
103. SANCHEZ-HANKE M, PÜSCHEL K, LEUWER R - Zur Anatomie der Venenklappen der V. jugularis interna. *Laryngo-Rhino-Otologie*. 2000, (79): 332–336.
104. SCHULTE E, SCHÜNKE M, SCHUMACHER U (Hrsg.) - Prometheus Lernatlas der Anatomie. 4. Aufl., 2014, Thieme. ISBN 978-3-131-39544-3.

-
105. SHIH T-Y, CHUANG J-H - Fibrosis of the Omohyoid Muscle- An Unusual Cause of Torticollis, An Unusual Cause of Torticollis, Case report. *Journal of Pediatric Surgery*. 1998, (33): 741–742.
106. SIMKA M, MAJEWSKI E, FORTUNA M, ZANIEWSKI M - Internal Jugular Vein Entrapment in a Multiple Sclerosis Patient, Case report. *Case Reports in Surgery*. 2012, (2012): (Article 293568) 1-5.
107. SINGH, M. KATHOLE, M. KAUR J, MEHTA, V. SURI, R. K. RATH, G. KOHLI, M. - Bilateral clavicular attachment of omohyoid muscle, Case report. *Morphologie*. 2017, (328): 1–4.
108. STRONG A J - Res Medica Muscle Spindles. *Res Medica - Journal of the Royal Medical Society*. 1965, (4): 16–21.
109. SUKAWA R, ITOH I - Anatomical study of the human omohyoid muscle: regarding intermediate morphologies between normal and anomalous morphologies of the superior belly. *Anatomical Science International*. 2006, (81): 107–114.
110. SUN Z, ZHU Y, ZHANG N - Theory and practice of laparoscopic surgery against omohyoid muscle syndrome. *Intractable & Rare Diseases Research*. 2017, (6): 199–202.
111. SUREK C. C. GIROD D. A. - Superior omohyoid muscle flap repair of cervical esophageal perforation induced by spinal hardware, Case report. *ENT-Ear, Nose & Throat Journal*. 2014, (93): 38–42.
112. TEYMOORTASH A, WERNER J A - Aktuelle Fortschritte in der Diagnostik und chirurgischen Therapie der Halslymphknotenmetastasen bei Kopf-Hals-Karzinomen. *Laryngo-Rhino-Otologie*. 2012, (91): 102-122.
113. THANGARAJAN R, SHETTY P, SIRASANAGNADLA S R, D'SOUZA M R - Unusual morphology of the superior belly of omohyoideus muscle, Case report. *Anatomy & Cell Biology*. 2014, (47): 271–273.
114. TOFT, I. MD, PHD, LINDAL, S. MD, PHD, BONAA, K. H. MD, PHD, JENSSEN, T. MD, PHD - Quantitative measurement of muscle fiber composition in a normal population. *Muscle & Nerve*. 2003, (28): 101–108.
115. TUBBS R S, SALTER E G, OAKES W J - Unusual Origin of the Omohyoid Muscle, Case report. *Clinical Anatomy*. 2004, (17): 578–582.
116. ULFIG N (Hrsg.) - *Kurzlehrbuch Histologie*. 5. unveränderte Auflage,, 2019, Georg Thieme Verlag. ISBN 9783132433182.
117. ULFIG N, BRAND-SABERI B (Hrsg.) - *Kurzlehrbuch Embryologie*. 3. Aufl., 2017, Thieme. ISBN 978-3-13-241663-5.

-
118. WALMSLEY T - Observations on the omohyoid muscle. *Journal of Anatomy*. 1918, (52): 319–325.
119. WASCHKE J, BÖCKERS T M, Paulsen, F. (Hrsg.) - *Sobotta Anatomie, Das Lehrbuch*. 1. Aufl., 2015, Elsevier Urban & Fischer, München. ISBN 978-3-437-44080-9.
120. WELSCH U (Hrsg.) - *Sobotta Lehrbuch Histologie*. 1. Aufl., 2003, Urban & Fischer, München. ISBN 3-437-42420-3.
121. WILMOT T J - The omohyoid syndrome, Case report. *The Lancet*. 1969, : 1298–1299.
122. WONG D S Y, LI J H C - The omohyoid sling syndrome. *American Journal of Otolaryngology*. 2000, (21): 318–322.
123. XU J, CHEN C, ZHENG C, WANG K, SHANG J, FANG X, GE M, TAN Z - Application of a cervical low incision in the functional neck dissection of thyroid papillary carcinoma, Retrospective analysis. *Molecular and Clinical Oncology*. 2016, (4): 477–482.
124. YAMADA H. NISHIJIMA T. - A rare case of abnormality in the M. omohyoideus. *Kyushu Shika Z*. 1954, (11): 187–188.
125. ZAMBONI P - The Big Idea: Iron-Dependent Inflammation in Venous Disease and Proposed Parallels in Multiple Sclerosis. *Journal of the Royal Society of Medicine*. 2006, (99): 589–593.
126. ZHAO W, LUI J, XU J, WANG H - Duplicated posterior belly of digastric muscle and absence of omohyoid muscle, Case report and review of the literature. *Surgical and Radiologic Anatomy*. 2014, (37): 547–550.
127. ZHENGJIANG L, SABESAM T, PINGZBANG T, ILANKOVAN V - Omohyoid Muscle Flap in Prevention of Chyle Fistula, Technical Note. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2007, (65): 1430–1432.

ANHANG

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- ABBILDUNG 1.1: Ansicht der Lymphknotenstationen mit der aktuellen Einteilung zur *Neck-Dissection* gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler [112]. Die Darstellung zeigt zusätzlich, dass der *M. OMH* die Lymphknotenstationen III und IV voneinander trennt und so als Landkarte genutzt wurde. _____ 7
- ABBILDUNG 1.2: Darstellung der anatomischen Lage und des Verlaufes des *M. OMH* gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler. Diese zeigt die Innervation des Muskels über den *Plexus cervicalis* und seine Perfusion über die *A. thyroidea superior* und *inferior*. Die Zwischensehne liegt im Bereich der *Vagina carotica* __ 9
- ABBILDUNG 1.3: Darstellung der *Lamina praetrachealis* in ihrer gesamten Ausdehnung und Lagebeziehung zum *M. OMH*, der an seiner Zwischensehne lateral mit der *Lamina* verwachsen ist. Gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler _ 10
- ABBILDUNG 1.4: Übersicht als Querschnitt durch die Schichten des Halses auf Höhe der *Glandula thyroidea*. Diese bildet unter anderem die *infrahyoidale* Muskulatur ab. Zusätzlich sind die 3 Halsfaszien farblich hervorgehoben. Gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler _____ 11
- ABBILDUNG 1.5: Schematische Zeichnung eines RK im Längsschnitt zum Muskelfaserverlauf, gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler: Das RK liegt im Endomysium und enthält zahlreiche elastische Fasern. _____ 12
- ABBILDUNG 1.7: RK im *cranialen* Bereich der Zwischensehne des *M. OMH* in Elasticavan-Gieson-Färbung (EvG), 20x _____ 14
- ABBILDUNG 1.6: RK im Bereich der Zwischensehne des *M. OMH* in Hämatoxylin-Eosin-Färbung (HE), 20x _____ 14
- ABBILDUNG 1.8: RK im *caudalen* Bereich der Zwischensehne des *M. OMH* in Azan, 20x _____ 15
- ABBILDUNG 1.9: Schematische Zeichnung einer MS im Querschnitt zum Muskelfaserverlauf gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler: Die MS wird von Bindegewebsfasern umgeben und enthält *intrafusale* Muskulatur sowie Nervenfasern. _____ 16
- ABBILDUNG 1.10: MS im Bereich des cranialen Venter des *M. OMH* in HE, 20x ____ 17
- ABBILDUNG 1.11: MS im *cranialen* Bereich der Zwischensehne des *M. OMH* in EvG, 20x _____ 17
- ABBILDUNG 1.12: MS im *cranialen* Bereich der Zwischensehne des *M. OMH* in Azan, 20x _____ 18
- ABBILDUNG 2.1: Körperspender nach Abnahme von Haut und Fettgewebe. Der *M. STCL* wurde zur besseren Ansicht auf darunterliegende Bereiche vom *Sternum*

abgetrennt und zur Seite gelegt. Bis auf den Ursprung an der *Scapula*, ist der *M. OMH* in seinem Verlauf gut sichtbar. Er liegt direkt dem *M. sternohyoideus* an. Deutlich wird seine Lagebeziehung zu den Gefäßen *A. carotis communis* und der *VJI*. _____ 20

ABBILDUNG 2.2: Präparation eines Halsabschnittes und Identifikation des *M. OMH* im Bereich der *Vagina carotica*. Hier ist deutlich ersichtlich, dass der *M. OMH* mit der *Vagina carotica* verwachsen ist. _____ 21

ABBILDUNG 2.3: Graphische Darstellung der definierten Entnahmeebenen, gezeichnet von Frau C. Opfermann-Rüngeler. Dargestellt sind zudem die Bezeichnungen für die entsprechenden Präparate, beispielhaft gezeigt an der linken Körperspenderseite. In diesem Fall steht LA für linken Ansatz, LVD für den linken *Venter distal* (entspricht *Venter superior*), LZS für linke Zwischensehne, LVP für linken *Venter proximal* (entspricht *Venter inferior*) und LU für linken Ursprung. Die Benennung der rechten Seite wurde entsprechend mit einem „R“ versehen 22

ABBILDUNG 2.4: Gewebekapsel mit einer Gewebeprobe eines *M. OMH* aus dem Bereich der linken Zwischensehne. Die grüne Tintenmarkierung wurde an der jeweils *medialen* Seite der Gewebeprobe angebracht. Die kleine Gewebeprobe auf der rechten Seite der Gewebekapsel ist ein Querschnitt und das größere Gewebestück auf der linken Seite ein Längsschnitt _____ 23

ABBILDUNG 2.5: Beispielhafter Paraffinblock mit enthaltenen Gewebeproben des *M. OMH* bereit zum Schnitt für die Herstellung von Präparaten. Gut zu erkennen ist die *mediale* grüne Tuschemarkierung des Präparates. _____ 26

ABBILDUNG 2.6: Beispielhafte lichtmikroskopische Aufnahme der Färbung in HE von Nervengewebe eines *M. OMH* im Bereich der Zwischensehne, 20x _____ 27

ABBILDUNG 2.7: Beispielhafte lichtmikroskopische Aufnahme der Färbung in EvG an Nervengewebe eines *M. OMH* im *cranialen* Bereich der Zwischensehne, 20x ___ 29

ABBILDUNG 2.8: Beispielhafte lichtmikroskopische Aufnahme der Färbung in Azan von Nervengewebe eines *M. OMH* im Bereich der Zwischensehne, 20x _____ 30

ABBILDUNG 2.9: Beispielhafte lichtmikroskopische Aufnahme der Färbung in pNFM von Nervengewebe eines *M. OMH* im *cranialen* Bereich der Zwischensehne, 20x. Die braunrote Färbung entsteht durch die spezifische Anfärbung von Neurofilamenten _____ 31

ABBILDUNG 2.10: Lichtmikroskopische Aufnahme eines RK im Bereich des *proximalen Venter* in einem *M. OMH* in pFMN, 20x. Die braunrote Färbung zeigt spezifisch das Vorhandensein von Neurofilament, welches im RK enthalten ist _____ 32

ABBILDUNG 2.11: Beispielhafte lichtmikroskopische Aufnahme einer Färbung mit α -SMA von Nervengewebe eines *M. OMH* im Bereich der Zwischensehne, 20x. Die braunrote Färbung entsteht durch die spezifische Anfärbung von glatten Muskelzellen. Dadurch wird die glatte Gefäßmuskulatur deutlich hervorgehoben. _____ 32

ABBILDUNG 2.12: Lichtmikroskopische Aufnahme eines RK eines *M. OMH* im *cranialen* Bereich einer Zwischensehne in α -SMA, 20x. Die braunrote Färbung zeigt spezifisch glatte Muskelzellen _____ 33

ABBILDUNG 3.1: Diagramm mit der Gegenüberstellung der rechten und der linken Seite des *M. OMH* in den fünf Schnittebenen. Die Werte sind Anteile pro cm² Fläche aller Querschnitte von allen Körperspendern aufsummiert und aufgeteilt nach den Körperseiten. Auf den ersten Blick fällt auf, dass die Bereiche der Ansätze und vor allem der Ursprünge auf beiden Seiten eine geringere Anzahl an Propriozeptoren pro cm² aufweisen. _____ 36

ABBILDUNG 3.2: Diagramm mit der Gegenüberstellung der Ausprägung der Propriozeptoren pro cm²-Fläche in weiblichen und männlichen Körperspendern, aufgeteilt nach den jeweiligen Schnittebenen im *M. OMH*. Auf den ersten Blick erscheint die Menge der RK pro cm²-Fläche in männlichen Körperspendern höher zu sein. _____ 37

ABBILDUNG 3.3: Diagramm mit der topographischen Verteilung der Propriozeptoren pro cm²-Fläche aller Querschnitte des *M. OMH*. Visuell fällt die geringere Verteilung der MS pro cm²-Fläche im *medioventralen* Bereich auf. Ansonsten zeigt sich die Verteilung, rein optisch, bei MS und RK pro cm²-Fläche recht homogen. 39

ABBILDUNG 3.4: Kreisdiagramm mit den prozentualen Anteilen der Lage der RK in den untersuchten Präparaten im *M. OMH*. Die meisten lagen frei, ohne Bezug zu Nervengewebe oder Gefäßformationen. In Bereichen von Nervengeflechten ohne Nähe zu Gefäßen konnten keine RK gefunden werden. Zu 21 % lagen die RK an Gefäßformationen. _____ 41

ABBILDUNG 3.5: Kreisdiagramm mit den prozentualen Anteilen der Lage der MS in den untersuchten Präparaten im *M. OMH*. Knapp zur Hälfte aller gefundenen MS lagen diese frei, während die andere Hälfte in direkter Nachbarschaft zu Nerven, Gefäßen oder zu Verbunden aus Nervengewebe und Blutgefäßen zu finden waren. _____ 41

ABBILDUNG 3.6: Kartierung der Querschnitte der rechten *M. OMH* von 8 Körperspendern, summiert und aufgeteilt nach den fünf Schnittebenen. Die grüne Markierung weist nach *medial*. _____ 42

ABBILDUNG 3.7: Kartierung der Querschnitte der linken *M. OMH* von 8 Körperspendern, summiert und aufgeteilt nach Schnittebenen. Die grüne Markierung weist nach *medial*. _____ 43

ABBILDUNG 3.8: Summierte Kartierung der Querschnitte der linken und der rechten *M. OMH* aufgeteilt nach Schnittebenen. _____ 44

ABBILDUNG 3.9: Vergleich der Mittelwerte von RK und MS pro cm²-Fläche aufgeteilt nach *M. OMH* und den zusammengefassten Vergleichsmuskeln in der Gegenüberstellung zwischen den untersuchten Quer- und Längsschnitten. _____ 45

ABBILDUNG 3.10: Aufstellung der Mittelwerte von Quer- und Längsschnitten aufsummiert von RK und MS pro cm²-Fläche pro Muskelart. *M. PQ* steht für *M. pronator quadratus*, *M. SAR* für den *M. sartorius*, *M. STCL* für den *M. sternocleidomastoideus* und *M. VAS* für den *M. vastus lateralis*. Die beiden Halsmuskeln *M. OMH* und *M. STCL* zeigen ein häufigeres Vorkommen von RK als die restlichen Muskeln der Peripherie. _____ 46

ABBILDUNG 3.11: P-P-Plot mit Werten aus beobachteten und erwarteten Wahrscheinlichkeiten aus RK und MS pro cm²-Fläche im *M. OMH*. Die Werte liegen annähernd auf der Diagonalen und zeigen so eine nahezu vorliegende Normalverteilung. Korrelationskoeffizient $R = 0,301$ _____ 47

ABBILDUNG 3.12: Diagramm der Mittelwerte der Propriozeptoren pro cm²-Fläche im *M. OMH* nach dem Alter der Körperspender sortiert. Jedes aufgeführte Alter war jeweils einmal vertreten. Visuell zeigten die Spender mit 73 und mit 74 Jahren im Hinblick auf die RK pro cm²-Fläche und die mit 71 und 79 Jahren auf die MS pro cm²-Fläche mehr Propriozeptoren. _____ 48