

Diplomarbeit

**IDENTIFIKATION DES RETINACULUM MUSCULORUM
FLEXORUM
ANHAND VON OBERFLÄCHLICHEN LANDMARKEN**

eingereicht von
Charlotte Hartwig

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor(in) der gesamten Heilkunde
(Dr. med. univ.)**

an der
Medizinischen Universität Graz

ausgeführt am
**Institut für makroskopische und klinische Anatomie Graz
und der
Universitätsklinik für Unfallchirurgie Graz**

unter der Anleitung von
**Ao. Univ.-Prof. Dr. med. univ. Weiglein
Dr. med. univ. Gloria Hohenberger**

Graz, 27.11.2015

Eidesstattliche Erklärung

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

Graz, am 27.11.2015

Charlotte Hartwig eh

DANKSAGUNGEN

Zuallererst möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich während meines Studiums motiviert, ausgebildet und unterstützt haben.

Ein großer Dank gebührt hierbei meinen Kollegen des Albertinen Krankenhaus in Hamburg, im Besonderen möchte ich mich bei Bernadette Hosters bedanken, die mir in dieser scheinbar aussichtslosen Zeit zur Seite gestanden ist.

Ein großes Dankeschön an Prof. Dr. Andreas Weiglein für die Bereitschaft, mich kurzfristig bei meiner Diplomarbeit zu betreuen. Des Weiteren möchte ich mich ganz herzlich bei Prof. Dr. Wolfgang Grechenig und Dr. Veronika Matzi für die Überlassung dieses Themas bedanken. Danke auch an Prof. Josef Haas und Mag. Marco Maier für die statistische Betreuung dieser Arbeit und dem anatomischen Institut für die Bereitstellung der Körperspender.

Herzlichen Dank an meinen Bruder für die ausdauernden Erklärungsversuche sowie an Daniela Winkler für das Korrekturlesen meiner Arbeit.

Mein besonderer Dank geht an Dr. Gloria Hohenberger für die engagierte Übernahme der Betreuung, ohne die eine Anfertigung der Diplomarbeit nie in dieser Weise hätte stattfinden können. Herzlichen Dank für die fachlichen Anregungen, die großartigen Zeichnungen und die unermüdliche Hilfsbereitschaft.

Vielen Dank an meine Arbeitskollegen des anatomischen Institutes, des Roten Kreuzes der Bezirksstelle Graz-Stadt, meine Studienkollegen und meine Freunde, die mein Studium zu einem ganz besonderen Lebensabschnitt gemacht haben.

In ganz besonderem Maße möchte ich Fabian Konrad danken, der in meinen schlechten Tagen immer für mich da war und mir stets neuen Mut und Kraft gegeben hat. Danke für dein Vertrauen, deine liebevolle Unterstützung und dein grenzenloses Verständnis in jeglicher Hinsicht!

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, die mich während meines Studiums, nicht zuletzt in finanzieller Hinsicht, unermüdlich unterstützt haben. Danke für die endlose Geduld, die tröstenden Worte bei zerbrochenen Vorhaben und die Ermutigung an meinen Träumen und Wünschen festzuhalten. Eure Liebe und euer Einsatz für unsere Familie wird immer mein größtes Vorbild sein!

ZUSAMMENFASSUNG

Das Karpaltunnelsyndrom (KTS) stellt das häufigste periphere Nervenkompressionssyndrom dar. Aufgrund dieser Tatsache ist seine operative Sanierung, während derer die Spaltung des Retinaculum flexorum (RF) erfolgt, die am häufigsten durchgeführte Operation im Bereich der Hand. Der häufigste Grund für das postoperative Bestehenbleiben oder Wiederauftreten der Karpaltunnelsymptomatik ist die inkomplette Durchtrennung des RF. Diese Problematik kann auf insuffiziente intraoperative Visualisierung des RF, wie sie zum Beispiel bei minimalinvasiven Methoden auftreten kann, zurückgeführt werden. Daher war es Ziel dieser Studie, die Grenzen des RF auf oberflächliche Landmarken zu projizieren, um dem Chirurgen mit oder ohne direkte Sicht die vollständige Durchtrennung des Bandes zu ermöglichen.

60 Hände von 51 erwachsenen KörperspenderInnen, welche zuvor mittels der Thielschen Lösung konserviert worden sind, wurden im Rahmen der Studie sezziert. Die Processus styloidei ulnae und radii sowie die radiale Kante des Ringfingers im Bereich der Grundgliedfurche wurden als Referenzpunkte gewählt. Die Processus styloidei wurden in Form einer Horizontalen miteinander verbunden. Des Weiteren wurde eine longitudinale Linie durch die radiale Seite des Ringfingers mit Verlängerung auf den Unterarm gezogen. Diese beiden Linien wurden unmittelbar am Präparat mittels Farbstift eingezeichnet und miteinander geschnitten, was zum Referenzpunkt „A“ am Unterarm führte. Die radiale Seite des Ringfingers im Bereich der Grundgliedfurche wurde als Punkt „B“ definiert. Als nächstes erfolgte die Präparation und Vermessung der Zielstruktur im Hinblick auf die Referenzpunkte. Die erhobenen Daten wurden in Proportionen in Relation zur totalen Länge zwischen den Punkten „A“ und „B“ umgewandelt und analysiert.

In Referenz zu der absoluten Länge (A-B) konnte die Breite des RF für dieses Kollektiv als 48% dieser Linie angegeben werden. Sein distaler Rand befand sich, ausgehend von der radialen Kante der Grundgliedfurche des Ringfingers, auf einer Höhe von 48% und seine proximale Begrenzung auf einer Proportion von 96% der totalen Länge.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie kann die Ausdehnung des RF ungefähr als die proximale Hälfte der Länge zwischen den Punkten „A“ und „B“ entlang der radialen Seite des Ringfingers beschrieben werden. Unsere

Messwerte indizieren, dass die Spaltung des RF entlang dieser Länge zu seiner vollständigen Durchtrennung führt.

ABSTRACT

Carpal tunnel syndrome (CTS) represents the most common peripheral entrapment neuropathy in humans. Therefore, carpal tunnel release (CTR), whereby division of the flexor retinaculum (FR) is implemented, is the most frequently performed hand surgery.

The most common reason for persistence or recurrence of symptoms after CTR has proved to be incomplete division of the FR - a circumstance that may be traced back to inadequate visualisation of the ligament as during minimal incision techniques.

Therefore, the aim of our study was to project the borders of the FR onto superficial landmarks to enable the surgeon complete division of the FR with or without direct sight.

The study sample included 60 hands, gained from 51 human adult cadavers which had been embalmed using Thiel's method. We opted for the radial and the ulnar styloid processes as well as the radial margin of the ring finger at the palmar digital crease as the points of reference. The two styloid processes were linked by a horizontal line. Further, a longitudinal line was laid through the ring finger's radial side. Afterwards, these were intersected which resulted in the reference point "A" on the forearm. As the second basing point "B", the radial side of the ring finger at the palmar digital crease was chosen. Next, dissection and measurement of the FR was carried out with regard to the reference points. The taken measurements were converted to proportions with regard to the respective total length between point "A" and "B" alongside the longitudinal line through the radial side of the ring finger.

The breadth of the FR covered 48% of this length. Its distal margin was located at 48% of this line, starting at the radial margin of the palmar digital crease of the ring finger and its proximal border began at a proportion of 96% with reference to the starting point at this length.

Our results indicate that the FR can be completely divided through dissection alongside the proximal half of our reference line.

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNGEN	III
ZUSAMMENFASSUNG	IV
ABSTRACT	VI
GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN	IX
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	X
1 EINLEITUNG	1
2 ANATOMISCHER HINTERGRUND	2
2.1 Oberflächenanatomie der Hand	2
2.2 Canalis carpi.....	3
2.3 Retinaculum flexorum	5
2.4 N. medianus.....	5
2.4.1 Verlauf des N. medianus	5
2.4.2 R. thenaris	9
2.4.2.1 Erste Gruppe	9
2.4.2.2 Zweite Gruppe	10
2.4.2.3 Dritte Gruppe	11
2.4.2.4 Vierte Gruppe	12
2.4.3 Arterielle Versorgung.....	12
2.4.4 Anastomosen	13
3 DAS KARPALTUNNELSYNDROM.....	15
3.1 Definition	15
3.2 Epidemiologie.....	15
3.3 Ätiologie.....	15
3.4 Symptome.....	16
3.5 Diagnostik.....	17
3.5.1 Klinische Untersuchung	17
3.5.2 Elektrophysiologische Diagnostik	20
3.5.3 Zusatzuntersuchungen	21
3.6 Therapie.....	21

3.6.1	Konservative Therapie.....	21
3.6.2	Operative Therapie.....	22
3.6.2.1	Offene Operationstechnik.....	23
3.6.2.2	Endoskopische Operationstechnik.....	24
3.6.2.2.1	One portal-Methode nach Agee.....	25
3.6.2.2.2	Two portal-Methode nach Chow.....	25
3.7	Nachbehandlung.....	26
4	MATERIAL UND METHODEN.....	27
4.1	Material.....	27
4.2	Methoden.....	28
4.2.1	Durchführung der Präparation.....	28
4.2.2	Vermessung der Zielparameter.....	31
4.3	Statistische Analyse.....	33
5	ERGEBNISSE.....	35
6	DISKUSSION.....	36
7	LITERATURVERZEICHNIS.....	37

GLOSSAR UND ABKÜRZUNGEN

Art.	Articulatio
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
ggf.	gegebenenfalls
KTS	Karpaltunnelsyndrom
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
N.	Nervus
RF	Retinaculum flexorum
Rr.	Rami
Vgl.	Vergleiche

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Oberflächenanatomie der Hand. Fotografiert und bearbeitet von Charlotte Hartwig. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz.....	2
Abbildung 2: Volarer Aspekt der Handgelenke inklusive RF. © Gloria Hohenberger	3
Abbildung 3: Querschnitt durch die Hand im Bereich des Canalis carpi. © Gloria Hohenberger	4
Abbildung 4: Topographie der Cubita. Fotografiert und bearbeitet von Gloria Hohenberger. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz.....	6
Abbildung 5: Lage des N. medianus im Canalis carpi. © Gloria Hohenberger	7
Abbildung 6: Lagevariationen des N. medianus unter dem Retinaculum flexorum nach Lanz. © Gloria Hohenberger	8
Abbildung 7: Mögliche Abgänge des R. thenaris aus dem N. medianus nach Lanz . © Gloria Hohenberger	10
Abbildung 8: Variationen des R. thenaris nach Lanz. © Gloria Hohenberger.....	10
Abbildung 9: Hohe Teilung des N. medianus am Unterarm nach Lanz. © Gloria Hohenberger	11
Abbildung 10: Akzessorische Medianusäste nach Lanz. © Gloria Hohenberger..	12
Abbildung 11: Vaskuläre Versorgung im Bereich des Handgelenks. © Gloria Hohenberger	13
Abbildung 12: Hoffmann-Tinel-Zeichen. © Charlotte Hartwig	19
Abbildung 13: Phalen-Test. © Charlotte Hartwig.....	20
Abbildung 14: Offene Operationstechnik. © PD Dr. Thomas Ebinger	23/24
Abbildung 15: Endoskopische Operationstechnik – One portal-Methode nach Agee © PD Dr. Thomas Ebinger	25
Abbildung 16: Definierung der Landmarken zur Vermessung - Processus styloidei ulnae et radii grün markiert. Fotografiert und bearbeitet von Charlotte Hartwig und Gloria Hohenberger. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz.....	28

Abbildung 17: Definierung der Landmarken - die rote Linie läuft durch die radiale Seite des Ringfingers, die blaue Linie verbindet die Proc. styloidei. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz. ...	29
Abbildung 18: Präparation der Palmaraponeurose. Fotografiert und bearbeitet von Charlotte Hartwig und Gloria Hohenberger. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz.	30
Abbildung 19: Präparation RF. Fotografiert und bearbeitet von Charlotte Hartwig und Gloria Hohenberger. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz.	30
Abbildung 20: Fertiggestellte Präparation. Fotografiert und bearbeitet von Charlotte Hartwig und Gloria Hohenberger. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz.	30
Abbildung 21: Vermessung des distalen Randes des RF von Schnittpunkt A. Fotografiert und bearbeitet von Charlotte Hartwig und Gloria Hohenberger. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz.	31
Abbildung 22: Vermessung des proximalen Randes des RF von Schnittpunkt A. Fotografiert und bearbeitet von Charlotte Hartwig und Gloria Hohenberger. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz.	31
Abbildung 23: Vermessung des distalen Randes des RF von Schnittpunkt B. Fotografiert und bearbeitet von Charlotte Hartwig und Gloria Hohenberger. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz.	32
Abbildung 24: Vermessung des proximalen Randes des RF von Schnittpunkt B. Fotografiert und bearbeitet von Charlotte Hartwig und Gloria Hohenberger. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz.	32
Abbildung 25: Vermessung des Retinaculum flexorum. Fotografiert und bearbeitet von Charlotte Hartwig und Gloria Hohenberger. Mit freundlicher Genehmigung des Instituts für makroskopische und klinische Anatomie Graz.	33
Abbildung 26: Breite des RF im Verhältnis zur absoluten Länge.	35

1 EINLEITUNG

Das Karpaltunnelsyndrom (KTS) stellt das häufigste periphere Nervenkompressionssyndrom dar [69, 70, 84, 84, 90]. Aufgrund dieser Tatsache ist seine operative Sanierung, während derer die Spaltung des Retinaculum flexorum (RF) erfolgt [65, 78, 87], die am häufigsten durchgeführte Operation im Bereich der Hand [66, 67, 82]. Hierbei gibt es drei gängige Methoden: Die offene Methode, die endoskopische Variante und die modernste Form, bei der ein minimalinvasiver Zugang durchgeführt wird [91]. Für jede davon existieren wiederum mehrere Modifizierungen.

Die offene Variante ermöglicht die Spaltung des RF unter Sicht [68, 72, 90, 91] und stellt somit eine sehr sichere Methode dar, jedoch wurden in mehreren Studien schmerzhafte und hypertrophe Narbenformationen sowie kosmetische Probleme nach diesem Eingriff beschrieben [69, 80, 85, 92]. Zusätzlich wurde über eine Verzögerung der Wundheilung [85] und eine längere Dauer des Krankenstandes im Vergleich zur endoskopischen Technik berichtet [74, 85]. Im Gegensatz hierzu überzeugt die endoskopische Variante mit kleineren Narben [71, 72, 89, 90] und früherer Rückerlangung der groben Kraft der Hand [72]. Die minimalinvasiven Techniken kombinieren die Vorteile dieser beiden Operationsvariationen.

Der häufigste Grund für das postoperative Bestehenbleiben oder Wiederauftreten der Karpaltunnelsymptomatik ist die inkomplette Durchtrennung des RF [8, 66, 68, 86, 93]. Second-look Operationen haben gezeigt, dass hier sowohl der proximale als auch der distale Rand des Bandes betroffen sein kann [93]. Laut Tung und Mackinnon [2001] ist diese Problematik auf insuffiziente intraoperative Visualisierung des RF, wie sie zum Beispiel bei minimalinvasiven Methoden auftreten kann, zurückzuführen.

Daher war es Ziel dieser Studie, die Grenzen des RF auf oberflächliche Landmarken zu projizieren, um dem Chirurgen mit oder ohne direkte Sicht die vollständige Durchtrennung des Bandes zu ermöglichen.

2 ANATOMISCHER HINTERGRUND

2.1 Oberflächenanatomie der Hand

Die Kenntnis der Oberflächenanatomie der Hand ist essenziell für die Orientierung und zur Auffindung des RF. In der folgenden Abbildung sind die wichtigsten Punkte der palmaren Handfläche markiert. [1]

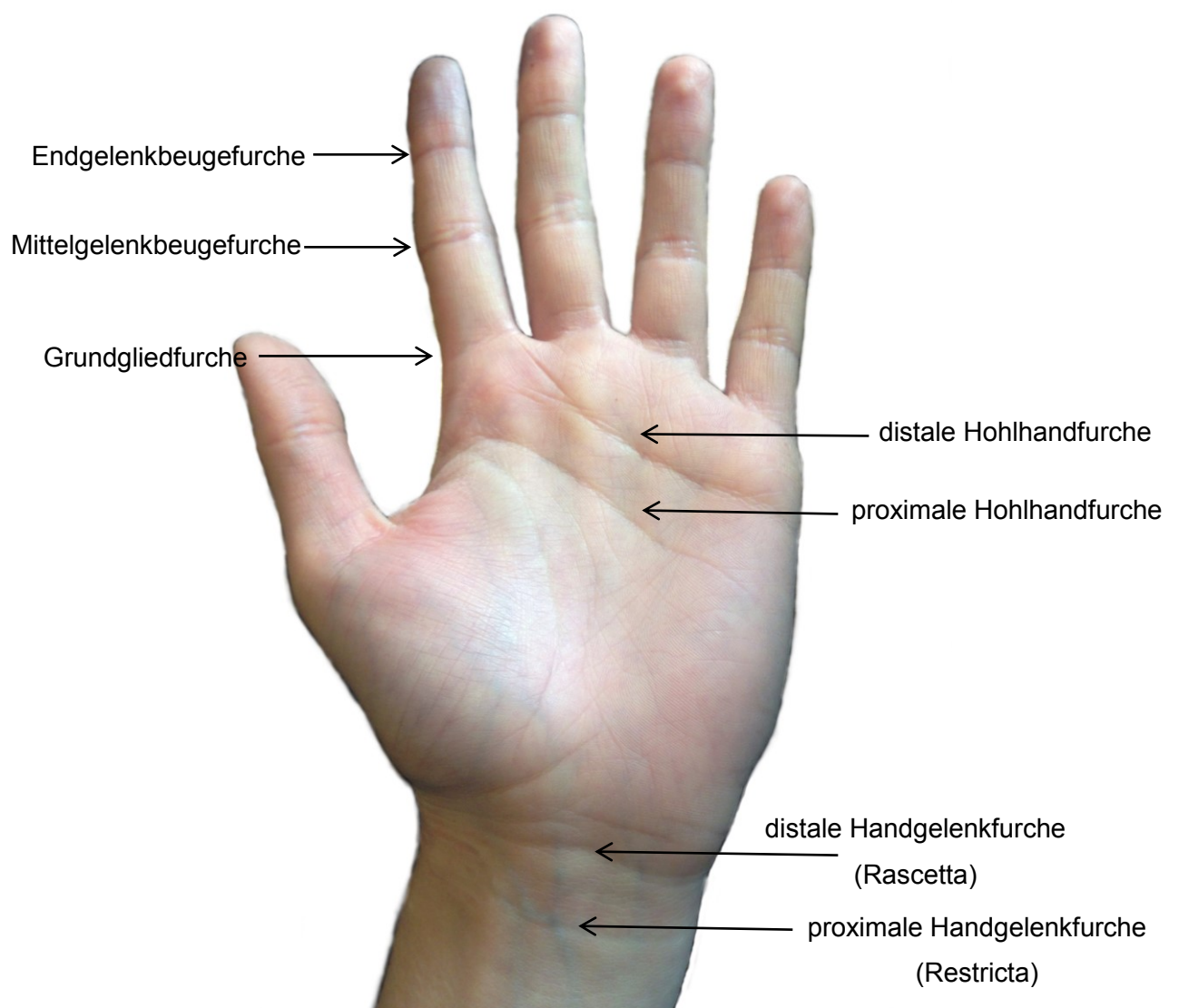


Abbildung 1: Oberflächenanatomie der Hand

2.2 Canalis carpi

Der Canalis carpi stellt eine osteofibröse Loge dar, deren Boden durch die zwei Reihen der Ossa carpalia sowie das Lig. carpi radiatum, welches sich vom Os capitatum auf alle umliegenden Handwurzelknochen ausbreitet, gebildet wird. Das RF stellt das Dach des Karpaltunnels dar. Dieses spannt sich zwischen der Eminentia carpi radialis, bestehend aus dem Tuberculum ossis scaphoidei und dem Tuberculum ossis trapezii sowie der Eminentia carpi ulnaris, welche sich aus Os pisiforme und Hamulus ossis hamati zusammensetzt, aus. [5]

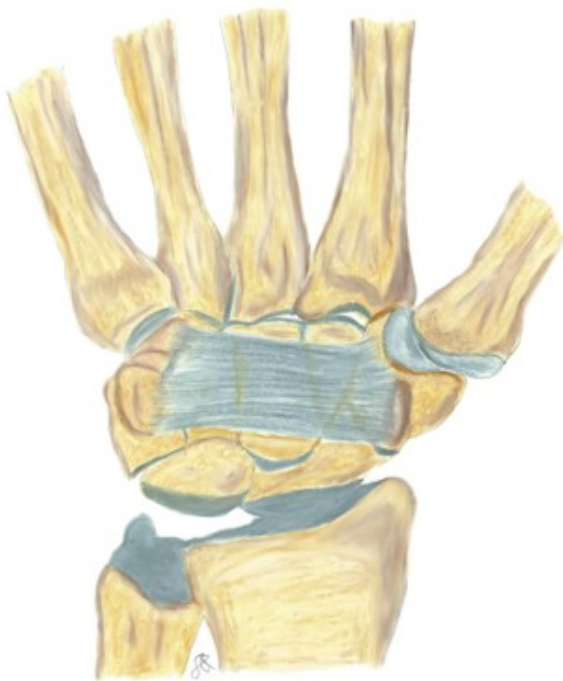


Abbildung 2: Volarer Aspekt der Handgelenke inklusive Retinaculum flexorum

Durch den Canalis carpi verlaufen die Sehnen der Mm. flexores digitorum superficialis und profundus sowie jene des M. flexor pollicis longus und der N. medianus. Der M. flexor carpi radialis liegt, abgetrennt vom Karpaltunnel und umgeben von einer eigenen Sehnenscheide, in einer Rinne des Os trapezium. [5]

Im ulnaren Bereich des Canalis carpi liegen die insgesamt acht Sehnen der oberflächlichen und tiefen Flexoren und werden von der Vagina communis tendinum musculorum flexorum umfasst. Das radiale

Kompartiment des Karpaltunnels enthält den M. flexor pollicis longus mit seiner Vagina tendinis musculi flexoris pollicis longi. Am weitesten radial zieht der M. flexor carpi radialis in einer Rinne medial des Tuberculum ossis trapezii in seiner Sehnenscheide und teilt das RF in zwei Teile. Der Kanal des M. flexor carpi radialis ist vollständig vom Canalis carpi abgetrennt. [9, 30]

Wenn man den Querschnitt des Canalis carpi betrachtet, findet man den N. medianus palmar am oberflächlichsten, auf ihn folgt der M. flexor digitorum superficialis, wobei seine Sehnen zum zweiten und fünften Strahl über jenen zum dritten und vierten Finger liegen. Am weitesten dorsal befindet sich der M. flexor digitorum profundus. [5]

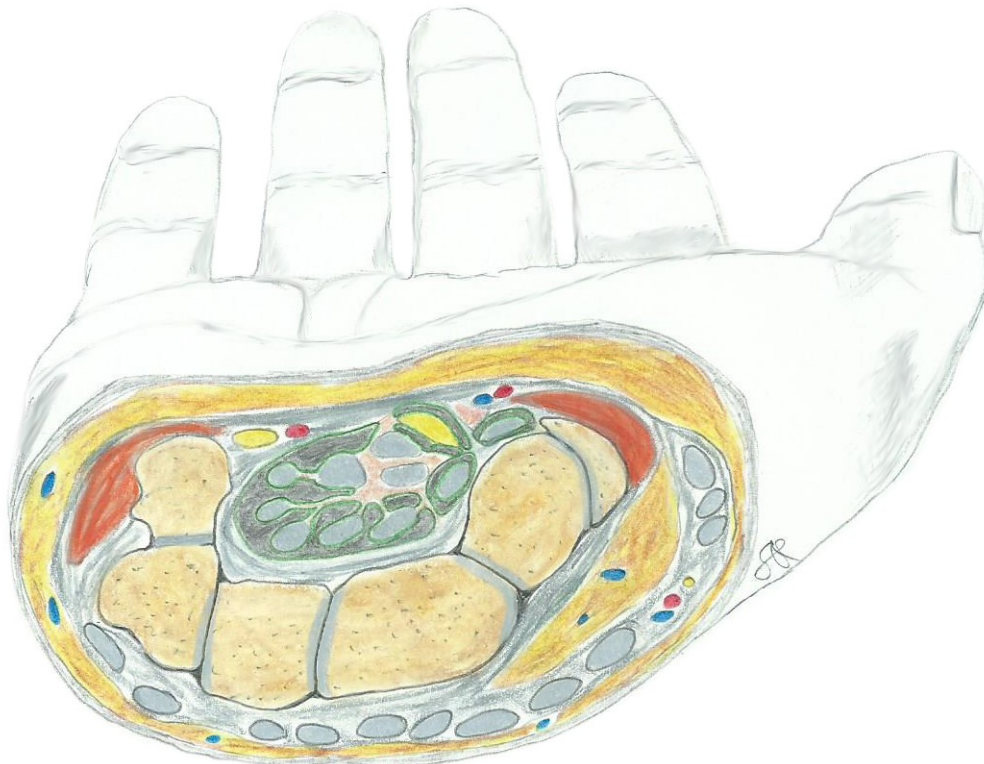


Abbildung 3: Querschnitt durch die Hand im Bereich des Canalis carpi

Der Canalis carpi zeigt auf Höhe der proximalen Handwurzelreihe eine Tiefe von 12 mm und eine Querschnittsfläche von etwas mehr als $1,6 \text{ cm}^2$. Im Bereich der Mitte der distalen Reihe der Ossa carpalia verjüngt sich die Weite auf 10 mm inklusive einer Querschnittsfläche von $1,6 \text{ cm}^2$. An seinem Ausgang beträgt die Tiefe ca. 13 mm und die Fläche des Querschnitts ca. $1,7 \text{ cm}^2$. [8]

2.3 Retinaculum flexorum

Die Fascia antebrachii teilt sich proximal des Canalis carpi in profunde und superfizielle Fasern. Die tiefen Fasern werden als RF bezeichnet, der oberflächliche Teil der Fascia antebrachii stellt das Lig. carpi palmare dar. Das Lig. carpi palmare selbst besteht wiederum aus einem superfiziellen und tiefen Anteil, wobei letzterer mitunter zu einer Kompression des N. medianus mit charakteristischer Karpaltunnelsymptomatik beitragen kann.

Das RF, oder Lig. carpi transversum, wird nach Denman [1981] in vier Schichten unterteilt. Hierbei bestehen Lamina 1 und 3 aus schräg verlaufenden Fasern, Lamina 2 und 4 hingegen aus quer verlaufenden Fasern. Die Schrägfasern der Lamina 2 befinden sich in den distalen zwei Dritteln des Retinaculums, die Fasern der Lamina 3 nur im distalen Drittel. [1]

Der Oberrand des RF kommt über der proximalen Handwurzelreihe zu liegen, der distale Rand befindet sich über den Basen der Ossa metacarpalia II - V.

Das Retinaculum weist eine durchschnittliche Breite von 22 mm auf und ist ungefähr 26 mm lang. In seinem proximalen und distalen Bereich beträgt seine Dicke ca. 0,6 mm, im mittleren Bereich bis zu 1,6 mm. Die dickste Stelle des RF befindet sich ca. 2 cm distal des Beginns des Karpaltunnels, gleichzeitig stellt dies die engste Stelle des Canalis carpi dar. [8, 28]

2.4 N. medianus

2.4.1 Verlauf des N. medianus

Der N. medianus erhält seine Zuflüsse aus dem sechsten Zervikal- bis ersten Thorakalsegment und entsteht aus den von Fasciculus medialis und lateralis abgegebenen Radices. Diese umschließen daraufhin die A. axillaris und bilden die sogenannte Medianusgabel. [5]

Auf seinem Weg über den Oberarm verläuft der Nerv kontinuierlich im Sulcus bicipitalis medialis. Bezüglich seiner Lage zur A. brachialis verläuft der N.

medianus zunächst lateral der Arterie, liegt dann im Bereich der Mitte des Oberarms ventral von ihr und kommt in der Cubita medial des Gefäßes zu liegen.

In der Fossa cubitalis trennt sich die Verlaufsrichtung von jener der A. brachialis und er entlässt Rr. musculares, welche die Mm. pronator teres, flexor digitorum superficialis, flexor carpi radialis, palmaris longus und variabel den M. brachialis versorgen. Rr. articulares nervi mediani, die den N. medianus ebenfalls in der Fossa cubitalis verlassen, versorgen das Ellenbogengelenk sensibel.

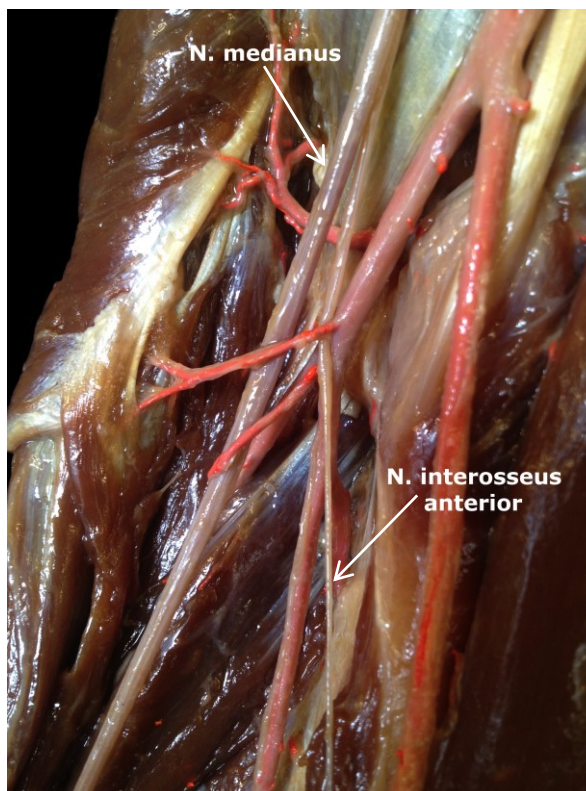


Abbildung 4: Topographie der Cubita

In der Folge passiert er den Pronatorschlitz, welcher sich zwischen Caput humerale und Caput ulnare des M. pronator teres befindet. Der Verlauf durch diesen, auch als „Medianustunnel“ bezeichneten Pfad, kann für den N. medianus gelegentlich zum Engpass werden und ein Nervenkompressionssyndrom verursachen. Nach seinem Austritt aus dem M. pronator teres entlässt der Nerv den N. interosseus anterior, welcher auf der Membrana interossea, in Begleitung der gleichnamigen Arterie, zwischen

M. flexor pollicis longus und M. flexor digitorum profundus, nach distal zieht. Der N. interosseus anterior gibt auf seinem Weg Rr. musculares für den M. flexor pollicis longus, den M. pronator quadratus und den radialen Anteil des M. flexor digitorum profundus ab. Weiterhin ist er für die sensible Innervation der Membrana interossea, des Periosts der Unterarmknochen sowie nach weiter distalem Verlauf der Gelenkkapseln der Art. radioulnaris distalis und auch der restlichen Handgelenke zuständig.

Der N. medianus selbst gelangt durch das Passieren des Pronatorschlitzes auf die ventrale Seite des Unterarms und verläuft dann in der zwischen M. flexor

digitorum superficialis und M. flexor digitorum profundus befindlichen Medianusstraße. Auf dieser Strecke wird er in ungefähr 10% der Fälle von einer A. mediana begleitet und versorgt.

Im distalen Bereich des Unterarms, ungefähr 5 cm vor Eintritt in den Canalis carpi, verlässt der R. palmaris nervi mediani den Hauptnerv, um in weiterer Folge die Haut über der Handwurzel und dem Thenar sensibel zu versorgen.

Der N. medianus liegt im distalen Bereich des Unterarms sehr oberflächlich und ist zumeist an der ulnaren Seite der Sehne des M. flexor carpi radialis und radial der Sehne des M. palmaris longus zu finden. Als Variation kann er sich auch ulnar der Palmarissehne und radial der Sehne des M. flexor digitorum superficialis zum dritten Finger befinden. Im Anschluss zieht der Nerv durch den Canalis carpi zur Hohlhand.

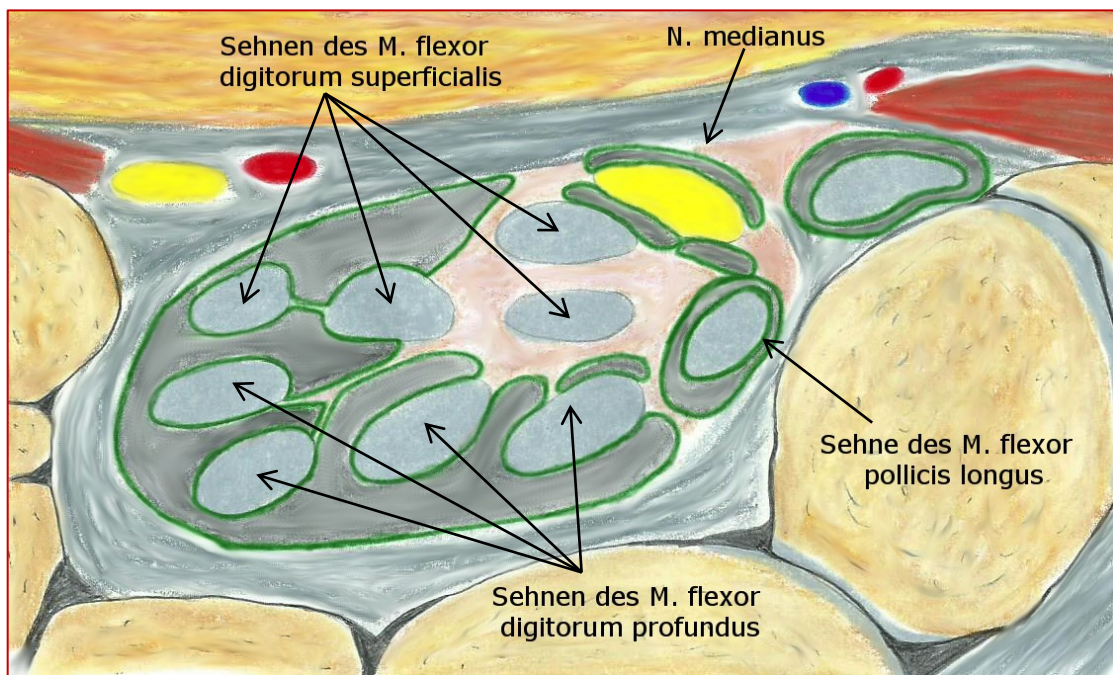


Abbildung 5: Lage des N. medianus im Canalis carpi

Auf diesem Teil seiner Wegstrecke läuft der N. medianus in 66,7% geradlinig ohne Krümmung unter dem RF hindurch. In den restlichen Fällen sind Abbiegungen des Nerven zu verzeichnen, wobei er sich in 21,6% nach radial und in 11,7% nach ulnar hinwendet (vgl. Abbildung 6).

Bezüglich seiner Lage zum Retinaculum befindet sich der N. medianus in 43.3% radial von dessen Mittellinie, in 21.7% direkt unter dessen Median und in 1.7% der Fälle ulnar davon. Die restlichen Variationen sind wegen der möglichen Abbiegungen des N. medianus variabel (vgl. Abbildung 7). In 5% der Fälle läuft der N. medianus von den Sehnen der Fingerbeuger bedeckt im Canalis carpi. [1,7]

Betrachtet man einen Querschnitt des N. medianus auf Höhe der Mitte des Karpaltunnels, erkennt man, dass seine motorischen Fasern hier meist in seinem radiopalmaren Anteil liegen (60%). In 22% aller Fälle befinden sie sich zentral palmar und in 18% sind sie zwischen den beiden genannten Positionen zu lokalisieren.

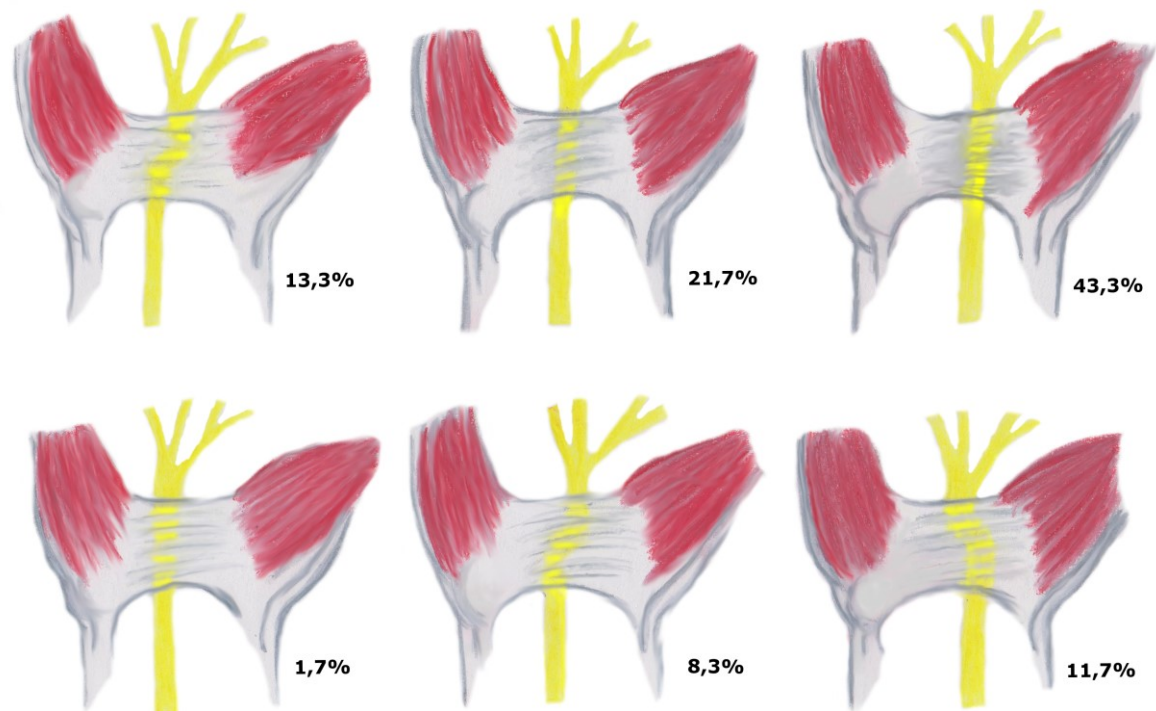


Abbildung 6: Lagevariationen des N. medianus unter dem RF nach Lanz

Nach Passage des Canalis carpi teilt sich der N. medianus zunächst in einen radialen und einen ulnaren Hauptstamm, welche schlussendlich in seine Endäste zerfallen. Aus dem ulnaren Hauptast geht der R. communicans cum nervo ulnari hervor, der im Bereich der Hohlhand eine Verbindung mit dem N. ulnaris eingeht.

Die Mm. lumbricales I und II erhalten motorische Fasern sowohl aus dem radialen

als auch dem ulnaren Hauptstamm. Danach zerfallen die Nerven in ihre Endäste, drei Nn. digitales palmares communes, welche sich weiter in die Nn. digitales palmares proprii, die die Haut der dreieinhalb radialen Finger der Hand versorgen, aufteilen.

Des Weiteren gibt der N. medianus am Ende des Canalis carpi den R. thenaris ab, der die Thenarmuskulatur, mit Ausnahme des Caput profundum des M. flexor pollicis brevis und des M. adductor pollicis, motorisch versorgt.

2.4.2 R. thenaris

Der R. thenaris, welcher die Versorgung der Thenarmuskulatur innehat und üblicherweise distal des RF vom N. medianus abgeht, unterliegt vielen Variationen. Diese werden nach Lanz [1977] in 4 Gruppen unterteilt und im Anschluss beschrieben. [1,7]

2.4.2.1 Erste Gruppe

In 46% der Fälle gibt der N. digitalis palmaris communis I einen R. thenaris distal des RF zur Daumenballenmuskulatur ab. Dies wird als sogenannter extraligamentärer Verlauf bezeichnet (Abbildung 7a).

31% zeigen einen subligamentären Ursprung und Verlauf. Hier entspringt der R. thenaris aus dem N. digitalis palmaris communis I unter dem RF und durchläuft den Canalis carpi neben seinem Ursprungsnerven bevor er den Thenar erreicht (Abbildung 7b).

Auch in den übrigen 23% entspringt der R. thenaris aus dem N. digitalis palmaris communis I, durchbricht jedoch das RF und erreicht distal und radial die Thenarmuskulatur. Man spricht vom transligamentären Verlauf (Abbildung 7c).

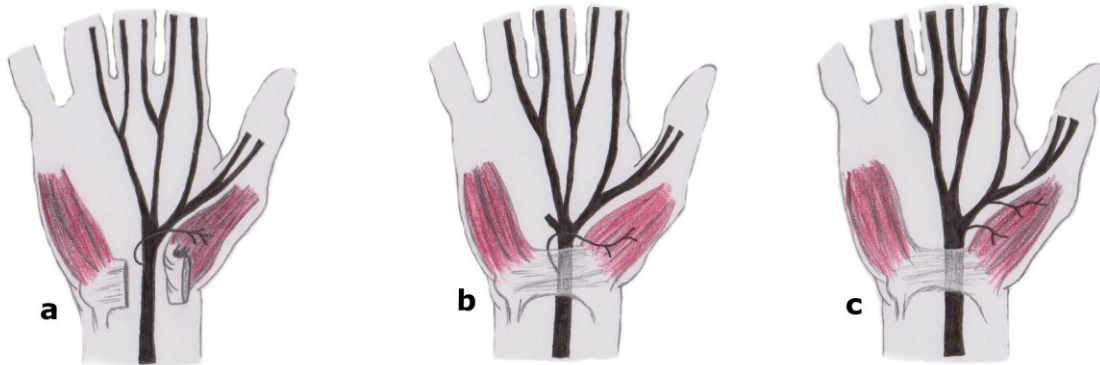


Abbildung 7: Mögliche Abgänge des R. thenaris aus dem N. medianus nach Lanz

2.4.2.2 Zweite Gruppe

Die zweite Gruppe beschreibt zusätzliche Äste des N. medianus im Bereich des Abgangs des R. thenaris, welche in 7,2% der Fälle vorkommen.

Meist handelt es sich dabei um akzessorische kleine Nerven, wie in Abbildung 8a (ulnarer Abgang) und 8b (ulnarer Abgang inklusive Abknickung des Astes um das RF). Das Auftreten von zwei Thenarästen ist selten (Abbildung 8c).

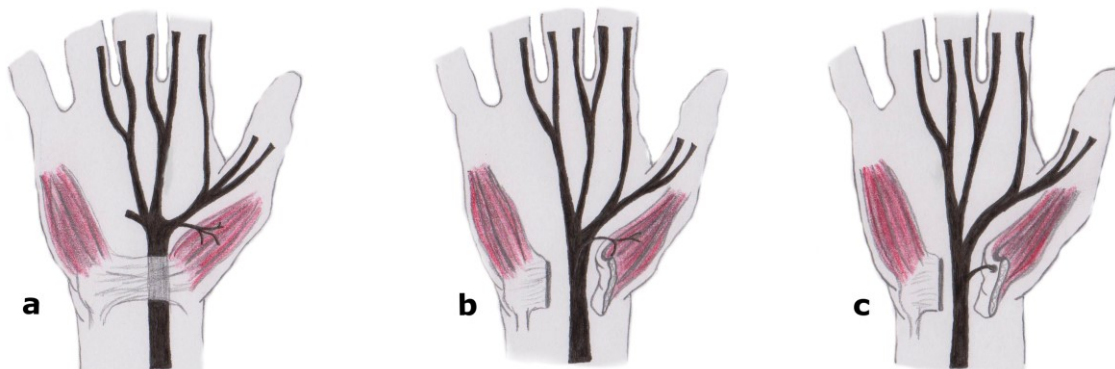


Abbildung 8: Variationen des R. thenaris nach Lanz

2.4.2.3 Dritte Gruppe

Die dritte Gruppe beschreibt jene Variationen, bei denen sich der N. medianus bereits im Bereich des Unterarms aufspaltet. Diese Aufzweigungen treten in 2,8% der Fälle auf, häufig in Kombination mit einer A. mediana (Abbildung 9a).

Abbildung 9c stellt den N. medianus mit prominenterer ulnarer Portion und Abgang des R. thenaris aus dem radialen Ast dar, Abbildung 9b zeigt die inverse Situation mit dickerem radialem Anteil und Abzweigung des Muskelastes aus diesem.

Die Graphik 9d schematisiert einen akzessorischen M. lumbricalis zwischen den beiden Medianusanteilen.

In Abbildung 9e ist der R. thenaris nach seinem Abgang aus dem radialen Medianusast dreigeteilt. Hierbei versorgt der oberflächlichste meist den M. abductor pollicis brevis und zwei tiefer gelegene Äste versorgen den M. opponens pollicis sowie das Caput superficiale des M. flexor pollicis brevis.

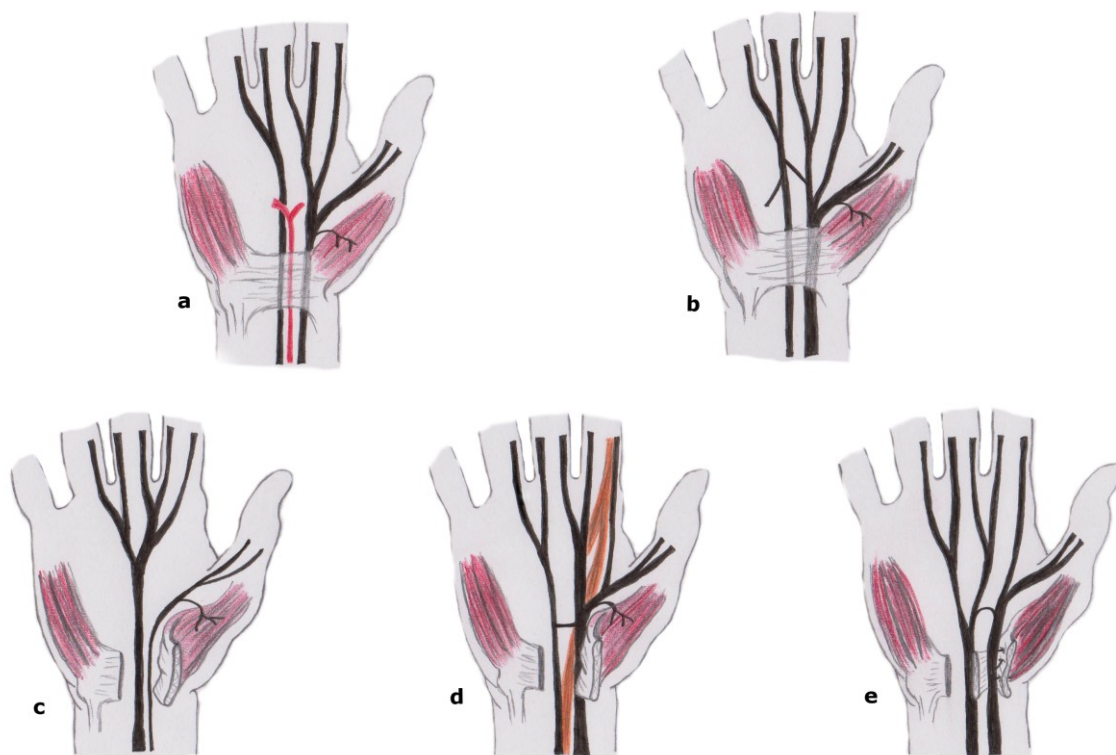


Abbildung 9: Hohe Teilung des N. medianus am Unterarm nach Lanz

2.4.2.4 Vierte Gruppe

In der vierten Gruppe sind akzessorische Äste des N. medianus angesiedelt, die schon vor seinem Eintritt in den Canalis carpi von ihm abzweigen. Diese Gruppierung umfasst 1,6% aller Fälle.

Die beschriebenen Nervenäste durchbrechen das RF und verbinden sich gegebenenfalls erneut mit dem Hauptstamm.

Abbildung 10a zeigt den Abgang eines Medianusastes proximal zum Canalis carpi. In Graphik 10b ist die Abgabe eines akzessorischen Astes vor dem Karpaltunnel mit späterer Perforation des RF dargestellt. Abbildung 10c gibt einen ähnlichen Verlauf mit Abgang eines Astes vor dem Canalis carpi wieder, jedoch entspringt der beschriebene Nerv hierbei an der ulnaren Seite des N. medianus. Schema 10d zeigt die Entlassung eines Astes proximal zum Retinaculum mit direktem Verlauf zur Thenarmuskulatur.

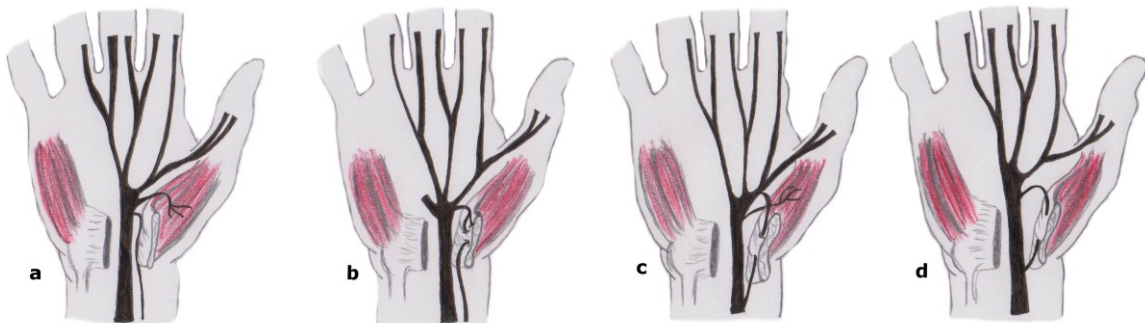


Abbildung 10: Akzessorische Medianusäste nach Lanz

2.4.3 Arterielle Versorgung

Die vaskuläre Versorgung des N. medianus erfolgt durch kleine Äste der Aa. radialis und ulnaris sowie durch deren Verbindung im Arcus palmaris superficialis. Wie bereits erwähnt, kann als Variation auch eine A. mediana im Canalis carpi vorhanden sein, welche den N. medianus dann zusätzlich arteriell speist.

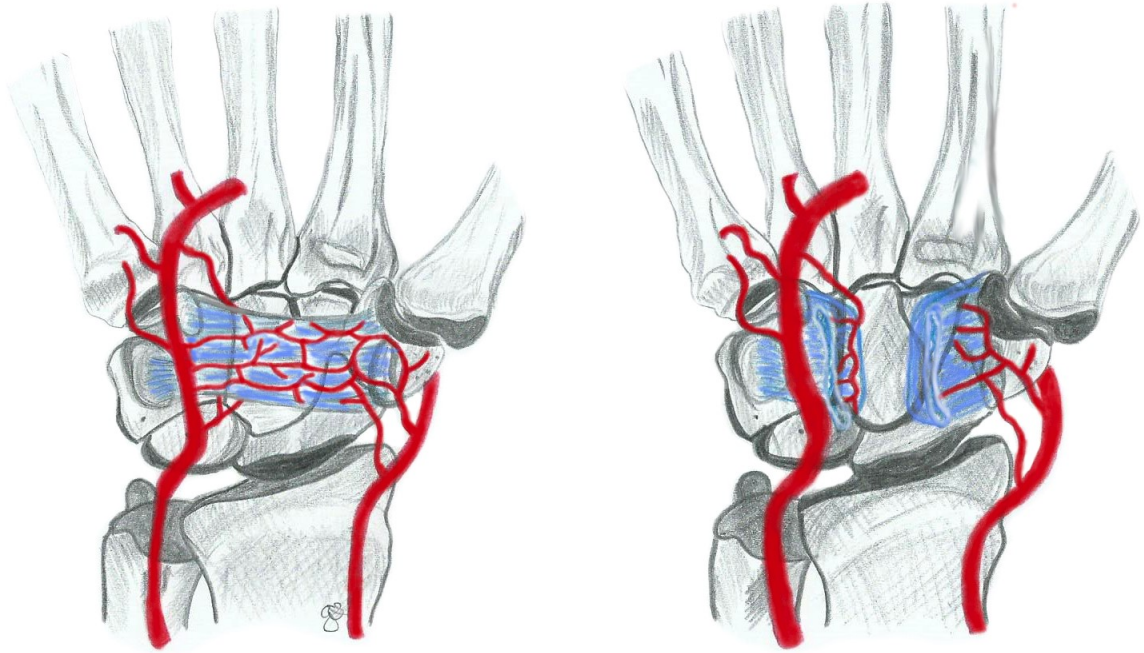


Abbildung 11: Vaskuläre Versorgung im Bereich des Handgelenks

2.4.4 Anastomosen

Im Bereich des Oberarms kann der N. medianus Anastomosen zum N. musculocutaneus sowie zum N. ulnaris aufweisen.

Die Martin-Gruber-Anastomose bezeichnet eine Kommunikation zwischen dem N. ulnaris und dem N. medianus beziehungsweise dem N. interosseus anterior. Diese kann in ca. 15-30% im proximalen bis mittleren Drittel des Unterarms gefunden werden und ist häufig beidseitig lokalisiert. Als Folge kann die gesamte Innervation der Handmuskulatur durch den N. ulnaris erfolgen.

Man unterscheidet drei Formen der Martin-Gruber-Anastomose, die sich jeweils im Innervationsgebiet der Handmuskulatur unterscheiden. Bei Typ I enden die Medianusfasern im Hypothenar, bei Typ II enden die Fasern des N. medianus im M. interosseus dorsalis I und bei Typ III im Thenar. Anhand der unterschiedlichen Innervationsgebiete kann die Diagnose des KTS erschwert sein, beispielsweise bei elektromyographischer Beurteilung. [2]

Eine weitere Verbindung mit dem N. ulnaris stellt die Cannieu-Riche-Anastomose, auch Ansa thenaris genannt, im Bereich der Hohlhand dar. Hierbei kommt es an

der radialen Seite des M. flexor pollicis brevis zum Faseraustausch zwischen dem Ramus profundus nervi ulnaris und dem R. thenaris des N. medianus. Die aus der Anastomose entstandenen Faserzüge versorgen den M. flexor pollicis brevis.

3 DAS KARPALTUNNELSYNDROM

3.1 Definition

Das KTS resultiert aus einer Kompression des N. medianus im Canalis carpi aufgrund eines Missverhältnisses zwischen Weite und Inhalt desselben. Es stellt das häufigste periphere Kompressionssyndrom dar und wurde erstmals 1854 von Sir James Paget beschrieben. [6, 8]

3.2 Epidemiologie

Die Karpaltunnelsymptomatik betrifft das weibliche Geschlecht wesentlich häufiger, wobei das Verhältnis Männer zu Frauen mit 1:3 angegeben werden kann. [7, 27]

Der Altersgipfel der Erkrankung liegt zwischen dem 40. und 70. Lebensjahr, die Inzidenz beträgt 3,45 auf 1000 Einwohner. [6,10]

3.3 Ätiologie

Beim KTS wird der N. medianus innerhalb des Canalis carpi durch einen Druckanstieg innerhalb des Kanals bzw. eine Volumenzunahme der enthaltenen Strukturen komprimiert. [6, 11]

Die Ätiologie des KTS ist vielfältig, meistens sind jedoch keine pathologischen Veränderungen auszumachen. In diesem Fall spricht man von einem idiopathischen KTS. [8, 11]

In der Minderheit der Fälle lassen sich spezifische Ursachen für die Entstehung des KTS ausfindig machen.

Zunächst können ihm genetische Faktoren zugrunde liegen. Hierbei kann das KTS auch bereits im Kindesalter auftreten. Diese Fälle des „erblichen KTS“ sind häufig mit Mukopolysaccharidosen und Mukolipidosen assoziiert. [11, 17]

Auch durch angeborene Anomalien kann es zu einem KTS. Hier sind vor allem akzessorische Anlagen von Muskeln oder Sehnen oder eine Persistenz der A. mediana zu erwähnen. [8]

Benigne (z.B. Lipome und Ganglien) oder maligne Tumoren sowie rheumatische Erkrankungen, wie beispielsweise rheumatoide Arthritis, Sklerodermie, Lupus erythematoses und das Sjögren Syndrom sind weitere, seltenere Ätiologien eines KTS. [6, 11, 18]

Bei körperlicher Betätigung [13, 16, 20] sowie Adipositas [11, 12] wurde ebenfalls ein vermehrtes Auftreten registriert, gleichzeitig können repetitive Flexions- und Extensionsbewegungen mit Druckerhöhung im Karpalkanal [8, 14, 15] zu einem Nervenkompressionssyndrom führen.

Endokrinologische Erkrankungen wie Akromegalie oder Hyper- und Hypothyreose [11, 21, 23] sind gleichermaßen wie hormonell bedingte körperliche Umstellungen (Menopause, orale Kontrazeption) mit dem KTS assoziiert. Bei Schwangerschaften tritt in bis zu 17% der Fälle ein KTS auf [6, 8, 22].

Eine weitere Ursache kann zum einen eine Polyneuropathie (aufgrund eines Diabetes mellitus, Guillain-Barré-Syndroms oder alkohol-induziert) sein [11], zum anderen können Ödeme bzw. Lymphödeme (beispielsweise nach Mastektomie) ein KTS bedingen [24]. Bei dialysepflichtigen Patienten tritt ein KTS in 32% der Fälle auf [6, 19].

Bei ätiologischer Einteilung in eine akute und chronische Form lassen sich folgende ursächliche Faktoren erheben:

- akutes KTS: Hämatom (Hämophilie, Antikoagulation), Trauma, Infektion (Handphlegmone), Ödem, Thrombose (akuter Verschluss der A. mediana), Tenovaginitis der Flexoren [6, 8, 25, 26]
- chronisches (posttraumatisches) KTS: Es entsteht aufgrund einer Fehlstellung bzw. nach osteosynthetischer Versorgung einer distaler Radiusfraktur, Narbenbildung/Osteophyten [6, 8]

3.4 Symptome

Als häufigstes klinisches Symptom wird in ca. 80% der Fälle das Einschlafen der Hände („Brachialgia paeaesthetica nocturna“) beobachtet, welches vorwiegend

nachts, am ehesten aufgrund der Druckerhöhung durch Lagerungsänderung, auftritt und pathognomonisch für das KTS ist. [6, 7, 8]

Die sensible Beschwerdesymptomatik geht der motorischen voraus und tritt als teilweise schmerzhaftes Missempfindung im Versorgungsgebiet des N. medianus mit Ausstrahlung in den Unterarm bis in die Schulter auf. Besserung kann durch Schütteln, Massieren, Positionsänderung, Herunterhängen oder Exposition der betroffenen Extremität mit kaltem Wasser erzielt werden. Körperliche Betätigung hingegen kann die Missempfindungen verstärken. [7, 11]

Aufgrund der Kompression der, vom N. medianus mitgeführten, sympathischen Fasern, kann es zu vegetativen Störungen wie Kälteempfinden oder Schwitzen kommen. [8]

Die persistierende Kompression des N. medianus kann zu anhaltenden Missempfindungen führen und später in einer Atrophie der Thenarmuskulatur (M. flexor pollicis brevis, M. opponens pollicis und M. abductor pollicis brevis) resultieren. Die Patienten berichten über Ungeschicklichkeit und Schwäche der Hand. [7, 8]

3.5 Diagnostik

Meist führt bereits die klinische Untersuchung in Kombination mit der Anamnese zur Diagnose des KTS. [6]

3.5.1 Klinische Untersuchung

Die klinische Untersuchung schließt als wichtigste Bestandteile die Inspektion und Palpation, die Beurteilung der Oberflächensensibilität, der Stereoästhesie und der Motorik ein. [6]

Bei der Inspektion und Palpation sollte auf eine Atrophie der Thenarmuskulatur, die ein Zeichen des Spätstadiums des KTS darstellt sowie eventuell bestehende vegetative Störungen der sympathischen Innervation, geachtet werden. [6]

Bei Beurteilung der Oberflächensensibilität werden die sensibel versorgten Areale des N. medianus mittels eines Wattebausches auf Seitendifferenzen exploriert. Die Stereoästhesie schließt die Prüfung der Tiefensensibilität bzw. epikritischen Sensibilität ein und wird durch Erkennen von Gegenständen erzielt. Häufige Anwendung findet beispielsweise der Zweipunktediskriminations-Test nach Weber. [6, 32, 33]

Während der Exploration der motorischen Funktion wird das Augenmerk vor allem auf den M. flexor pollicis brevis und M. opponens pollicis im Hinblick auf eine Abduktions- oder Oppositionsschwäche gelegt. Als sensibelster Test einer etwaigen motorischen Funktionseinschränkung gilt der Flaschentest. [6, 31]

Die Provokationstests zeigen eine geringere Sensitivität und sind daher im Gegensatz zur elektrophysiologischen Diagnostik eher als fakultativ zu betrachten. [6, 34, 35, 36, 37]

Am häufigsten angewendet und in Kombination am signifikantesten sind der Phalen-Test sowie das Hoffmann-Tinel-Zeichen. [6, 11]

Bei Letzterem wird der Unterarm entlang des N. medianus bis nach distal zum Handgelenk beklopft. Bei positivem Befund treten Sensibilitätsstörungen im Versorgungsbereich des Nerven auf. [11]



Abbildung 12: Hoffmann-Tinel-Zeichen

Das Hoffmann-Tinel-Zeichen ist bei 58% bis 67% der Patienten mit positiver elektrophysiologischer Diagnostik zutreffend, kann aber in 20% der Fälle, bei denen kein Nervenkompressionssyndrom vorliegt, ausgelöst werden. Daher wird es als alleinige Untersuchungsmethode nicht als ausreichend für eine Diagnosestellung anerkannt. [11, 38, 39]

Beim Phalen-Test wird die betroffene Hand vom Untersucher für einige Sekunden in maximaler Flexionsstellung gehalten. Wenn innerhalb von 60 Sekunden Parästhesien im Versorgungsgebiet des N. medianus auftreten, ist der Test als positiv zu werten. Er fällt bei 66% bis 88% der Patienten mit KTS positiv aus, kann aber ebenso wie das Hoffmann-Tinel-Zeichen in 20% der Fälle mit fehlendem Nervenkompressionssyndrom auftreten. [11, 40]



Abbildung 13: Phalen-Test

Die Kombination aus positivem Phalen-Test und positivem Hoffmann-Tinel-Zeichen ergibt zu 90% die korrekte Diagnose eines KTS. [41]

3.5.2 Elektrophysiologische Diagnostik

Die elektrophysiologische Diagnostik schließt die motorische, sensible sowie gemischte Neurographie ein, welche eine höhere Sensitivität als die elektromyographischen Untersuchungen aufweisen. [6]

Mittels dieser diagnostischen Tests soll die Nervenleitgeschwindigkeit des N. medianus beurteilt werden. Typischerweise werden die Myelinscheiden des Nerven als Folge der Kompression im Karpaltunnel geschädigt und seine Leitungsgeschwindigkeit somit reduziert. Der Befund einer erniedrigten sensiblen Nervenleitgeschwindigkeit unter 44 m/s sowie die verlängerte distal motorische Latenz über 4,2 ms bei einer Distanz der Elektroden von über 6,5 cm gilt als diagnostischer Hinweis für ein manifestes KTS. [2, 6]

In späteren Stadien ist außerdem ein Axonschaden zu verzeichnen, der sich durch niedrige Amplituden in den Reizantworten bemerkbar macht bzw. als Fibrillationen zu verzeichnen ist.

Die Genauigkeit der Untersuchung lässt sich durch Vergleich mit anderen, nicht betroffenen Nerven, desselben Patienten verifizieren. [6, 7, 8]

3.5.3 Zusatzuntersuchungen

Die Zusatzuntersuchungen werden im individuellen Fall angewandt und sind nicht in der Routinediagnostik vorgesehen. Dazu gehören unter anderem die Sonographie, das Nativ-Röntgen sowie die Magnetresonanztomographie. [7]

3.6 Therapie

Die Therapieoptionen des KTS beinhalten die konservative und operative Behandlung.

Eine konservative Behandlung ist generell im Frühstadium, bei jüngeren Patienten, kurzer Erkrankungsdauer und nur intermittierenden Sensibilitätsstörungen erfolgsversprechend. [45, 57]

Ist mit konservativen Therapiemaßnahmen keine Besserung der Symptomatik zu erzielen, besteht ein akutes KTS, oder treten Sensibilitätsstörungen (im Medianusgebiet) auf, besteht die sofortige Indikation zur operativen Sanierung. In solchen Fällen zeigt die operative Technik bessere Ergebnisse als die konservative Therapiemethode. [45, 46, 47, 48]

3.6.1 Konservative Therapie

Von einer konservativen Therapie profitieren vor allem Patienten, die an einer möglicherweise therapierbaren Grunderkrankung leiden oder deren Leidensdruck sich gering hält. Eine konservative Therapieoption wird meistens für die Zeitdauer

von drei Monaten versucht. Bei ausbleibender Besserung bzw. Verschlechterung der Beschwerdesymptomatik sollte der operative Therapieweg folgen. [8]

Die therapeutischen Maßnahmen umfassen eine Schonung des betroffenen Arms sowie die Anlage einer geeigneten Orthese. Die Lagerung des betroffenen Handgelenks in der Orthese erfolgt in neutraler Position, da der Druck im Canalis carpi so am niedrigsten ist. Bei besonderer Belastung kann die Schiene zusätzlich 10° bis 20° in radialer oder ulnarer Neigung angelegt werden. Durch diese Maßnahmen soll die Kompression des N. medianus vermindert werden und die Symptomatik regredient sein. [6, 42, 43]

Begleitend oder vorausgehend zur Schienentherapie kann mittels Physiotherapie die klinische Symptomatik ebenfalls verbessert werden.

Als weitere konservative Therapieoption sind orale Kortikosteroide für maximal zwei Wochen bzw. als Injektion anzusehen, jedoch mit erhöhten Rezidiven und bei direkter Infiltration mit Risiken möglicher Nervenschädigungen. Die Injektion zeigt hierbei ein besseres Outcome als eine orale Kortikoidverabreichung. [6, 44]

3.6.2 Operative Therapie

Durch eine operative Spaltung des RF wird eine Entlastung des N. medianus erzielt. Je geringer die neurologischen Beeinträchtigungen präoperativ sind, umso besser sind die postoperativen Ergebnisse.

Die Anästhesieformen können Lokal-, Regional- oder Plexusanästhesien umfassen, eine Allgemeinanästhesie ist bei der operativen Versorgung nicht notwendig. [2]

Man unterscheidet zwei Operationstechniken:

- ⇒ die offene Methode
- ⇒ die endoskopische Operationstechnik

Welche Operationsmethode gewählt wird, ist vor allem von der Erfahrung des Operateurs abhängig, die eng mit der Komplikationsrate korreliert.

Der endoskopischen Operationstechnik sind eine höhere Patientenzufriedenheit sowie geringere postoperative Beschwerden zuzusprechen. Jedoch zeigten sich in mehreren Studien eine höhere Komplikationsrate und häufigere Rezidive im Gegensatz zur offenen Operationstechnik. [58, 59, 60]

3.6.2.1 Offene Operationstechnik

Bei der offenen Operationsmethode dient die Verlängerung des Ringfingers nach proximal als Orientierungspunkt für die Schnittführung. Zwischen Daumen- und Kleinfingerballen erfolgt auf dieser Linie eine ca. 2 cm lange vertikale Inzision. Der distale Rand des RF wird unter teilweiser Entfernung der Aponeurosis palmaris aufgesucht.

Es erfolgt die Präparation des Retinakulums, danach wird es mit einer Sonde unterfahren, anhand derer dann eine Durchtrennung mit Skalpell oder Schere erfolgen kann. [49]

Man erlangt nun freie Sicht auf den Canalis carpi mit seinen Inhaltsgebilden (Abbildung 14).



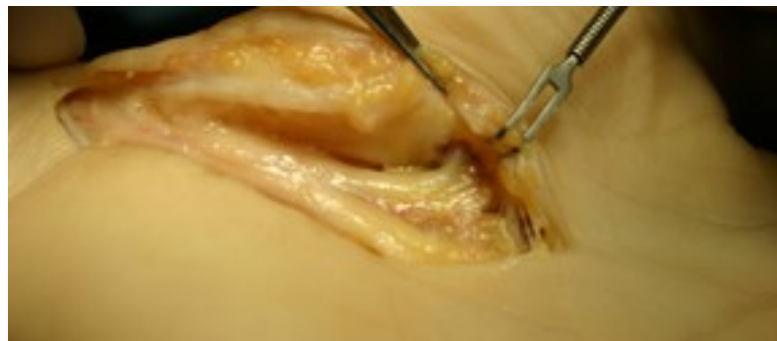
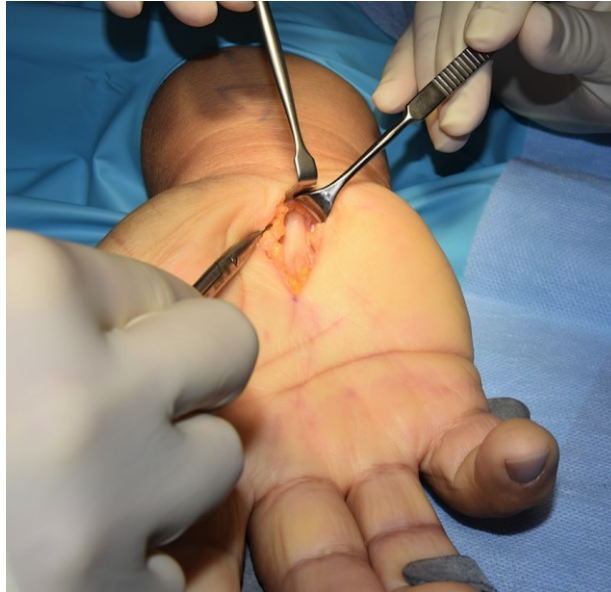


Abbildung 14: Offene Operationstechnik

Der N. medianus wird inspiziert und ggf. sein Epineurium bei starker Einengung gespalten, wenn keine primäre operative Intervention vorliegt. Bei Muskelatrophie wird der motorische Ast zur Dekompression freipräpariert, bei Verdickung der Vagina synovialis wird diese teilweise reseziert. [52, 53]

3.6.2.2 Endoskopische Operationstechnik

Die endoskopische Operationstechnik stellt eine Alternative zur offenen Methode dar. Bei weiteren Pathologien am Handgelenk oder bei Rezidiven des CTS ist die offene Operationstechnik der endoskopischen vorzuziehen. Die operativen Ergebnisse gleichen jenen der offenen Operationstechnik. [54, 55, 56]

3.6.2.2.1 One portal-Methode nach Agee

Hier erfolgt eine quere Inzision 1 cm proximal der Rascetta und ulnar der Sehne des M. palmaris longus. Unterhalb der Fascia antebrachii wird das RF freigelegt. Der Karpaltunnel wird inspiziert und ein Trokar ulnar sowie die endoskopische Optik eingebracht. Bei optimaler Lage der Instrumente wird die Klinge ausgefahren und das Retinaculum dabei unter Zurückziehen der endoskopischen Optik gespalten. [49, 51]



Abbildung 15: Endoskopische Operationstechnik – One portal-Methode nach Agee

3.6.2.2.2 Two portal-Methode nach Chow

Die Schnittführung erfolgt zum einen längs in der verlängerten Linie des 4. Fingers, die sich mit der Daumenlinie kreuzt sowie quer, ca. 1 cm proximal der Rascetta, ulnar der Sehne des M. palmaris longus. Unter der Fascia antebrachii kann der Trokar sicher eingeführt werden und vom distalen bis zum proximalen Schnitt vorgeschoben werden. Proximal wird die endoskopische Optik eingeführt, distal ein Haken zur Tastung der Strukturen. Unter Sicht werden mittels eines Skalpells von distal die Strukturen des RF gespalten. Die Optik wird dann distal eingebracht, von proximal werden die letzten Fasern schlussendlich durchtrennt. [49, 50]

3.7 Nachbehandlung

Die Nachbehandlung umfasst im Wesentlichen die Anlage eines Verbandes. Eine Ruhigstellung mit einer Schiene kann in Erwägung gezogen werden, eine Prognoseverbesserung lässt sich dadurch jedoch nicht erzielen. [61, 62]

Postoperative Schmerzen können durch geeignete analgetische Therapie vermindert werden, eine fetthaltige Salbe kann zur Narbenpflege verwendet werden.

Physiotherapeutische Übungen, auch durch den Patienten selbst, können eine frühere Verwendbarkeit der Hand im Alltag gewährleisten. [63]

4 MATERIAL UND METHODEN

4.1 Material

Jegliche verwendete Materialien wurden vom Institut für Anatomie der Medizinischen Universität Graz zur Verfügung gestellt.

Dem Institut für Anatomie haben sich zu Lebzeiten die Menschen der medizinischen Wissenschaft verfügt. Der Selbstlosigkeit dieser Körperspender ist es zu verdanken, dass diese Studie durchgeführt und als prospektive anatomische Studie geplant werden konnte.

Es wurden per Zufallsprinzip 51 Körperspender ausgewählt, die im Rahmen eines AO Trauma Kurses dem Institut für Anatomie zu Sezier- und Übungszwecken zur Verfügung gestellt wurden. Die Präparate wurden zuvor mittels der Thielschen Lösung konserviert. Durch diese bleibt den anatomischen Präparaten die Farbe und Beweglichkeit ähnlich zum Lebenden erhalten. [3, 4]

An diesen Präparaten wurden insgesamt 60 Hände präpariert, jeweils 30 rechte und 30 linke Hände.

Die Studienobjekte wurden unabhängig von Geschlecht, Alter, Größe und Gewicht ausgewählt. Dieses Kollektiv bestand aus 25 männlichen und 26 weiblichen Leichen. Die Altersspanne lag zwischen 50 und 99 Jahren mit einem Median von 82. Die Altersspanne sowie die Geschlechterverteilung bewegt sich in den normalen Verhältnissen für anatomische Präparate. Voraussetzung für die Auswahl war die topographische Intaktheit der gesamten Hand inklusive des gesamten Unterarmes. Als Ausschlusskriterien wurden Pathologien sowie Operationshinweise im Hand- und Unterarmbereich, wie sichtbare Narben oder Krepitationen als Zeichen von Unterarmfrakturen, definiert, welche die zu untersuchende topographische Region beeinträchtigt hätten.

4.2 Methoden

4.2.1 Durchführung der Präparation

Mit dem Ziel das Retinaculum auf die Oberfläche der Hand zu projizieren wurden möglichst konstante sowie leicht sichtbare und/oder palpable oberflächliche Landmarken ausgewählt. Dies waren zum einen die Processus styloidei ulnae und radii sowie die radiale Kante des Ringfingers im Bereich der Grundgliedfurche. Die radiale Verlängerung des vierten Strahles wurde in mehreren Arbeiten als Inzisionslinie im Rahmen von minimalinvasiven Techniken verwendet [64, 72, 83, 92].



Abbildung 16: Definierung der Landmarken zur Vermessung - Processus styloidei ulnae et radii grün markiert

Zunächst erfolgte die Palpation und anschließende Markierung der Processus styloidei mithilfe von Nadeln. Diese beiden Strukturen wurden anschließend in Form einer Horizontalen miteinander verbunden. Des Weiteren wurde eine longitudinale Linie durch die radiale Seite des Ringfingers mit Verlängerung auf den Unterarm gezogen. Diese beiden Linien wurden unmittelbar am Präparat mittels Farbstift eingezeichnet und miteinander geschnitten.

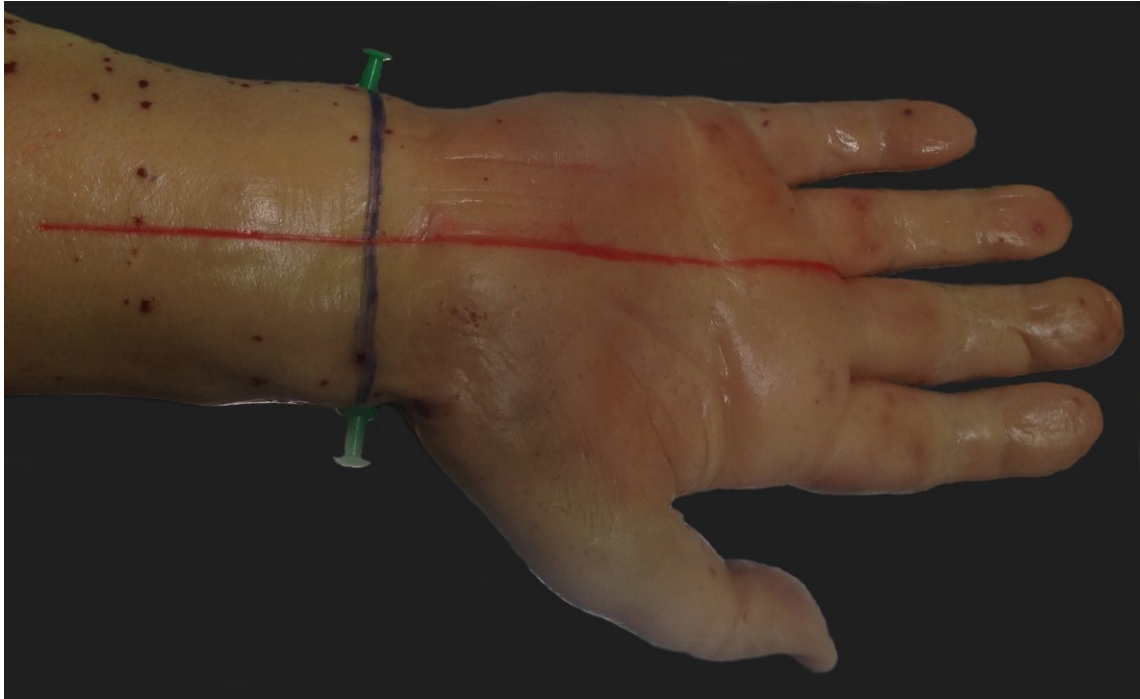
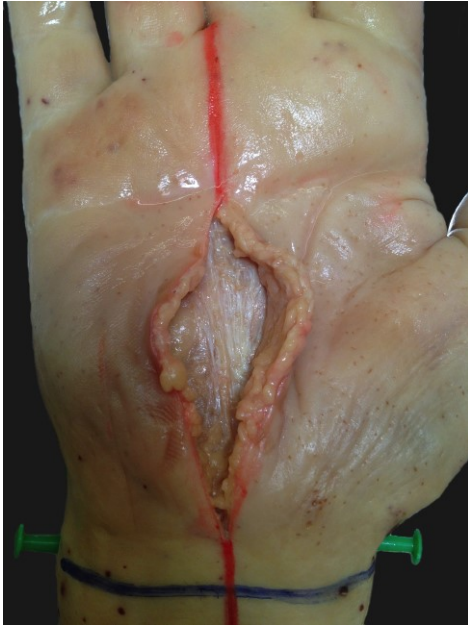


Abbildung 17: Definierung der Landmarken - die rote Linie läuft durch die radiale Seite des Ringfingers, die blaue Linie verbindet die Proc. styloidei

Der resultierende Schnittpunkt im Bereich des Unterarmes wurde mit „A“ bezeichnet, die radiale Seite des Ringfingers im Bereich der Grundgliedfalte mit „B“.

Im Anschluss erfolgte die Präparation der Zielstruktur. Hierfür wurde eine Inzision entlang der Linie durch die radiale Seite des Ringfingers durchgeführt. Nach Entfernung der Haut und der Subkutis wurde die Palmaraponeurose dargestellt. Auf ihre Entfernung folgte die Präparation des Retinaculum.



**Abbildung 18: Präparation der
Palmaraponeurose**

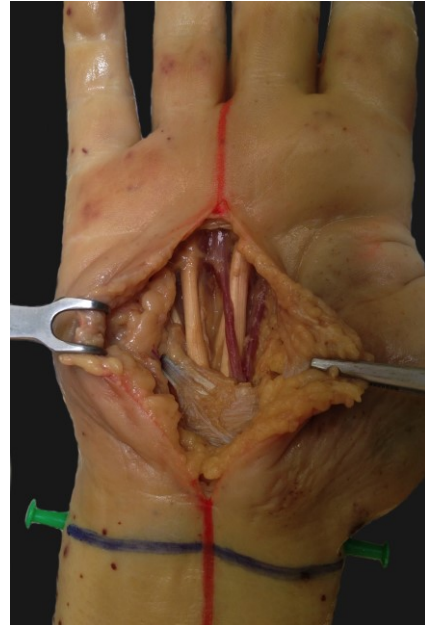


Abbildung 19: Präparation RF

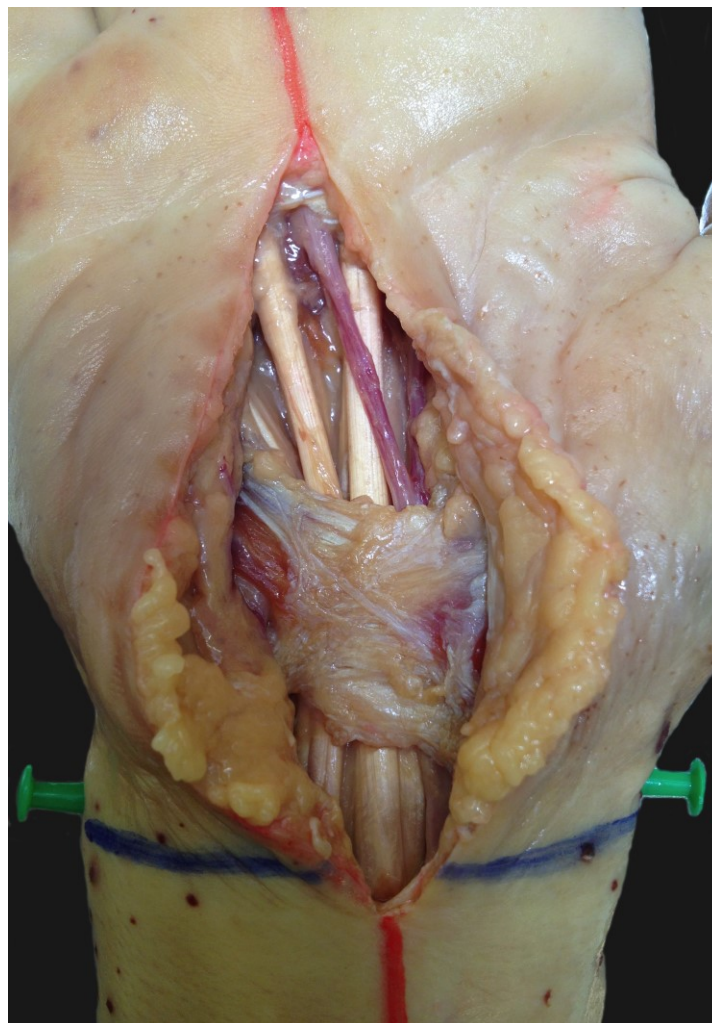


Abbildung 20: Fertiggestellte Präparation

4.2.2 Vermessung der Zielparameter

Anschließend erfolgte die Vermessung der Abstände von den zuvor definierten Referenzpunkten „A“ und „B“ mittels Schublehre.

Ausgehend von Schnittpunkt A im Bereich des Unterarms wurde bis zum proximalen Rand des Retinaculums sowie bis zum distalen Rand desselben vermessen.

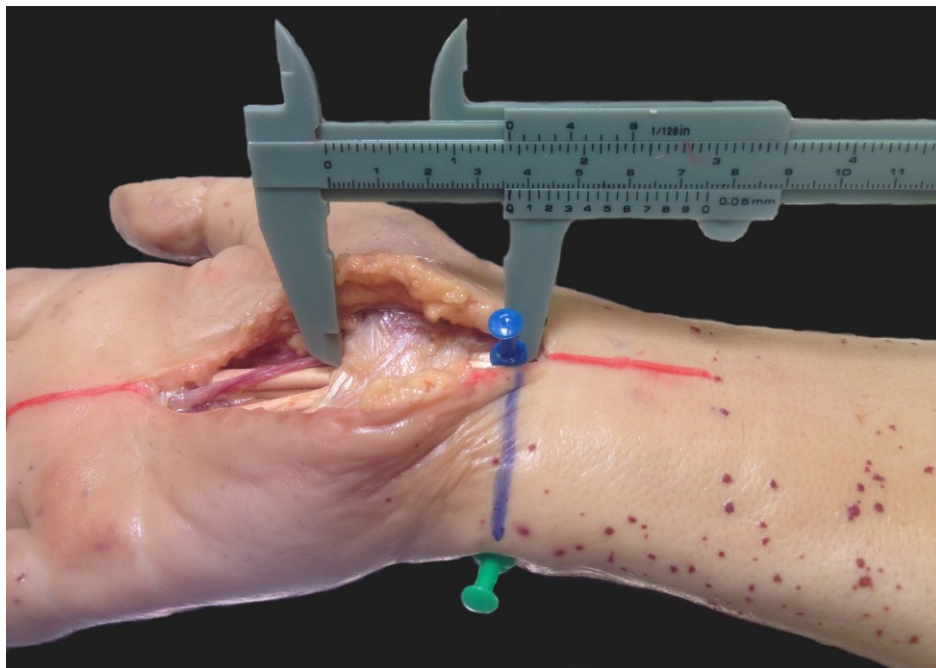


Abbildung 21: Vermessung des distalen Randes des RF von Schnittpunkt A

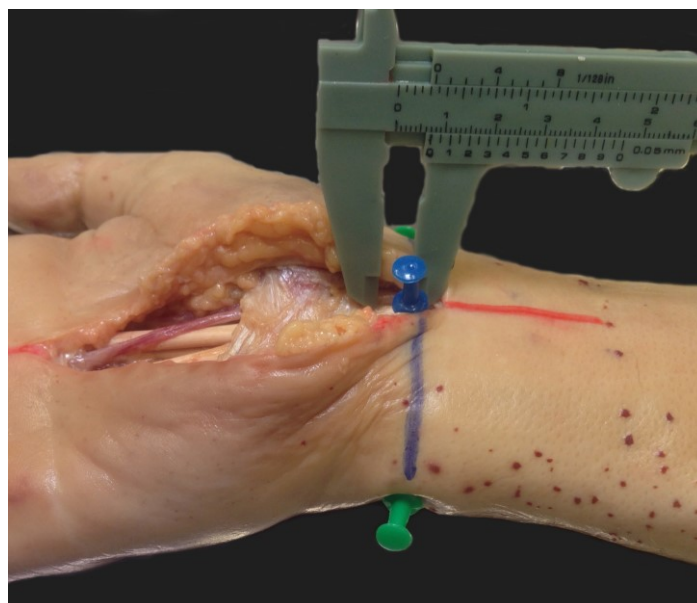


Abbildung 22: Vermessung des proximalen Randes des RF von Schnittpunkt A

Ausgehend von Schnittpunkt B im Bereich der radialen Seite des Ringfingers im Bereich der Grundgliedfalte wurde ebenfalls bis zum proximalen Rand des Retinaculum sowie bis zum distalen Rand desselben vermessen.

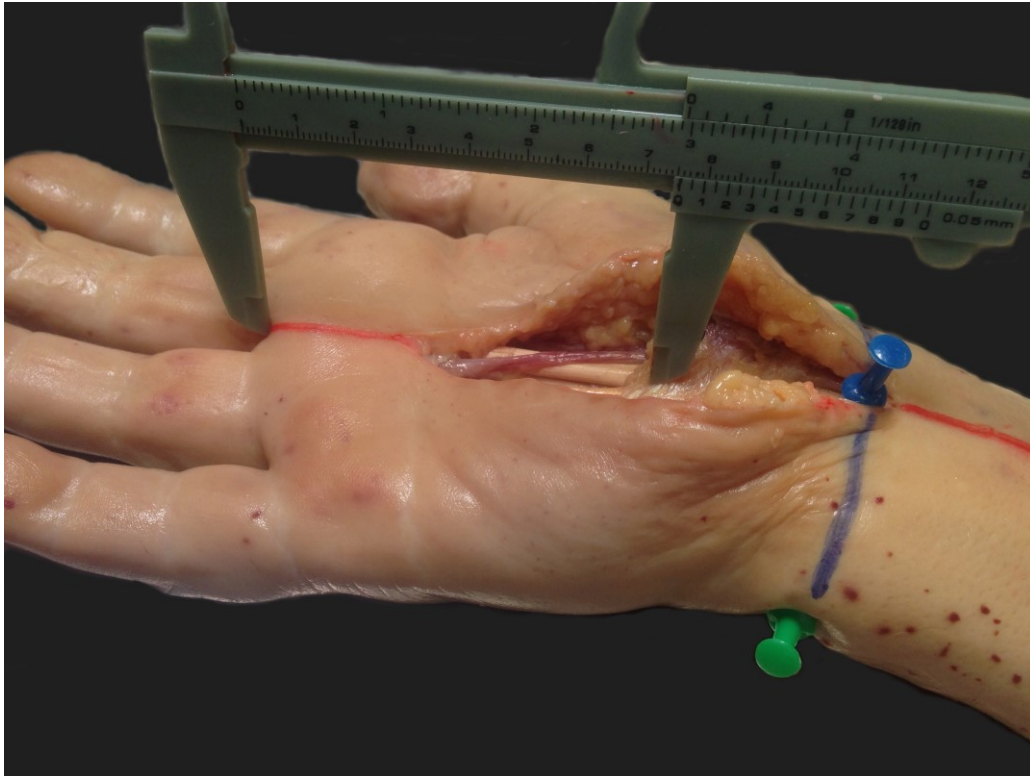


Abbildung 23: Vermessung des distalen Randes des RF von Schnittpunkt B

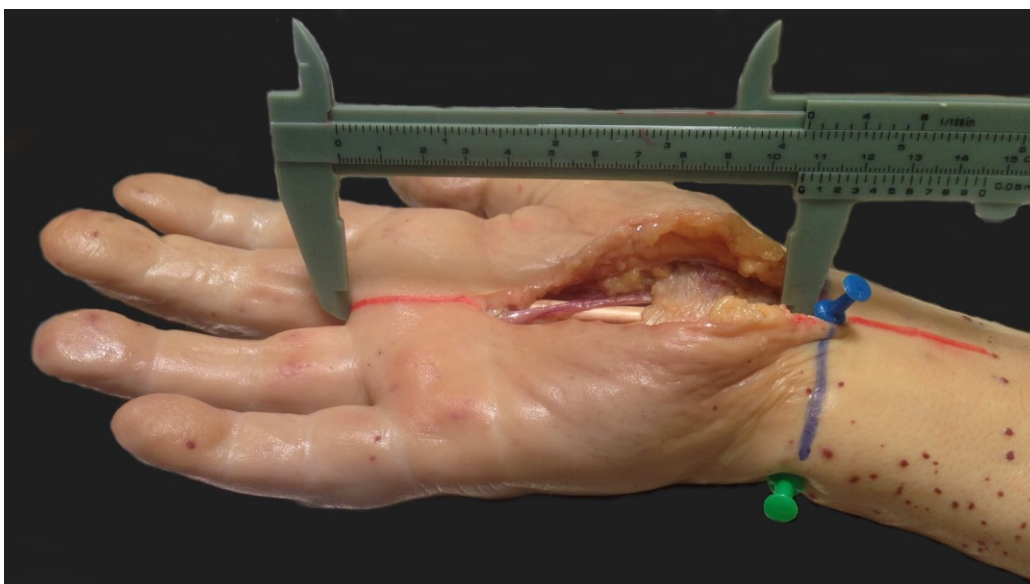


Abbildung 24: Vermessung des proximalen Randes des RF von Schnittpunkt B

Abschließend erfolgte die Vermessung der Breite des Retinaculum selbst.

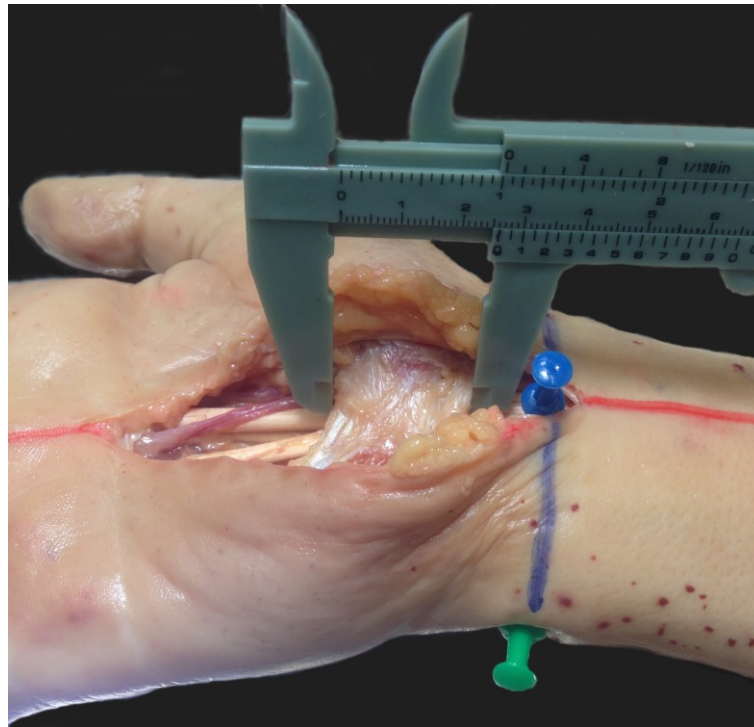


Abbildung 25: Vermessung des Retinaculum flexorum

Zusammenfassend konnten folgende Abstände definiert werden:

Punkt A bis zum proximalen Rand des Retinaculum

Punkt A bis zum distalen Rand der Struktur

Punkt B bis zur distalen Grenze des Retinaculum

Punkt B bis zur proximalen Grenze des Bandes

4.3 Statistische Analyse

Da die Daten für dieses Kollektiv als absolute Werte (Millimeter) erhoben wurden und variable Handgrößen zu unterschiedlichen Proportionen führen, entschieden wir uns gegen die Analyse mittels gängiger statistischer Methoden (wie zum Beispiel der linearen Regressionsanalyse). Die ermittelten Werte wurden als Prozente auf die absolute Länge, welche die longitudinale Linie zwischen dem Referenzpunkt „A“ (die ist der Schnittpunkt der Longitudinalen durch die radiale

Seite des Ringfingers mit der Transversalen durch die Processus styloidei im distalen Bereich des Unterarms) und dem Punkt „B“ (radiale Seite des Ringfingers an der Grundgliedfurche) darstellt, bezogen.

Somit ergaben sich folgende drei Proportionen:

- 1 Vom Punkt A (Schnittpunkt am Unterarm) zur proximalen Begrenzung des RF
- 2 Die Breite des RF
- 3 Vom distalen Rand des RF zum Punkt B (radiale Seite des Ringfingers an der Grundgliedfurche)

Daten, die aus Verhältnissen bestehen nennt man „Compositional Data“ und diese benötigen spezielle statistische Methoden, da sie Eigenschaften besitzen, die eine direkte Analyse beispielsweise mit multivariaten linearen Regressionsmodellen unmöglich machen. Einerseits liegen die Daten in einem begrenzten Intervall von 0 bis 1 und andererseits müssen sich die Proportionen pro Beobachtung auf 1 (also 100%) summieren. Daraus folgt eine Redundanz der Variablen, da man eine beliebige weglassen kann und sich deren Werte aus der Differenz zwischen 1 und der Summe der restlichen Variablen ergeben müssen.

Eine Möglichkeit die Daten zu analysieren bietet die sogenannte Dirichletregression, die bei Maier [2014] detailliert beschrieben wurde. Die gesamte Datenanalyse wurde mit der statistischen Software „R“ [81] unter Verwendung des „DirichletReg-Pakets“ [76] durchgeführt.

5 ERGEBNISSE

Die statistische Analyse zeigte, dass die Breite des RF (in Bezug auf die totale Länge zwischen den Referenzpunkten „A“ und „B“ auf der longitudinalen Linie durch die radiale Seite des Ringfingers) mit steigendem Alter etwas zunahm. Im Hinblick auf die Körperseite war die Streubreite der Werte linksseitig relativ konstant, wohingegen die Streuung auf der rechten Körperseite mit höherem Alter zunahm.

Die Breite des RF hing auch mit der jeweiligen totalen Länge zwischen den Referenzpunkten „A“ und „B“ zusammen. Hierbei vergrößerte sie sich linksseitig und verkleinerte sich auf der rechten Seite mit zunehmender totaler Länge. Keiner der evaluierten Werte stand in Zusammenhang mit dem Geschlecht.

Da die Ausdehnung des RF immer in Referenz zu der absoluten Länge (A-B) beschrieben wurde, kann seine Breite für dieses Kollektiv mit 48% dieser Linie angegeben werden. Sein distaler Rand befindet sich, ausgehend von der radialen Seite der Grundgliedfurche des Ringfingers, auf einer Höhe von 48% und seine proximale Begrenzung auf einer Proportion von 96% der totalen Länge.

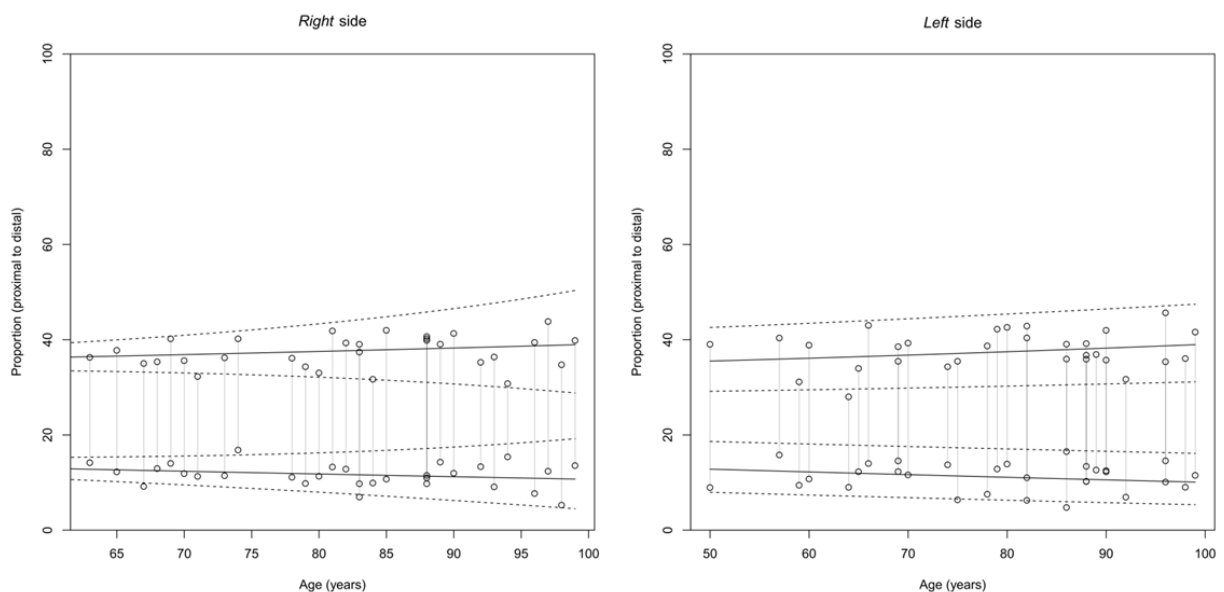


Abbildung 26: Breite des RF im Verhältnis zur absoluten Länge

6 DISKUSSION

In Hinblick auf die immer größer werdende Tendenz zur minimalinvasiven Chirurgie ist die Kenntnis der exakten Ausdehnung des RF unerlässlich, um einer insuffizienten Durchtrennung desselben, welche zu Persistenz oder Wiederkehr der Karpaltunnelsymptomatik führen kann, vorzubeugen. Diese Problematik wurde in der aktuellen Literatur sowohl nach offener als auch nach endoskopischer Spaltung des RF beschrieben [68, 86, 89]. Von Stütz et al. [2006] wurde die inkomplette Durchtrennung des RF als häufigste Ursache für persistierende Beschwerden genannt und während im Rahmen ihrer Studie bei Second-looks in 54% der Fälle vorgefunden. Jones et al. [2012] berichteten sogar über 58%. In beiden Untersuchungen waren sowohl das proximale als auch das distale Ende des Bandes fallweise unvollständig durchtrennt.

Da die operative Sanierung des KTS die häufigste Operation der Hand darstellt [66, 67, 82], wurde das Verhältnis des RF zu naheliegenden nervalen und vaskulären Strukturen [79, 82, 86] sowie seine detaillierten Ansatzpunkte [77] bereits mehrfach definiert. Obwohl eine Projektion des RF auf oberflächliche Strukturen für die Praxis äußerst nützlich wäre, wurde dies bis dato nur von Yavuz et al. [2013] durchgeführt. Dies geschah jedoch nur durch eine radiologische Untersuchung und nicht durch Präparation und präzise Vermessung des RF.

Ausgehend von diesen Erkenntnissen war es unser Ziel, das RF auf oberflächliche Landmarks zu projizieren, um seiner inkompletten Spaltung vorzubeugen.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie kann die Ausdehnung des RF ungefähr als die proximale Hälfte zwischen den Punkten „A“ und „B“ entlang der radialen Seite des Ringfingers beschrieben werden. Unsere Messwerte indizieren, dass die Spaltung des RF entlang dieser Länge zu seiner vollständigen Durchtrennung führt. Zur Verifizierung dieser Theorie wären weitere anatomische und klinische Studien notwendig.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- 1 Schmidt H, Lanz U. Chirurgische Anatomie der Hand. 2., überarbeitete und aktualisierte Auflage. 2003.
- 2 Bischoff C, Schulte-Mattler WJ, Conrad B. Das EMG-Buch. EMG und periphere Neurologie in Frage und Antwort. 2005.
- 3 Thiel W. Die Konservierung ganzer Leichen in natürlichen Farben. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger* 1992;174(3):185-195.
- 4 Thiel W. Eine Arterienmasse zur Nachinjektion bei der Konservierung ganzer Leichen. *Annals of Anatomy - Anatomischer Anzeiger* 1992;174(3):197-200.
- 5 Waldeyer AJ, Fanghänel J, Pera F, Anderhuber F, Nitsch R. Waldeyer – Anatomie des Menschen. Walter de Gruyter; 2009.
- 6 Assmus H, Antoniadis G, Bischoff C, Hausmann P, Martini A, Mascharka Z, et al. Diagnostik und Therapie des Karpaltunnelsyndroms - Leitlinie der Deutschen Gesellschaften für Handchirurgie, Neurochirurgie, Neurologie, Orthopädie. *Handchir Mikrochir Plast Chir* 2007;39(4):276-288.
- 7 Friedebold A, Scutaru C, Mache S, Quarcoo D, Groneberg DA, Spallek M. Das Karpaltunnelsyndrom—eine klinische Übersicht. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie* 2009;59(8):242-251.
- 8 Skorpik G, Zachs I. Carpal tunnel syndrome. *Orthopade*. 1998 Aug;27(8):583-98.
- 9 Thiel W. Photographischer Atlas der Praktischen Anatomie. Springer Science & Business Media; 2006.

- 10 Nordstrom DL, DeStefano F, Vierkant RA, Layde PM. Incidence of diagnosed carpal tunnel syndrome in a general population. *Epidemiology* 1998;9(3):342-345.
- 11 Luchetti R, Amadio P. *Carpal Tunnel Syndrome*. 1st edition. Berlin Heidelberg; 2007.
- 12 Nathan PA, Keniston RC, Myers LD, Meadows KD. Obesity as a risk factor for slowing of sensory conduction of the median nerve in industry: a cross-sectional and longitudinal study involving 429 workers. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 1992;34(4):379-383.
- 13 Shiri R, Miranda H, Heliovaara M, Viikari-Juntura E. Physical work load factors and carpal tunnel syndrome: a population-based study. *Occup Environ Med* 2009 Jun;66(6):368-373.
- 14 Weiss ND, Gordon L, Bloom T, So Y, Rempel DM. Position of the wrist associated with the lowest carpal-tunnel pressure: implications for splint design. *J Bone Joint Surg Am* 1995 Nov;77(11):1695-1699.
- 15 Luchetti R, Schoenhuber R, Nathan P. Correlation of segmental carpal tunnel pressures with changes in hand and wrist positions in patients with carpal tunnel syndrome and controls. *J Hand Surg Br* 1998 Oct;23(5):598-602.
- 16 Van Rijn RM, Huisstede BM, Koes BW, Burdorf A. Associations between work-related factors and the carpal tunnel syndrome—a systematic review. *Scand J Work Environ Health* 2009:19-36.
- 17 Van Meir N, De Smet L. Carpal tunnel syndrome in children. *Acta Orthop Belg* 2003 Oct;69(5):387-395.
- 18 Aluclu M, Turhanoglu A, Aluclu M. The frequency of carpal tunnel syndrome in patients with rheumatoid arthritis. *Internet J Neurol* 2006;5(2).

- 19 Kessler M, Netter P, Azoulay E, Mayeux D, Pere P, Gaucher A. Dialysis-associated arthropathy: a multicentre survey of 171 patients receiving haemodialysis for over 10 years. The Co-operative Group on Dialysis-associated Arthropathy. *Br J Rheumatol* 1992 Mar;31(3):157-162.
- 20 Roquelaure Y, Ha C, Pelier-Cady M, Nicolas G, Descatha A, Leclerc A, et al. Work increases the incidence of carpal tunnel syndrome in the general population. *Muscle Nerve* 2008;37(4):477-482.
- 21 Nabarro J. Acromegaly. *Clin Endocrinol* 1987;26(4):481-512.
- 22 Wand JS. Carpal tunnel syndrome in pregnancy and lactation. *J Hand Surg Br* 1990 Feb;15(1):93-95.
- 23 Golding DN. Hypothyroidism presenting with musculoskeletal symptoms. *Ann Rheum Dis* 1970 Jan;29(1):10-14.
- 24 Ganel A, Engel J, Sela M, Brooks M. Nerve entrapments associated with postmastectomy lymphedema. *Cancer* 1979;44(6):2254-2259.
- 25 Hartwell SW, Jr, Kurtay M. Carpal tunnel compression caused by hematoma associated with anticoagulant therapy. Report of a case. *Cleve Clin Q* 1966 Jul;33(3):127-129.
- 26 Case DB. An acute carpal tunnel syndrome in a haemophiliac. *Br J Clin Pract* 1967 May;21(5):254-255.
- 27 Atroshi I, Gummesson C, Johnsson R, Ornstein E, Ranstam J, Rosén I. Prevalence of carpal tunnel syndrome in a general population. *JAMA* 1999;282(2):153-158.
- 28 Benini A. Das Karpaltunnelsyndrom und die übrigen Kompressionssyndrome des Nervus medianus: 33 Tabellen. Thieme; 1975.

- 29 Wong KC, Hung LK, Ho PC, Wong JMW. Carpal tunnel release. A prospective, randomised study of endoscopic versus limited-open methods. *J Bone Joint Surg Br* 2003;85B:863-868
- 30 Platzer W, Leonhardt H. *Taschenatlas Anatomie*. Thieme; 2009.
- 31 Rosenbaum RB, Ochoa JL. *Carpal tunnel syndrome and other disorders of the median nerve*. : Butterworth-Heinemann; 2002.
- 32 Dellon AL, Mackinnon SE, Crosby PM. Reliability of two-point discrimination measurements. *J Hand Surg* 1987;12(5):693-696.
- 33 Borg K, Lindblom U. Diagnostic value of quantitative sensory testing (QST) in carpal tunnel syndrome. *Acta Neurol Scand* 1988;78(6):537-541.
- 34 Buch-Jaeger N, Foucher G. Correlation of clinical signs with nerve conduction tests in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Br* 1994 Dec;19(6):720-724.
- 35 de Krom MC, van Croonenborg JJ, Blaauw G, Scholten RJ, Spaans F. Guideline 'Diagnosis and treatment of carpal tunnel syndrome'. *Ned Tijdschr Geneeskd* 2008 Jan 12;152(2):76-81.
- 36 Mondelli M, Passero S, Giannini F. Provocative tests in different stages of carpal tunnel syndrome. *Clin Neurol Neurosurg* 2001;103(3):178-183.
- 37 Kaul MP, Pagel KJ, Wheatley MJ, Dryden JD. Carpal compression test and pressure provocative test in veterans with median-distribution paresthesias. *Muscle Nerve* 2001;24(1):107-111.
- 38 Durkan JA. A new diagnostic test for carpal tunnel syndrome. *J Bone Joint Surg Am* 1991 Apr;73(4):535-538.

- 39 Kuschner SH, Ebrahimzadeh E, Johnson D, Brien WW, Sherman R. Tinel's sign and Phalen's test in carpal tunnel syndrome. *Orthopedics* 1992 Nov;15(11):1297-1302.
- 40 Seror P. Phalen's test in the diagnosis of carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Br* 1988 Nov;13(4):383-385.
- 41 Katz JN, Larson MG, Fossel AH, Liang MH. Validation of a surveillance case definition of carpal tunnel syndrome. *Am J Public Health* 1991 Feb;81(2):189-193.
- 42 O'Connor D, Marshall SC, Massy-Westropp N, Pitt V. Non-surgical treatment (other than steroid injection) for carpal tunnel syndrome. *The Cochrane Library* 2003.
- 43 Werner RA, Franzblau A, Gell N. Randomized controlled trial of nocturnal splinting for active workers with symptoms of carpal tunnel syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86(1):1-7.
- 44 Marshall SC, Tardif G, Ashworth NL. Local corticosteroid injection for carpal tunnel syndrome. *The Cochrane Library* 2007.
- 45 Gerritsen AA, de Vet HC, Scholten RJ, Bertelsmann FW, de Krom MC, Bouter LM. Splinting vs surgery in the treatment of carpal tunnel syndrome: a randomized controlled trial. *JAMA* 2002;288(10):1245-1251.
- 46 Huisstede BM, Hoogvliet P, Randsdorp MS, Glerum S, van Middelkoop M, Koes BW. Carpal tunnel syndrome. Part I: effectiveness of nonsurgical treatments—a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil* 2010;91(7):981-1004.

- 47 Huisstede BM, Randsdorp MS, Coert JH, Glerum S, van Middelkoop M, Koes BW. Carpal tunnel syndrome. Part II: effectiveness of surgical treatments—a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil* 2010;91(7):1005-1024.
- 48 Katz JN, Keller RB, Simmons BP, Rogers WD, Bessette L, Fossel AH, et al. Maine Carpal Tunnel Study: outcomes of operative and nonoperative therapy for carpal tunnel syndrome in a community-based cohort. *J Hand Surg* 1998;23(4):697-710.
- 49 Martini AK. *Orthopädische Handchirurgie*. Darmstadt: Steinkopff 2008.
- 50 Chow JC. Endoscopic carpal tunnel release. Two-portal technique. *Hand Clin* 1994 Nov;10(4):637-646.
- 51 Agee JM, Peimer CA, Pyrek JD, Walsh WE. Endoscopic carpal tunnel release: a prospective study of complications and surgical experience. *J Hand Surg* 1995;20(2):165-171.
- 52 Borisch N, Haussmann P. Neurophysiological recovery after open carpal tunnel decompression: comparison of simple decompression and decompression with epineurotomy. *J Hand Surg Br* 2003 Oct;28(5):450-454.
- 53 Leinberry CF, Hammond NL,3rd, Siegfried JW. The role of epineurotomy in the operative treatment of carpal tunnel syndrome. *J Bone Joint Surg Am* 1997 Apr;79(4):555-557.
- 54 Antoniadis G, Rath S, Mir-Ali L, Oberle J, Richter H. Erfahrungen mit der endoskopischen Operation zur Behandlung des Karpaltunnelsyndroms. Vorläufige Ergebnisse einer prospektiven Studie. *Nervenarzt* 1997;68(6):503-508.

- 55 Ferdinand RD, MacLean JG. Endoscopic versus open carpal tunnel release in bilateral carpal tunnel syndrome. A prospective, randomised, blinded assessment. *J Bone Joint Surg Br* 2002 Apr;84(3):375-379.
- 56 Thoma A, Veltri K, Haines T, Duku E. A systematic review of reviews comparing the effectiveness of endoscopic and open carpal tunnel decompression. *Plast Reconstr Surg* 2004;113(4):1184-1191.
- 57 Kaplan SJ, Glickel SZ, Eaton RJ. Predictive factors in the nonsurgical treatment of carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Am*. 1990;15:106-108
- 58 Trumble TE, Gilbert M, McCallister WV. Endoscopic versus open surgical treatment of carpal tunnel syndrome. *Neurosurg Clin Am* 2001;12:225-266
- 59 Brown RA, Gelberman RH, Seiler JG 3rd, Abrahamsson SO, Weiland AJ, Urbaniak JR, Schoenfeld Da, Furcolo D. Carpal tunnel release. A prospective, randomized assessment of open and endoscopic methods. *J Bone Joint Surg Am* 1993;75:1265-1275
- 60 Thoma A, Veltri K, Haines T, Duku E. A systematic review of reviews comparing the effectiveness of endoscopic and open carpal tunnel decompression. *Plast Reconstr Surg* 2004;113:1184-1191
- 61 Cebesoy O, Kose KC, Kuru I et al. Use of a splint following open carpal tunnel release: a comparative study. *Adv Ther*. 2007;24:478-84
- 62 Huemer GM, Koller M, Pachinger T et al. Postoperative splinting after open carpal tunnel release does not improve functional and neurological outcome. *Muscle Nerve*. 2007;36: 528-31
- 63 Cook AC, Szabo RM, Birkholz SW, King EF. Early mobilisation following carpal tunnel release. A prospective randomized study. *J Hand Surg* 1995;20B:228-230

- 64 Yavuz OY, Uras I, Tasbas B, Kaya M, Ozay R, Komurcu M. Value of anatomic landmarks in carpal tunnel surgery. *J Hand Surg Eur Vol.* 2013 Jul;38(6):641-5.
- 65 Won HS, Han SH, Oh CS, Chung IH, Suh JS, Lim SY. Morphological study of the proximal boundary of the flexor retinaculum and of its constituent parts. *J Hand Surg Eur Vol.* 2012 Jan;37(1):35-41.
- 66 Tung TH, Mackinnon SE. Secondary carpal tunnel surgery. *Plast Reconstr Surg.* 2001 Jun;107(7):1830-43.
- 67 Soltani AM, Allan BJ, Best MJ, Mir HS, Panthaki ZJ. A systematic review of the literature on the outcomes of treatment for recurrent and persistent carpal tunnel syndrome. *Plast Reconstr Surg.* 2013 Jul;132(1):114-21.
- 68 Stütz N, Gohritz A, van Schoonhoven J, Lanz U. Revision surgery after carpal tunnel release--analysis of the pathology in 200 cases during a 2 year period. *J Hand Surg Br.* 2006 Feb;31(1):68-71.
- 69 Jugovac I, Burgić N, Mićović V, Radolović-Prenc L, Uravić M, Golubović V, Stancić MF. Carpal tunnel release by limited palmar incision vs traditional open technique: randomized controlled trial. *Croat Med J.* 2002 Feb;43(1):33-6.
- 70 Kamolz LP, Schrögendorfer KF, Rab M, Girsch W, Gruber H, Frey M. The precision of ultrasound imaging and its relevance for carpal tunnel syndrome. *Surg Radiol Anat.* 2001;23(2):117-21.
- 71 Kiyamaz N, Cirak B, Tuncay I, Demir O. Comparing open surgery with endoscopic releasing in the treatment of carpal tunnel syndrome. *Minim Invasive Neurosurg.* 2002 Dec;45(4):228-30.

- 72 Klein RD, Kotsis SV, Chung KC. Open carpal tunnel release using a 1-centimeter incision: technique and outcomes for 104 patients. *Plast Reconstr Surg.* 2003 Apr 15;111(5):1616-22.
- 73 Lalonde DH. Evidence-based medicine: Carpal tunnel syndrome. *Plast Reconstr Surg.* 2014 May;133(5):1234-40.
- 74 Larsen MB, Sørensen AI, Crone KL, Weis T, Boeckstyns ME. Carpal tunnel release: a randomized comparison of three surgical methods. *J Hand Surg Eur Vol.* 2013 Jul;38(6):646-50.
- 75 Maier, MJ. *DirichletReg: Dirichlet Regression for Compositional Data in R.* Research Report Series/Department of Statistics and Mathematics, 125. WU Vienna University of Economics and Business, Vienna, 2014. <http://epub.wu.ac.at/4077/>
- 76 Maier, MJ. *DirichletReg: Dirichlet Regression in R.* R package version 0.6-4, 2015. <http://dirichletreg.r-forge.r-project.org/>
- 77 Manley M, Boardman M, Goitz RJ. The carpal insertions of the transverse carpal ligament. *J Hand Surg Am.* 2013 Apr;38(4):729-32.
- 78 Middleton WD, Kneeland JB, Kellman GM, Cates JD, Sanger JR, Jesmanowicz A, Froncisz W, Hyde JS. MR imaging of the carpal tunnel: normal anatomy and preliminary findings in the carpal tunnel syndrome. *AJR Am J Roentgenol.* 1987 Feb;148(2):307-16.
- 79 Olave E, Del Sol M, Gabrielp C, Mandiola E, Rodrigues CF. Biometric study of the relationships between palmar neurovascular structures, the flexor retinaculum and the distal wrist crease. *J Anat.* 2001 Jun;198(Pt 6):737-41.
- 80 Palmer AK, Toivonen DA. Complications of endoscopic and open carpal tunnel release. *J Hand Surg Am.* 1999 May;24(3):561-5.

- 81 R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2015. URL <https://www.R-project.org/>
- 82 Samarakoon LB, Guruge MH, Jayasekara M, Malalasekera AP, Anthony DJ, Jayasekara RW. Anatomical landmarks for safer carpal tunnel decompression: an experimental cadaveric study. *Patient Saf Surg.* 2014 Feb 17;8(1):8.
- 83 Ahcan U, Arnez ZM, Bajrović F, Zorman P. Surgical technique to reduce scar discomfort after carpal tunnel surgery. *J Hand Surg Am.* 2002 Sep;27(5):821-7.
- 84 Beck JD, Brothers JG, Maloney PJ, Deegan JH, Tang X, Klena JC. Predicting the outcome of revision carpal tunnel release. *J Hand Surg Am.* 2012 Feb;37(2):282-7.
- 85 Cellocco P, Rossi C, El Boustany S, Di Tanna GL, Costanzo G. Minimally invasive carpal tunnel release. *Orthop Clin North Am.* 2009 Oct;40(4):441-8, vii.
- 86 Chern TC, Jou IM, Chen WC, Wu KC, Shao CJ, Shen PC. An ultrasonographic and anatomical study of carpal tunnel, with special emphasis on the safe zones in percutaneous release. *J Hand Surg Eur Vol.* 2009 Feb;34(1):66-71.
- 87 Cobb TK, Amadio PC, Leatherwood DF, Schleck CD, Ilstrup DM. Outcome of reoperation for carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Am.* 1996 May;21(3):347-56.
- 88 Cobb TK, Dalley BK, Posteraro RH, Lewis RC. Anatomy of the flexor retinaculum. *J Hand Surg Am.* 1993 Jan;18(1):91-9.

- 89 Forman DL, Watson HK, Caulfield KA, Shenko J, Caputo AE, Ashmead D. Persistent or recurrent carpal tunnel syndrome following prior endoscopic carpal tunnel release. *J Hand Surg Am.* 1998 Nov;23(6):1010-4.
- 90 Hulsizer DL, Staebler MP, Weiss AP, Akelman E. The results of revision carpal tunnel release following previous open versus endoscopic surgery. *J Hand Surg Am.* 1998 Sep;23(5):865-9.
- 91 Hwang PY, Ho CL. Minimally invasive carpal tunnel decompression using the KnifeLight. *Neurosurgery.* 2007 Feb;60(2 Suppl 1):ONS162-8; discussion ONS168-9.
- 92 Iida J, Hirabayashi H, Nakase H, Sakaki T. Carpal tunnel syndrome: electrophysiological grading and surgical results by minimum incision open carpal tunnel release. *Neurol Med Chir (Tokyo).* 2008 Dec;48(12):554-9.
- 93 Jones NF, Ahn HC, Eo S. Revision surgery for persistent and recurrent carpal tunnel syndrome and for failed carpal tunnel release. *Plast Reconstr Surg.* 2012 Mar;129(3):683-92.