

**Diplomarbeit**

**Retrospektive Analyse der eigenen Fälle nach offener  
Karpaldachspaltung: Inzidenz von Rezidiven**

**Karpaltunnelsyndrom- Rezidiv**

eingereicht von

**Daniel Georg Gmainer**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktor der gesamten Heilkunde**

**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Klinischen Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive  
Chirurgie, Universitätsklinik für Chirurgie Graz**

unter der Anleitung von

**Dr. <sup>in</sup> Petra Brinskelle;**

**Assoz. Prof. PD Dr. David Benjamin Lumenta**

Graz, 17.04.2020

*Eidesstattliche Erklärung*

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

*Graz, am 17.04.2020*

*Daniel Georg Gmainer eh*

## Danksagungen

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, vor allem meinen Eltern Manfred und Barbara, sowie meinem Bruder Andreas, ohne deren langjährige Unterstützung ich heute nicht in die glückliche Lage gekommen wäre, diese abschließenden Zeilen meiner Diplomarbeit zu verfassen.

Meinen Betreuern, Frau Dr.<sup>in</sup> med. univ. Petra Brinskelle und Herrn Assoz. Prof. PD Dr. med. David Benjamin Lumenta möchte ich für die Unterstützung bei dieser Arbeit ebenfalls herzlich danken.

Erwähnen möchte ich dabei Herrn Assoz. Prof. PD Dr. med. David Benjamin Lumenta, für das Beibringen praktischer Fertigkeiten, sowie die Vermittlung der Bedeutung eines „roten Fadens“ beim wissenschaftlichen Arbeiten und die entsprechende Richtungsweisung, sollte ich das Wesentliche aus den Augen verloren haben.

Neben guten Freunden, die für eine ausgeglichene und unvergessliche Studienzeit äußerst wertvoll waren und welche mir in Zukunft hoffentlich auch erhalten bleiben, will ich mich an dieser Stelle ferner bei Felix Golm, Andrzej Hecker und Michael Prikosovits sehr herzlich für Ihre tatkräftige Unterstützung in der Rechtschreibung und bei statistischen Fragestellungen bedanken.

Abschließend möchte ich noch der Medizinischen Universität Graz danken, durch deren Mithilfe es möglich war, wertvolle Auslandserfahrung zu sammeln, welche mich nicht nur fachlich, sondern in besonderer Weise persönlich geprägt hat.

# Zusammenfassung

## Einleitung

Das Karpaltunnelsyndrom, welches eine Einengung des Nervus medianus im Karpaltunnel darstellt, gehört zu den häufigsten Operations-Indikationen, die an der Hand durchgeführt werden. Die Ursache dieses Syndroms liegt dabei meist in einer Druckschädigung des Nervs im Bereich des Karpaltunnels, welche durch verschiedene zugrundeliegende Pathologien ausgelöst werden kann. Nach primärer operativer Karpaldachspaltung klagt eine nicht zu vernachlässigende Anzahl an PatientInnen weiterhin über persistierende oder nach einem individuell unterschiedlichen symptomfreien Zeitintervall über wiederkehrende Beschwerden. Ziel dieser Studie ist, in Kombination mit bestehender Literatur, eine Unterteilung von Karpaltunnelsyndrom- Revisionsfällen zu erstellen und Unterschiede zwischen PatientInnen mit rezidivierenden und PatientInnen mit persistierenden Beschwerden zu ermitteln.

## Methoden

Mittels einer Datenbankabfrage an der Klinischen Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie, Universitätsklinik für Chirurgie, Medizinische Universität Graz wurde die Anzahl an Karpaltunnelsyndrom-Fällen im Zeitraum von 2005-2015 ausgewertet. Bestehende Schwangerschaften und Komorbiditäten, die in ihrem klinischen Erscheinungsbild einem Karpaltunnelsyndrom ähneln konnten, wurden ausgeschlossen. Allgemeine Angaben zu PatientInnen, Zeitpunkte, Komorbiditäten und Angaben zur Operation, Symptomatik sowie klinische Zeichen, NLG Untersuchungen und Symptomentwicklung wurden mittels Microsoft® Excel® IBM SPSS Statistics Version 25 ausgewertet (Verwendung von Kolmogorov- Smirnov-Test, dann Chi-Quadrat-, Fisher-Exact-Test, bei ordinal skalierten Daten der Mann-Whitney-U-Test und bei Normalverteilung für intervallskalierte Daten der unabhängige t-Test). P-Werte  $\leq 0,05$  wurden als statistisch signifikant bewertet.

## Ergebnisse

Von insgesamt 1266 operierten Händen entsprachen 53 Revisionsoperationen, welche mit dem aus der Literatur stammendem Kriterium zur Definition eines Rezidivs, in 18 Rezidive und 35 persistierende Karpaltunnelsyndrom-Fälle unterteilt wurden. Im Bezug auf die Fragestellung dieser Arbeit konnte festgestellt werden, dass sich die beiden

Gruppen in den analysierten Parametern Schmerz und in intraoperativ festgestellten Ursachen signifikant unterscheiden. Während Vernarbungen im Vergleich zur Persistierenden-Gruppe mit 40%, bei 94% aller Rezidiv-PatientInnen zu finden waren ( $p < 0.001$ ), konnten Schmerzen in der Persistierenden-Gruppe ebenfalls signifikant häufiger festgestellt werden ( $p = 0.009$ ).

## Diskussion

Unsere Ergebnisse zeigen, dass bei Rezidiven eine Einbettung des Nervus medianus in Narbengewebe mit deutlichem Abstand die häufigste bestimmbar Hauptursache ist. Dies deckt sich mit Ergebnissen aus bestehender Literatur, wobei zusätzlich, analog zu unseren, Schmerzen bei Rezidiv PatientInnen im Vergleich zu anderen Gruppen seltener beobachtet werden konnten. Schlussfolgernd sind Beschwerden, die in ihrem Charakter nach vorausgegangener Operation gleich oder neu sein können, wegweisend für die richtige Diagnosefindung und das weitere therapeutische Procedere. Zudem sollen in jeder Studie, unabhängig von der untersuchten Fragestellung, Überlegungen angestellt werden, die zukünftige Datenqualität zu verbessern. Dabei müssen Machbarkeit, menschliche sowie finanzielle Faktoren in Kombination mit neuen Technologien berücksichtigt werden.

## **Abstract**

### Introduction

Carpal tunnel syndrome (CTS), which is a peripheral entrapment neuropathy, affecting the median nerve in the forearm, is one of the most common surgery indications in the human hand. Increased pressure in the carpal tunnel, triggered by various factors, is the leading cause. Although carpal tunnel release surgery is considered as very effective, there are still a considerable number of patients, who suffer from persistent or recurrent symptoms after the primary surgery. The aim of this study was to determine differences between recurrent and persistent CTS and to establish a clear definition for recurrent carpal tunnel syndrome, by taking into account current literature.

### Methods

Through a database query, we determined the amount of CTS cases treated at the Division of Plastic, Aesthetic and Reconstructive Surgery, Department of Surgery, Medical University of Graz between 2005 and 2015. We excluded pregnant women and patients with comorbidities mimicking CTS symptoms. Parameters entered into Microsoft® Excel® and analysed in IBM SPSS Statistics Version 25 were time intervals from diagnosis via treatment to follow-up, comorbidities, clinical signs, clinical symptoms, data from operative reports and nerve conduction studies. Following test for parametric distribution we statistically analysed data by Chi-Quadrat-, Fisher-Exact-Test, ordinal data by Mann-Whitney-U-Test and parametric data by independent t-tests. P-values  $\leq 0,05$  were considered statistically significant.

### Results

Of 1266 treated hands, 53 represented revision surgery cases. Of these, 18 met literature defined inclusion criteria for recurrent CTS. The other 35 were classified as persistent CTS. Comparing both groups statistically significant differences were found for reasons for revision surgery and pain. Formation of scar tissue as the leading cause in 94% of all recurrent cases was only found in 40% of the persistent cases ( $p < 0.001$ ). Pain, in contrast, was detected more often in the persistent group ( $p = 0.009$ ).

### Discussion

Our data confirm scarring to be the leading cause for recurrent carpal tunnel syndrome. Pain was less frequent in recurrent vs. persistent carpal tunnel syndrome, which is in

accordance with the literature. New or unchanged symptoms and signs are indicative of persistent carpal tunnel syndrome – a clinical diagnosis. Based on a solid scientific basis every medical / surgical specialty must question clinical data quality and seek ways to improve it, while being well aware of factors influencing feasibility like technological, personnel and financial resources when planning future studies.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagungen .....	ii
Zusammenfassung .....	iii
Abstract.....	v
Inhaltsverzeichnis .....	vii
Glossar und Abkürzungen .....	ix
Abbildungsverzeichnis .....	x
Tabellenverzeichnis .....	xi
1 Einleitung .....	1
1.1 Allgemeines /Ätiologie .....	1
1.2 Karpaltunnelsyndrom.....	2
1.2.1 Symptome.....	2
1.2.2 Klinische Zeichen.....	2
1.2.3 Nervenleitgeschwindigkeit .....	4
1.2.4 Bildgebung .....	6
1.2.5 Therapie .....	7
1.3 Anatomische Grundlagen .....	8
1.3.1 Karpaltunnel .....	8
1.4 Bedeutende angrenzende Strukturen.....	10
1.4.1 Gefäße.....	10
1.4.2 Nerven .....	13
1.4.3 Plexus brachialis .....	14
1.5 Nervenschädigung .....	19
1.5.1 Pathophysiologie der Nervenschädigung .....	20
1.6 Anatomische Variationen .....	22
1.6.1 Anatomische Variationen des Nervus medianus im Bereich des Karpaltunnels.....	22
1.6.2 Ramus palmaris nervi mediani .....	23
1.6.3 Kommunikationsäste zwischen Nervus medianus und ulnaris.....	24
1.6.4 Gefäßvariationen .....	24
1.6.5 Muskel- und Sehnenvariationen .....	25
1.6.6 Läsionen des Nervus medianus .....	26
1.7 Differentialdiagnosen zum Karpaltunnelsyndrom.....	27
1.7.1 Pathologien im Bereich der Halswirbelsäule.....	27
1.7.2 Thoracic Outlet Syndrom .....	28
1.7.3 Ober- und Unterarm.....	28
1.7.4 Komplexes Regionales Schmerzsyndrom (engl. CRPS).....	29
1.7.5 Karpaltunnelsyndrom- Rezidiv und persistierende Beschwerden.....	29
2 Methoden.....	30
2.1 Studienziel .....	30
2.2 Datenherkunft .....	30
2.3 Einschlusskriterien.....	30
2.4 Ausschlusskriterien .....	31
2.5 Therapie .....	31
2.6 Datenschutz.....	31
2.7 Datenextraktion.....	32
2.7.1 Allgemeine PatientInnenangaben, Zeitpunkte, Komorbiditäten und Angaben zur Operation .....	32
2.7.2 Symptomatik, klinische Zeichen, NLG Untersuchung und Tendenz der Symptomentwicklung.....	34

2.7.3	Gruppen: Rezidivierende und Persistierende Symptomatik .....	35
2.8	Statistische Analyse .....	36
3	Ergebnisse.....	37
3.1	Patientenkollektiv .....	37
3.2	Test auf Normalverteilung .....	39
3.3	PatientInneneigenschaften .....	39
3.3.1	Komorbiditäten.....	40
3.3.2	Symptomfreies Intervall (Rezidive) .....	41
3.4	Details zur Revisionsoperation .....	42
3.4.1	Intraoperativ bestimmte Hauptursachen.....	42
3.4.2	Präoperative Diagnostik .....	43
3.4.3	Postoperatives Ergebnis.....	44
3.5	Unterschiede zwischen Rezidiven und persistierenden Karpaltunnelsyndromen	45
3.6	Verteilung der Häufigkeiten .....	47
4	Diskussion .....	51
4.1	Limitationen.....	55
5	Schlussfolgerung .....	58
6	Literaturverzeichnis .....	59

## Glossar und Abkürzungen

Lig.	Ligamentum (Bandstruktur)
M./Mm.	Musculus/Musculi (Muskel/Muskeln)
A./Aa.	Arteria/Arteriae (Arterie/Arterien)
N./Nn.	Nervus/Nervi (Nerv/Nerven)
V./Vv.	Vena/Venae (Vene/Venen)
C(n)	Halswirbelsäulensegment(n)
T(n)	Brustwirbelsäulensegment(n)
palm.	palmar (Hohlhandwärts)
sup.	superficial/superficialis (Oberflächlich gelegen)
dors.	dorsal (Rückseitig gelegen)
NLG	Nervenleitgeschwindigkeit
EMG	Elektromyographie
SNAP	sensibles Nervenaktionspotential
MSAP	motorisches Summenaktionspotential
PME	Potential der motorischen Einheiten
TOS	Thoracic Outlet Syndrom
C2	Alkohol (Ethanol)

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Leitungsbahnen Hand.....	12
Abbildung 2: Plexus brachialis/ N. medianus in Rot.....	15
Abbildung 3: Verlauf N. medianus .....	18
Abbildung 4: Ramus Thenaris (16) .....	23
Abbildung 5: PatientInnenaufgliederung 1.....	37
Abbildung 6: PatientInnenaufgliederung 2.....	38
Abbildung 7: PatientInneneigenschaften (Alter).....	39
Abbildung 8: PatientInneneigenschaften (BMI).....	40
Abbildung 9: Ursachen Rezidive.....	42
Abbildung 10: Ursachen persistierende Beschwerden .....	43
Abbildung 11: Rezidive (von Revisionsoperation profitiert) .....	44
Abbildung 12: Persistierend (von Revisionsoperation profitiert).....	44
Abbildung 13: Verteilung Schmerz.....	47
Abbildung 14: Verteilung Parästhesien.....	47
Abbildung 15: Verteilung Gefühllosigkeit .....	48
Abbildung 16: Verteilung Schwäche.....	48
Abbildung 17: Verteilung Phalen-Test.....	49
Abbildung 18: Verteilung Hoffmann-Tinel.....	49
Abbildung 19: Verteilung Hypo-/Atrophie .....	50

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Unterschiede Karpaltunnelsyndrom- Spondylose .....	27
Tabelle 2: Komorbiditäten.....	33
Tabelle 3: Erhobene Parameter .....	35
Tabelle 4: PatientInneneigenschaften und Komorbiditäten.....	41
Tabelle 5: Details zur Revisionsoperation.....	45
Tabelle 6: Gruppenvergleich .....	46

# 1 Einleitung

## 1.1 Allgemeines /Ätiologie

Das Karpaltunnelsyndrom, welches eine Einengung des Nervus medianus im Karpaltunnel darstellt, zählt mit einem Gesamtanteil an peripheren Nervenkompressionssyndromen von ca. 90 Prozent zu den häufigsten Operationen, die an der Hand durchgeführt werden. Die Ursache dieses Syndroms liegt dabei meist in einer Druckschädigung des Nervs im Bereich des Karpaltunnels. Dies kann neben einem primären Missverhältnis zwischen dem Volumen des Karpaltunnels und durchtretenden Strukturen, wobei eine protrahierende Reizung des Nervs besteht, sowie sekundär aufgrund vieler Grunderkrankungen verursacht werden. Dazu zählen vor allem Erkrankungen der Schilddrüse, des rheumatischen Formenkreises, Nierenerkrankungen sowie ein Diabetes mellitus.

Von den typischen Symptomen wie Schmerzen, Kribbeln und Gefühlsstörung im sensiblen Innervationsgebiet des Nervus medianus sind Frauen mittleren Alters am häufigsten betroffen. Zusätzlich zu Faktoren, die eine Schwangerschaft, Stoffwechselerkrankungen und auch eine genetische Prädisposition einschließen, berichten Silverstein sowie Aoori und Spence, dass repetitive Tätigkeiten im Beruf ebenso eine entscheidende Rolle spielen (1),(2).

Die Prävalenz von klinisch und elektrophysiologisch bestätigten Karpaltunnelsyndromen wird beispielsweise in einem Ausschnitt der schwedischen Bevölkerung mit 2,1% bei Männern und mit 3% bei Frauen angegeben (3).

Zu den diagnostischen Tests gehören eine Messung der Nervenleitgeschwindigkeit, Elektromyografie, Neurosonografie und eventuell anderen bildgebenden Verfahren, wie Magnetresonanztomografie, Röntgen und Computertomografie, die Erhebung klinisch-physikalischer Parameter mittels Hoffmann-Tinel Zeichen, Phalen- Test, Flaschen- Test, Prüfung der Sensibilität sowie Motorik und Ausprägung der Thenarmuskulatur.

Bei moderat oder stark ausgeprägten Symptomen ist die chirurgische Durchtrennung des Karpaldachs nachweislich die einzige Besserung versprechende Therapieoption (4),(2). Diese wird von Autoren mit einer unterschiedlich hohen Erfolgsrate, beispielsweise 88% bei Badger belegt (5). Im Umkehrschluss gibt bestehende Literatur eine hohe Breite von unterschiedlichen Wiederauftrittsraten an.

Jene PatientInnen, welche nach initialer Operation, abgesehen von als normal einzustufenden postoperativen Beschwerden, weiterhin bestehende oder nach einem

symptomfreien Intervall wiederauftretende Symptome schildern, sind Gegenstand dieser Untersuchung.

## **1.2 Karpaltunnelsyndrom**

### **1.2.1 Symptome**

PatientInnen schildern meist ein typisches Bild, welches vor allem nächtliche Schmerzen, Parästhesien und Gefühlsstörungen in den radialen dreieinhalb Fingern beinhaltet. Oft wird zusätzlich angegeben, dass Bewegungen und Tätigkeiten, die den Druck im Karpaltunnel erhöhen, zu einer Verstärkung der Symptome führen. Dabei sind vor allem eine repetitive Flexion und die forcierte Extension im Handgelenk für erhebliche Drucksteigerungen im Karpalkanal verantwortlich. Ein Ausstrahlen auf den Unterarm oder die restlichen ulnaren Finger wird nicht selten beschrieben. Die ebenfalls geläufige Bezeichnung dieses Syndroms als „Brachialgia Paraesthetica Nocturna“ impliziert schmerzbedingte nächtliche Durchschlafstörungen. Im Gegensatz zu bestimmten Handgelenksstellungen, die eine Verstärkung der Symptome verursachen, bringt ein Ausschütteln oder ein Tieferhalten der betroffenen Extremität mit konsekutiver Durchblutungsverbesserung oft Linderung der Beschwerden. Berichten PatientInnen im Laufe der Zeit über eine abnehmende Schmerzintensität, so kann sich dahinter eine fortgeschrittene Nervenschädigung verbergen. Zusätzlich lässt sich bei späteren Stadien neben den angegebenen Beschwerden eine Schwäche und Hypotrophie der Thenarmuskulatur feststellen. (6).

### **1.2.2 Klinische Zeichen**

Ergänzend zu typischen Beschwerden lässt sich ein Karpaltunnelsyndrom mittels Tests, die sich oft einer Aggravierung der Beschwerden bei bestimmten Manövern bedienen, diagnostizieren sowie von Differentialdiagnosen abgrenzen.

### **1.2.2.1 Zwei-Punkt Diskrimination**

Mit dieser Methode lässt sich der Schweregrad der Schädigung eines sensiblen Nervs abschätzen. Dabei wird mit einem Objekt, welches zwei Punkte mit einem definierten Abstand (3 bis 6mm) aufweist, in Längsachse ein sensibles Innervationsgebiet von proximal nach distal abgetastet. Die Unfähigkeit, zwei Punkte ab einem Abstand von 6mm als eigenständige Punkte zu diskriminieren, gilt als Hinweis einer Nervenschädigung. Eine Korrelation mit pathologischen Latenzzeiten in der Nervenleitgeschwindigkeitsuntersuchung hat ergeben, dass diese, stark Untersucher- und von anderen Gegebenheiten wie Alter, Hauttemperatur und Druck abhängige Untersuchungsmethode, eine Sensitivität von 25%, Spezifität von 87,5% und einen positiv prädikativen Wert bei abnormaler Zwei- Punkt Diskrimination von 85% aufweist (7).

### **1.2.2.2 Flaschenzeichen**

Aufgrund der Schwäche der kurzen Thenarmuskeln, besonders des M. opponens pollicis und M. abductor pollicis brevis, können zylindrische oder kegelförmige Gegenstände nur noch unzureichend umgriffen werden.

### **1.2.2.3 Phalen´s Test**

Bei diesem Provokationsmanöver lässt man PatientInnen auf ihre Ellbogen abstützen und die Handgelenke jeweils um rund 90 Grad flektieren. Entwickeln sich innerhalb von 60 Sekunden typische Parästhesien, so gilt der Test als positiv (6).

Sensitivität und Spezifität bei bestätigten Karpaltunnelsyndromen werden mit 52.8% und 87.7% und der positiv prädikative Wert mit 29.5% berichtet (8).

### **1.2.2.4 Hoffman-Tinel Zeichen**

Dieser Test entspricht einem Provokationstest, bei dem ein Nerv in dessen Verlauf entweder mittels Finger oder Reflexhammer beklopft wird. Der Test gilt als positiv, wenn der/die PatientIn von ausstrahlenden Sensationen berichtet, die sich wie ausstrahlende

elektrische Schocks anfühlen (6). Des Weiteren lässt sich die Stelle der Schädigung erahnen.

Eine kürzlich veröffentlichte Studie untersuchte in einer Kohorte von über 1000 erwachsenen ArbeiterInnen neben anderen Symptomen und Zeichen eines Karpaltunnelsyndroms auch das Hoffman-Tinel Zeichen. Dabei stellte sich heraus, dass der positive prädikative Wert des Hoffman-Tinel Zeichens zur Verifizierung eines Karpaltunnelsyndroms 26.8% beträgt. Die Sensitivität wird mit einem Wert von 37.7% und die Spezifität mit 90% angegeben (8).

### **1.2.2.5 Thenaratrophie**

Eine starke Beeinträchtigung oder der Verlust der Innervierung der Thenarmuskulatur bewirkt zusätzlich zu einer Funktionseinschränkung eine Muskelatrophie, wobei die Hand „affenähnlich“ flach im Thenargebiet erscheint.

Neben diesen Zeichen gibt es noch zahlreiche andere Tests, die ebenfalls hauptsächlich auf Provokation der Symptome (Durkan's Kompressionstest) und Evaluierung der erhaltenen Sensibilität im Innervationsgebiet (Semmes-Weinstein Monofilamenttest) basieren.

### **1.2.3 Nervenleitgeschwindigkeit**

Leider haben alle Provokationstests für sich genommen nur unzureichend Aussagekraft, um ein Karpaltunnelsyndrom zuverlässig zu diagnostizieren. Zusätzlich können Komorbiditäten und Krankheitsmanifestationen, die keine typische Ausprägung zeigen, eine Diagnose erschweren.

Um in diesen Fällen weitere diagnostische Gewissheit zu erlangen, wird neben Provokationstests eine Nervenleitgeschwindigkeitsuntersuchung (NLG) und Elektromyographie (EMG) durchgeführt. Bei der NLG werden im Verlauf des Nervs von proximal nach distal Elektroden in definierten Abständen platziert. Dabei stimuliert die proximaler gelegene den Nerv und die distale leitet vom Nerv erzeugte Antworten (Aktionspotentiale) ab. Wie bei vielen Untersuchungen kann auch hier ein Vergleich mit der Gegenseite essenziell und zielführend sein. Die Latenzzeit entspricht der Verzögerung, die von der elektrischen Stimulation bis zur Antwort vergeht. In Kombination mit der

Distanz zwischen den Elektroden lässt sich daraus die Nervenleitgeschwindigkeit, angegeben in Meter pro Sekunde (m/s), berechnen. Daneben erhält man die Amplitude der Reizantwort, womit Aussagen über die Anzahl der involvierten, depolarisierenden Axone gestellt werden können (6).

In der Elektroneurografie sollten die motorische und sensible NLG über 49m/s betragen. Bei einer Reizdistanz von 8cm proximal des Handgelenks sind Werte bei der distal motorischen Latenz über 4.5ms und der sensorischen Latenz bei einer Distanz von 14cm über 3.5ms als pathologisch einzustufen. Für rein sensible Nerven lässt sich durch eine andere Konfiguration der Elektroden zusätzlich das sensible Nervenaktionspotential (SNAP) und für rein motorische sowie gemischt sensible und motorische Nerven lassen sich die motorischen Summenaktionspotentiale (MSAP) bestimmen. Zusätzlich geben F-Wellen, die durch eine retrograde Reizleitung von der stimulierten Stelle zu dem spinalen Vorderhorn und davon ausgehend wieder zurück zu den Elektroden gehen, über mögliche, proximaler gelegene Nervenschädigungen Aufschluss. Studien zur Elektromyographie (EMG) untersuchen Muskeln und indirekt deren Innervationszustand. Ähnlich dem Untersuchungsablauf der NLG werden über eine Elektrode Reize in Muskeln abgegeben. Die dadurch erzeugten Muskelfibrillationen werden mit einer zweiten Elektrode (Nadel) abgeleitet. Abnorme Muskelzuckungen, die auf Störungen in der Innervation hinweisen, können somit identifiziert werden. Mittels absichtlichen, von ProbandInnen selbst herbeigeführten Muskelkontraktionen kontrolliert man das Potential der motorischen Einheiten (PME), also die Funktion und Dichte der neuromuskulären Endplatten- den Verbindungsstellen zwischen Nerv und Muskel. Dabei korreliert die Amplitude dieses Potentials mit der Anzahl der aktivierten Muskelfasern (6).

Demyelinisierende Prozesse im betroffenen Nerv können im Vergleich zu gesunden Reizantworten durch eine verlängerte Latenzzeit und erniedrigte Nervenleitgeschwindigkeit objektiviert werden. Schäden durch Radikulopathie oder eine Wurzelkompression ergeben jedoch nicht zwangsläufig pathologische Werte (9).

Die im weiteren Verlauf der Kompression ebenfalls betroffenen Axone äußern sich elektrophysiologisch in einem reduzierten SNAP sowie MSAP. Fortgeschrittene Nervenkompressionssyndrome zeigen durch unzureichende muskuläre Innervation schlussendlich auch pathologische Werte in der Elektromyographie. Besonders hohe PME-Amplituden in der Elektromyographie zeigen ein axonales Aussprossen, welches ein Zeichen einer Reinnervation darstellt. Nach stattgefundenener chirurgischer Dekompression kann, nach obligatorischer Latenzzeit, in der keine Änderung des Befundes zu erwarten ist,

mittels Elektroneurographie ein Therapieerfolg abgeschätzt werden. Zuvor pathologische Werte können sich bei nicht allzu ausgeprägter Nervenschädigung wieder normalisieren (6).

#### **1.2.4 Bildgebung**

Üblicherweise verwendete Bildgebungsverfahren zur Diagnostizierung eines Karpaltunnelsyndroms sind das Röntgen, die Magnetresonanztomographie und Neurosonografie.

##### **1.2.4.1 Röntgen**

Röntgenstrahlen werden durch ihren Charakter der höheren Absorption in dichteren Gewebetypen vor allem zur Diagnose oder zum Ausschluss einer knöchernen Genese der Beschwerden eingesetzt.

##### **1.2.4.2 Magnetresonanztomographie**

Mittels dieser Methode lassen sich besonders Pathologien in Weichteilen darstellen.

##### **1.2.4.3 Neurosonografie**

Durch laufend verbesserte Geräte und deren besseren Auflösungsvermögen ist es seit einigen Jahren möglich, auch Nerven darzustellen. Zusätzlich können zur Bestimmung des Durchmessers und der Querschnittsfläche durch hochauflösende Schallköpfe mittlerweile einzelne Faszikel dargestellt werden. Darüber hinaus erlaubt die Doppler- Sonografie, das Ausmaß der Durchblutung von Strukturen und somit eine mögliche Entzündung oder Minderdurchblutung zu ermitteln. Eine Besonderheit der Sonografie, welche keine der beiden anderen Untersuchungsmöglichkeiten bietet, ist die Darstellung von Nerven in Bewegung. Anstatt der bloßen Lage ist es dabei möglich, plastische Verformung, Wanderung in einem Kompartiment, kontinuierliche Lageänderungen und mögliche zugrundeliegende Pathologien in Echtzeit darzustellen. Ebenso können anatomische Variationen wie zum Beispiel variable Abgänge des sensiblen Ramus palmaris oder des

motorischen Thenarastes dargestellt und daraus folgend ein individualisierter OP-Zugang geplant werden.

## **1.2.5 Therapie**

### **1.2.5.1 Konservativ**

Von den, durch Studien als wirksam belegten, konservativen Therapieoptionen ist die Schienung der betroffenen Hand die am häufigsten angewandte. Ebenfalls in frühen Stadien wird eine Steroidinjektion in den Karpalkanal als wirksam beschrieben und deshalb durch die American Academy of Orthopaedic Surgeons empfohlen. In Kombination sind diese beiden Methoden besser wirksam als jeweils für sich genommen. Zusätzlich findet eine Ultraschallbehandlung Anerkennung (6).

### **1.2.5.2 Operativ**

Die Therapie der Wahl bei fortgeschrittenen Karpaltunnelsyndromen, Muskelatrophien oder unzureichendem Erfolg mit konservativen Methoden ist die Operation. Dabei ist die am häufigsten durchgeführte Operationsmethode die offene Intervention mit unterschiedlichen Schnittaussmaßen (6). Ergänzend gibt es noch endoskopische Methoden und seit kurzem auch mittels Ultraschall gezielte Operationsverfahren.

Die offene Methode kann je nach Anforderungen unter Allgemeinanästhesie, Plexus Brachialis-Anästhesie und unter Lokalanästhesie erfolgen. Durch einen rund 3cm langen Schnitt über dem Karpaldach, um den palmaren Hautast zu schonen, ulnar der Thenarfalte gelegen, erfolgt die Exploration und Division der palmaren Faszie sowie des Karpaldaches. Nach Identifikation des Nervus medianus und des diesen verlassenden motorischen Thenarastes erfolgt die weitere Spaltung der Unterarmfaszie bis rund 1cm von der Handgelenksbeugelinie in den Unterarm und- falls noch vorhanden- aller übrigen Fasern des Karpaldaches. Den Abschluss dieser Operation bilden der Wundverschluss und die Anlage eines lockeren Verbandes. Eine Ruhigstellung mittels Gipses hat sich als nicht notwendig erwiesen. Nach Ruhigstellung und Hochlagerung für zwei Tage und einer adäquaten Schmerzmedikation soll mit Mobilisierungsübungen begonnen werden. Rund acht Wochen nach dem Eingriff ist bei komplikationslosem postoperativen Verlauf mit einer vollen Einsatzfähigkeit der Hand zu rechnen (6).

### 1.3 Anatomische Grundlagen

Ohne variabel auftretende Knochen zu inkludieren, besteht die Grundlage des menschlichen Armes aus 30 Knochen. Dabei bildet der Humerus das Gerüst des Oberarmes und die Kombination aus Radius und Ulna die strukturgebende Grundlage des Unterarmes. Die meisten dieser 30 Knochen, nämlich 27 an der Zahl, sind in der Hand zu finden. Durch ihre vergleichsweise kleinen Dimensionen und gelenkigen Verbindungen bilden sie die Grundvoraussetzung, einen bemerkenswerten Bewegungsumfang der Hand zu gewährleisten.

Die proximale Handwurzelreihe setzt sich aus den Ossa scaphoideum, lunatum und triquetrum zusammen, wobei letzteres palmar aufliegend das Os pisiforme beherbergt. Die distale Handwurzelreihe wird von radial nach ulnar durch die Ossa trapezium, trapezoideum, capitatum und hamatum gebildet. Bei den beiden radial gelegenen Knochen der Handwurzel, also proximal dem Os scaphoideum und distal davon liegend dem Os trapezium, ist jeweils ein Knochenvorsprung, welcher zusammen mit dem ulnar gelegenen Hamulus ossis hamatii und dem davon proximal lokalisierten Os pisiforme die knöcherne Begrenzung des Karpaltunnels bildet, in dem der Nerv, dem diese Arbeit gewidmet ist, verläuft.

#### 1.3.1 Karpaltunnel

Die genaue topographische Begrenzung des Karpaltunnels erfolgt dorsal durch Handwurzelknochen und Bänder, die diese Knochen verbinden (Lig. carpi radiatum), radial durch die Eminentia carpi radialis, die proximal vom Tuberculum ossis scaphoidei und distal dem Tuberculum ossis trapezoidei gebildet wird. Ulnar liegt die Eminentia carpi ulnaris, welche proximal durch das Os pisiforme und distal durch den Hamulus ossis hamatii aufgeworfen wird. Die palmare Überdachung übernimmt das aus Bindegewebe aufgebaute Karpaldach aufgrund seines Nutzens als Retinakulum flexorum oder als Halteband bezeichnet (10).

Nicht nur durch die Anwendung äußerlichen Drucks, sondern auch durch Relativbewegungen und Verschiebungen der beiden Handwurzelreihen in Extension, Flexion, Radial- sowie Ulnarduktion wird ersichtlich, dass die Morphologie des Karpaltunnels

permanenten Änderungen unterworfen ist. Somit sind auch Strukturen, welche sich durch den Karpaltunnel ziehen, ständigen Lage- und Druckänderungen ausgesetzt.

Eine 1993 publizierte Studie ermittelte mittels Magnetresonanztomografie, dass sich bei Extension des Handgelenks auf Niveau des Os pisiforme der transverse Durchmesser von radial nach ulnar verlängert, die Tiefe, also die Strecke von der palmaren zur dorsalen Begrenzung, jedoch verringert. In Flexion nahm im Vergleich zur Normalposition der transversale Durchmesser ab, die Tiefe blieb jedoch unverändert. Neben den Durchmessern des Karpaltunnels veränderte sich unter Bewegung auch die Querschnittsfläche in untersuchten Tunnelabschnitten (11).

Besonders die Vorwölbung des Os lunatum in Handgelenks-Extension engt den Karpaltunnel zusätzlich ein.

Die Strukturen, die durch den Karpaltunnel treten, sind neben dem Nervus medianus die oberflächlichen und tiefen Beugesehnen der Finger I. bis IV. sowie die Sehne des M. flexor pollicis longus in ihren jeweiligen Sehnenscheiden. Von diesen liegt der Nervus medianus im Karpaltunnel meist am oberflächlichsten, zur Orientierung ulnar der Sehne des M. flexor carpi radialis, welche nicht durch den Karpaltunnel, sondern gesondert in einer eigenen Rinne des Os trapezium zu ihrem Ziel, den palmaren und proximalen Enden der Ossa metacarpalia II. und III., zieht. Direkt unter dem Nerv laufen die oberflächlichen Fingerbeugesehnen meist in einer gemeinsamen Sehnenscheide mit den weiter dorsal liegenden tiefen Fingerbeugesehnen. An der radialen Grenze des Karpaltunnels anliegend, zieht meist in einer gesonderten Sehnenscheide die Sehne des langen Daumenbeugers zur Basis der Phalanx distalis (6),(10).

## **1.4 Bedeutende angrenzende Strukturen**

### **1.4.1 Gefäße**

#### **1.4.1.1 Arteria radialis**

Die Blutversorgung der oberen Extremität und somit auch der Hand wird von der A. axillaris und in weiterer Folge den daraus entspringenden Aa. subclavia und brachialis gewährleistet. In ihrem weiteren Verlauf teilt sich die A. brachialis auf Höhe der Aponeurosis bicipitis in der Ellenbeuge in die A. radialis und A. ulnaris auf. Zwischen M. brachioradialis und M. flexor carpi radialis läuft die A. radialis nach distal, liegt später palmar des Processus styloideus radii, zieht davon nach dorsal und gibt einen superfiziellen Ast ab. Der Hauptast läuft unter den die Tabatiere anatomique begrenzenden Sehnen weiter und durchbohrt die Muskulatur zwischen dem ersten und zweiten Metakarpalknochen, um den Arcus palmaris profundus zu bilden. Der zuvor abgegebene oberflächlichere Ast verbleibt palmar und mündet nach Passage des M. abductor pollicis brevis in den oberflächlichen Hohlhandbogen (6).

#### **1.4.1.2 Arteria ulnaris**

Bald nach der Aufteilung der A. brachialis gibt die A. ulnaris eine A. interossea communis ab, die sich wiederum in einen anterioren und posterioren Anteil trennt, welche jeweils nahe der Membrana interossea nach distal ziehen. Unter ihrem Leitmuskel, dem M. flexor carpi ulnaris, läuft die A. ulnaris nach distal und gelangt nach der Passage der Loge de Guyon radial begrenzt durch den Hamulus ossis hamatii und ulnar durch das Os pisiforme in die Hohlhand, wo sie sich in einen oberflächlichen und einen tiefen Ast aufteilt. Während der oberflächliche Ast hauptsächlich den oberflächlichen Hohlhandbogen speist, zieht der tiefe Anteil zum Arcus palmaris profundus (6).

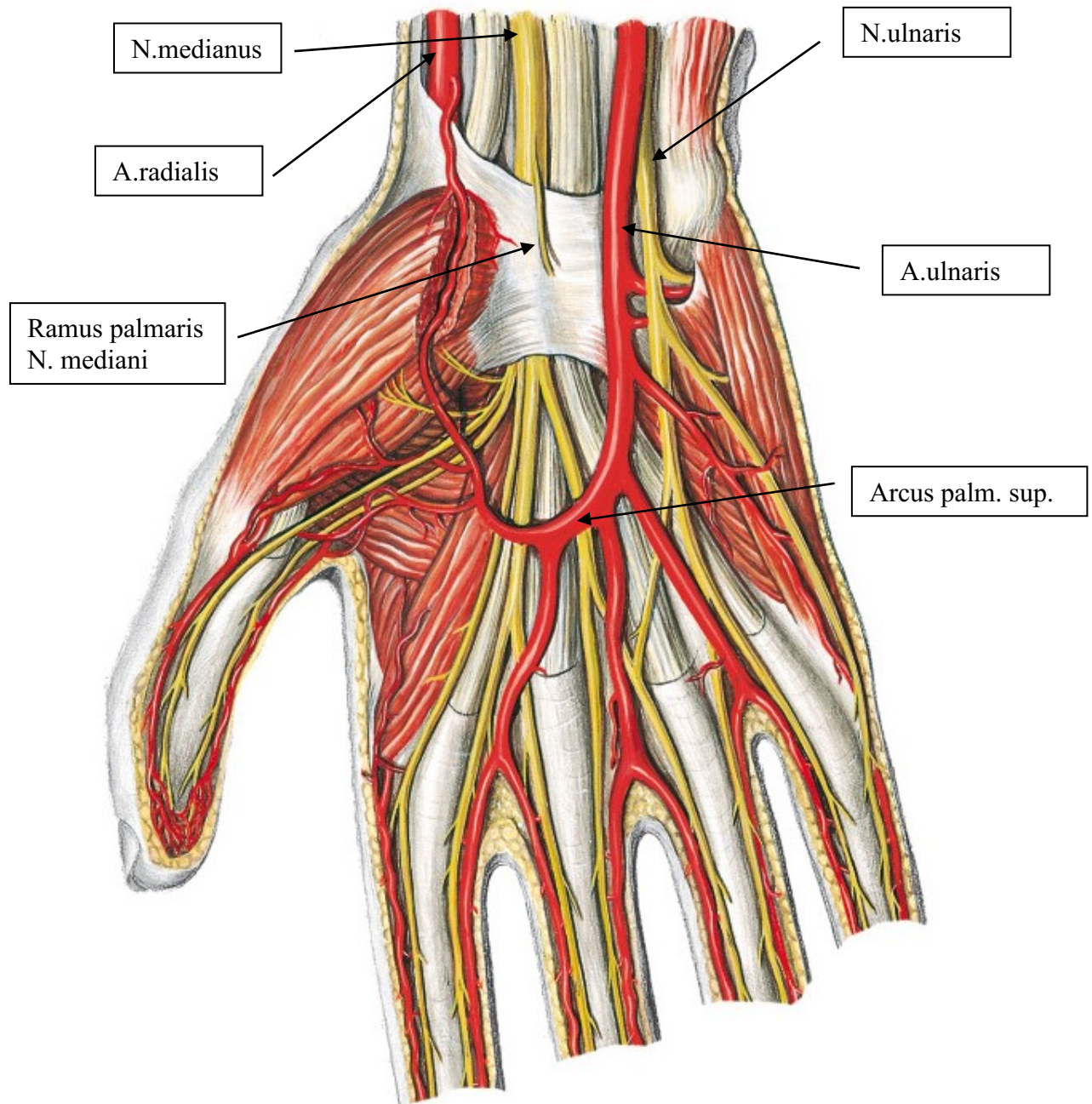
#### **1.4.1.3 Arterien der Hand**

Die Blutversorgung der Hand wird in zwei palmare Anteile, oberflächlich und tief, und eine dorsale Schicht unterteilt. Der oberflächliche Hohlhandbogen oder Arcus palmaris superfizialis gibt Äste sowohl zur Versorgung von intrinsischer Muskulatur und der Haut

als auch Aa. digitales palmares communes ab, die sich in weiterem Verlauf in jeweils zwei Aa. digitales palmares proprii teilen. Tiefer und weiter proximal- auf Höhe der Basen der Ossa metacarpalia- liegt der tiefe Hohlhandbogen oder Arcus palmaris profundus und versorgt hauptsächlich den Daumen und die radiale Seite des Zeigefingers. Nachdem die A. metacarpale I. einen Ast zur radialen Seite des Zeigefingers entlassen hat, übernimmt sie als A. princeps pollicis die Hauptversorgung des Daumens. Die dorsalen Arterien werden von der A. interossea posterior und einen die Membrana interossea durchbohrenden Ast der A. interossea anterior gespeist. Bei zahlreichen Anastomosen mit Ästen des Arcus palmaris profundus kann es auch vorkommen, dass die dominante Blutversorgung der Aa. metacarpales dorsales von den perforierenden Ästen aus dem Arcus palmaris profundus übernommen wird (6).

#### **1.4.1.4 Venen**

Das venöse Blut der Hand wird im Rete venosum dorsale und Arcus venosus palmaris superfizialis gesammelt. Am Unterarm entspringen aus dem Rete venosum dorsale zwei prominente Venenstämme, eine radial liegende V. cephalica, die am Oberarm lateral des M. biceps brachii liegt und später zwischen M. pectoralis und deltoideus die Faszia clavipectoralis durchbricht, um in die V. axillaris zu münden. An der ulnaren Seite des Unterarms entsteht die V. basilica, sie verläuft am Oberarm im Sulcus bicipitalis medialis und endet in dessen Mitte in der V. brachialis. Im Gegensatz zu oberflächlichen Venen begleiten Venen in der Tiefe die Arterien in einer gemeinsamen Gefäßscheide. Bis auf die V. brachialis, V. axillaris und V. subclavia sind diese meist paarig angelegt (10).



Sobotta – Atlas der Anatomie des Menschen,  
23. A. 2010, © Elsevier GmbH, München

**Abbildung 1: Leitungsbahnen Hand** (Paulsen, Waschke, Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen, 23. Auflage 2010 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)

## 1.4.2 Nerven

### 1.4.2.1 Aufbau peripherer Nerven

Das periphere Nervensystem besteht- wie auch das Zentrale Nervensystem- aus Nervenzellen- Neurone bezeichnet und ihrem zugehörigen Gewebe, den Gliazellen. Neben einem Zellkern, der von Perikaryon- auch Soma genannt- umgeben ist, besitzen die meisten Nervenzellen eine Vielzahl von Ausläufern, die anhand ihrer Funktion in Dendriten und ein Axon unterteilt werden. Während Dendriten Informationen von umgebenden Nervenzellen aufnehmen, haben Axone die Funktion, diese Informationen je nach Einsatzgebiet teilweise über enorme Distanzen an die Umgebung weiterzuleiten. Neurone stellen somit die Funktionseinheit des Nervengewebes und Gliazellen sorgen für ein Milieu, welches für die Versorgung und Funktion der Nervenzellen überlebensnotwendig ist. Im peripheren Nervensystem sind dabei mehrheitlich Schwann-Zellen und Mantelzellen, welche in sensiblen Ganglien die Umhüllung derselbigen übernehmen, anzutreffen. Schwann- Zellen bilden sogenannte Markscheiden, mehrere Schichten ihrer Zellmembran- entweder markhaltig oder marklos- um Axone, isolieren sie und legen dadurch die Grundlage für die Erregungsweiterleitung. An kleinen offenen Stellen zwischen den Schwann- Zellen, die einer Kette gleichend nacheinander an Axonen aufgefädelt sind, kommt es zur saltatorischen Erregungsleitung von Aktionspotentialen, einer sprunghaften Weiterleitung von einer Lücke- auch Ranvier- Schnürring bezeichnet- zur nächsten. Je dicker die gebildete Markscheide um ein Axon ist, desto effizienter erfolgt die Weiterleitung eines Aktionspotentials. Das distale Ende eines Axons teilt sich auf und gibt über kleine Endköpfchen die Information an Zielstrukturen weiter (12).

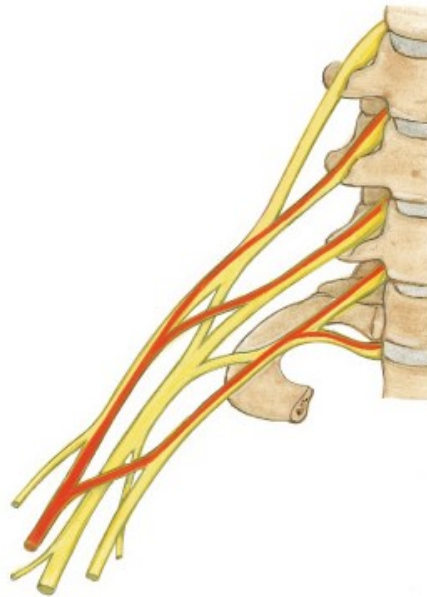
Einzelne Axone, markhaltig und marklos, verbunden durch Endoneurium, werden topographisch zu Nervenfaszikeln zusammengefasst. Neben der Funktion als Bindegewebe übernehmen eingelagerte Gefäße im Endoneurium die Versorgung einzelner Nervenfasern. Das Perineurium bildet dabei die Hüllschicht, durch die einzelne Faszikel voneinander abgegrenzt werden können. Das Epineurium verbindet die durch Perineurium verbundenen Faszikel untereinander und gibt somit dem Nerv seine abschließende Form. Größere Gefäße, auch Vasa nervorum bezeichnet, sind im Epineurium eingelagert.

### **1.4.2.2 Versorgung des Nervs**

Im Fall des Nervus medianus erhält dieser Versorgungsäste von der A. radialis und A. ulnaris. Eine variabel vorkommende Arteria mediana kann diese Aufgabe ebenfalls übernehmen. Absteigende Äste, die aufgrund der hohen Bewegungsbeanspruchung eine spiralig- gewundene Form einnehmen, begleiten den Nerv durch den Karpaltunnel und ziehen als Vasa nervorum von oberflächlichen Schichten bis in den Epineuralen Raum und bilden dort im Peri- sowie Epineurium ein plexusartiges Geflecht aus. Im Bereich des Endoneuriums verzweigen sich diese schließlich in ein feines Kapillarnetzwerk. Der venöse Abstrom führt unter dem Retinakulum nach proximal und distal und begleitet außerhalb dessen Grenzen die versorgenden Arterien (13).

### **1.4.3 Plexus brachialis**

Nach dem Austritt des Spinalnerv aus dem Rückenmark teilt sich dieser in je einen Ramus ventralis und dorsalis. Die Rami ventrales der Rückenmarkssegmente von C5 bis T1 gehen untereinander neue Verbindungen, Trunci genannt, ein. Die Anteile von C5 und C6 bilden dabei den Truncus superior, C7 den Truncus medius und die Kombination aus C8 und T1 den Truncus inferior. Diese Trunci teilen sich abermals in einen ventralen und dorsalen Ast, die sich zu drei Faszikeln zusammenschließen und nach ihrer jeweiligen topographischen Lage zur A. axillaris benannt werden. Der Fasciculus medialis setzt sich aus dem ventralen Ast des Truncus inferior, der Fasciculus lateralis aus den beiden ventralen Ästen des Truncus superior und medius und der Fasciculus posterior aus allen dorsalen Ästen der Trunci zusammen. Neben vielen weiteren Nerven, die diesem Geflecht entspringen, bilden sich drei für die Innervation der Hand zuständige Nerven. Es sind dies der Nervus radialis aus dem Fasciculus posterior, der Nervus ulnaris aus dem medialen Fasciculus und der Nervus medianus sowohl aus dem Fasciculus medialis als auch lateralis (10).



Sobotta – Atlas der Anatomie  
des Menschen, 23. A. 2010,  
© Elsevier GmbH, München

**Abbildung 2: Plexus brachialis/ N. medianus in Rot** (Paulsen, Waschke, Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen, 23. Auflage 2010 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)

### 1.4.3.1 Nervus radialis

Nachdem der Nerv den Fasciculus posterior in der Achselhöhle verlassen hat, zieht er zusammen mit der A. profunda brachii durch den Canalis nervi radialis auf die laterale Seite des Oberarmes und gelangt schließlich zwischen M. brachialis und M. brachioradialis in die Ellenbeuge, wo er sich in zwei Teile aufspaltet. Um auf die Streckseite zu gelangen, durchbricht der tiefe gelegene der beiden Äste den M. supinator und läuft nach Abgabe zahlreicher Muskeläste an die Extensoren des Unterarmes in einen sensorischen Ast zur Innervation des Karpalgelenks aus. Der sensible superfizielle Anteil des Nervus radialis begleitet nach seinem Abgang in der Ellenbeuge die A. radialis und den M. brachioradialis beugeseitig, bevor er im distalen Drittel des Unterarms letzteren unterkreuzt, um auf die Streckseite zu gelangen. Dort zerfällt er nach der Abgabe eines variabel vorkommenden Ramus Communicans cum Nervi ulnaris in fünf Nervi digitales dorsales.

Zusammenfassend innerviert der Nervus radialis motorisch am Oberarm den M. trizeps brachii und M. anconeus, am Unterarm sämtliche Extensoren, den M. brachioradialis, M. supinator und M. abduktor pollicis longus. Sensibel innerviert besagter Nerv die Streckseite des Ober- und Unterarmes, die radiale Hälfte des Handrückens und zusätzlich dorsal die zweieinhalb radialen Finger (10,14).

### 1.4.3.2 Nervus ulnaris

Der Nerv verlässt den Faszikulus medialis, zieht ventral entlang des Septum intermusculare brachii medialis, durchbricht es nach dorsal, läuft durch den Sulcus nervi ulnaris und gelangt zwischen den beiden Köpfen des M. flexor carpi ulnaris wieder auf die Beugeseite. Diesem, seinem Leitmuskel, folgt er bis in die Hohlhand, die er gemeinsam mit der A. ulnaris nach Passage der Loge de Guyon erreicht. Rund eine Handbreite oberhalb des Handgelenks gibt er nach dorsal einen Ast zur sensiblen Innervation der ulnaren zweieinhalb Finger ab. In der Hohlhand teilt sich der Nervus ulnaris in einen sensorischen Ramus superfizialis und einen Ramus profundus auf. Erstgenannter gliedert sich in einen N. digitalis palmaris communis zur Innervation der einander zugewandten palmaren Seiten des IV. und V. Fingers sowie einen N. digitalis palmaris proprius zur ulnaren Seite des fünften Fingers. Der tiefe Anteil dringt in die Kleinfingerballenmuskulatur und teilt sich in mehrere motorische Muskeläste auf.

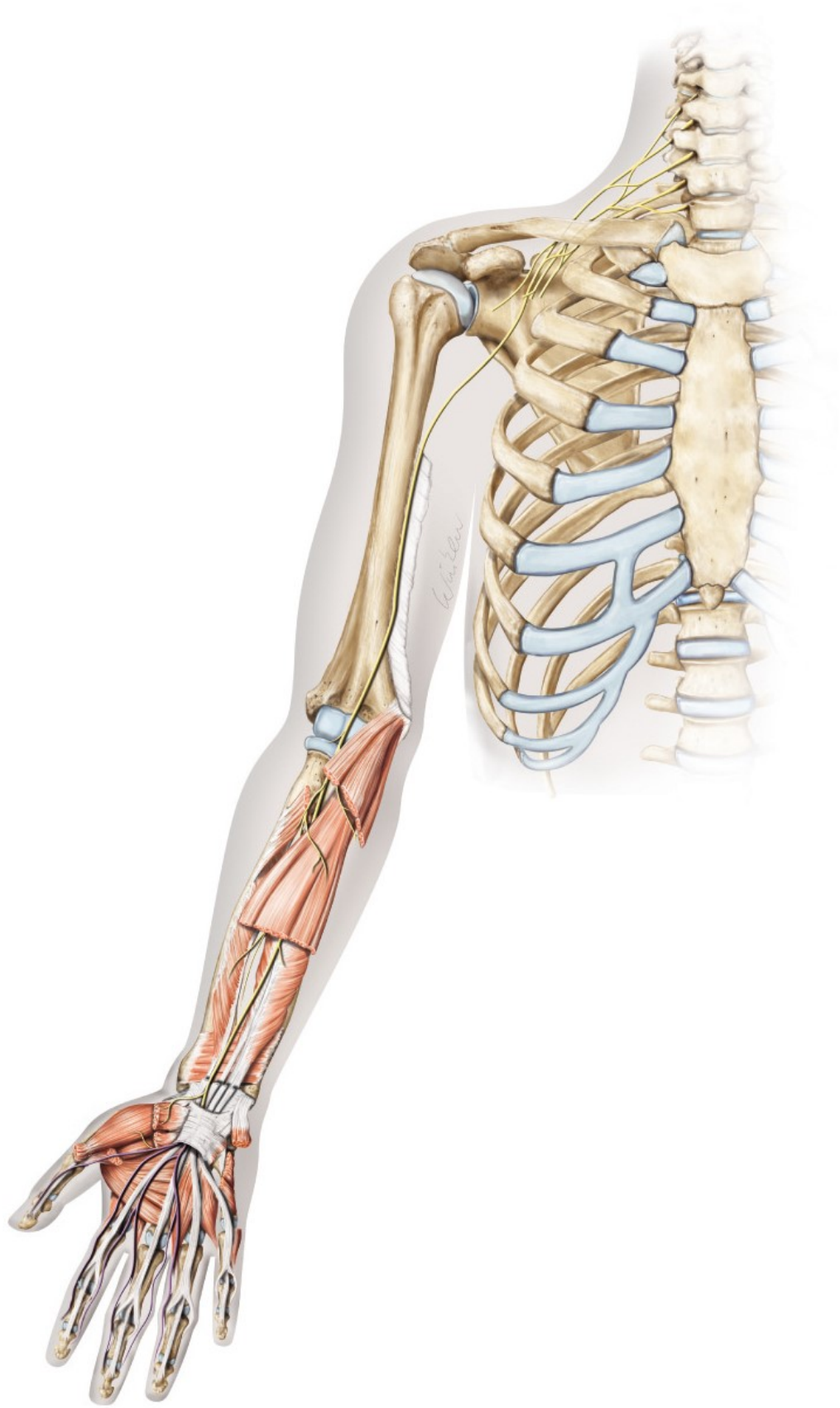
Motorisch innerviert der Nerv am Unterarm den M. flexor carpi ulnaris und das Caput ulnare des M. flexor digitorum profundus. Im Bereich der Hand versorgt er alle Mm. interossei, die beiden ulnaren Mm. lumbricales, alle Hypothenarmuskeln, den M. adductor pollicis und das Caput profundum des M. flexor pollicis brevis. Sensibel ist er für die Haut an der ulnaren Seite der Hand, dorsal für zweieinhalb ulnare Finger und palmar für die eineinhalb ulnaren Finger zuständig (10,14).

### 1.4.3.3 Nervus medianus

Der N. medianus entspringt zu jeweils einem Teil aus dem Faszikulus medialis und lateralis. Vor ihrer Verbindung umfassen die beiden Anteile gabelartig die A. axillaris. Im weiteren Verlauf folgt er im Septum intermusculare brachii mediale der A. brachialis, umschlingt sie bogenförmig von lateral nach medial über die anteriore Seite und kommt somit medial der Arterie in der Ellenbeuge zu liegen. Nach der Unterkreuzung der Aponeurose des M. biceps brachii und der Passage durch den Pronatorenschlitz zieht er weiter nach distal, in der Mitte zwischen dem M. flexor digitorum superfizialis und profundus liegend, Richtung Karpaltunnel. Kurz vor dem Tunnel zieht er Richtung Oberfläche und liegt daher oberflächlich zu den Beugesehnen. Nachdem er den Tunnel verlassen hat, flacht er ab und zerfällt in seine Endäste.

In der Ellenbeuge gibt er Anteile für die Mm. pronator teres, flexor carpi radialis, flexor digitorum superficialis und- falls vorhanden- dem M. palmaris longus ab. Als Nervus interosseus antebrachii anterior, der knapp distal des M. pronator peres entspringt, versorgt er den M. flexor pollicis longus, M. pronator quadratus und den radialen Teil des M. flexor digitorum profundus. Nahe der Membrana interossea ziehen feine, sensible Endäste zum Periost der Ulna, des Radius und zu den Handwurzelknochen. Über den Ramus palmaris versorgt der Nervus medianaus das Areal über dem Handgelenk sensibel. Neben der Abgabe eines variablen Kommunikationsastes zum N. ulnaris teilt er sich nach Passage des Karpaltunnels in einen motorischen Ast zur Innervierung der Thenarmuskulatur sowie in drei Nn. digitales palmares communes auf. Bis auf den M. adductor pollicis und das Caput profundum des M. flexor pollicis brevis werden alle kurzen Thenarmuskeln vom N. medianus versorgt. Die Nn. digitales palmares communes geben neben den Nn. digitales palmares proprii zu den radialen dreieinhalb Fingern auch kurze Äste zur Versorgung der Mm. lumbricales I. und II. ab.

Sensibel versorgt er zusätzlich zur palmaren Haut im Bereich der Handwurzelknochen die Beugeflächen der dreieinhalb radialen Finger und den radialen Teil der Palma manus (10,14).



Sobotta – Atlas der Anatomie des Menschen, 23. A. 2010, © Elsevier GmbH, München

**Abbildung 3: Verlauf N. medianus** (Paulsen, Waschke, Sobotta Atlas der Anatomie des Menschen, 23. Auflage 2010 © Elsevier GmbH, Urban & Fischer, München)

## 1.5 Nervenschädigung

Seit jeher wurden Nervenschädigungen in klinisch relevante Stadien eingeteilt, die alle für sich genommen eine spezifische therapeutische Konsequenz nach sich ziehen. Die am weitesten verbreitete Einteilung von Nervenschädigungen einer traumatischen Genese stammt dabei von Sunderland. Er überarbeitete dafür eine bereits bestehende Klassifikation von Seddon, indem er die Gruppe der Axonotmesis in drei Untergruppen genauer spezifizierte.

Seine erste Gruppe entspricht der Neurapraxie von Seddon. Hierbei handelt es sich um eine Schädigung, bei der die Funktion des Nervs partiell oder vollkommen ausgefallen ist. Als Ursache liegt eine Schädigung der Myelinscheide zugrunde. Die Erholung des Nervs sollte innerhalb eines Monats erfolgen.

Bei Schäden der zweiten Gruppe handelt es sich um eine Unterbrechung des Axons. Axone können anhand der intakten Endoneuralschläuche nach distal aussprossen. Die Dauer bis zur Heilung ist je nach Höhe der Läsion variabel und sollte abgewartet werden, ohne eine chirurgische Intervention durchzuführen.

In der dritten Gruppe liegt zusätzlich zur Unterbrechung der Axone auch ein Trauma der Endoneuralschläuche vor. Hierbei kann nicht garantiert werden, dass Axone, ohne zu aberrieren, im Laufe der Regeneration zu ihren Zielstrukturen finden. Eine vollkommene Heilung ohne bleibende Defekte ist in diesem Stadium unwahrscheinlich. Faszikelstrukturen und das Perineurium sind jedoch nicht betroffen.

Bei viertgradigen Verletzungen ist zusätzlich das Perineurium und somit auch die Faszikelstruktur in seiner Kontinuität unterbrochen. Durch das intakte Epineurium ist der Nerv jedoch in seiner äußeren Struktur erhalten. Auch hier ist eine spontane Regeneration sehr unwahrscheinlich, weshalb eine chirurgische Intervention im Sinne eines Interponates oder einer Naht der Schadstelle indiziert ist.

Grad fünf entspricht der beschriebenen Neurotmesis von Seddon, bei der der Nerv zur Gänze unterbrochen ist. Eine chirurgische Therapie ist auch hier unabdingbar (16).

Neben dieser geläufigen Einteilung hat Millesi 1992 eine ergänzende Klassifizierung etabliert, die sich auf den Fibrosierungszustand eines in Heilung befindlichen Nervs und somit auch auf seine Heilungschancen bezieht.

Grad A bezieht sich auf das epifasziale Epineurium. Dieses kann bei Verdickung zu einer Einschnürung der Faszikel führen. Um eine weitere Heilung des Nervs zu gewährleisten,

kann dies durch eine Neurolyse und Epineurektomie, einer Entfernung des fibrosierten Epineuriums, behandelt werden.

Grad B beschreibt die Fibrosierung des interfazikulären Bindegewebes. Auch diese Schädigung kann chirurgisch mittels einer interfazikulären Neurolyse angegangen werden.

Grad C nach Millesi geht noch tiefer und betrifft das intrafazikuläre Bindegewebe. Diese Bindegewebsproliferierung- durch Zerstörung der Endoneuralschläuche verursacht- führt zu einer Behinderung der Heilung und kann bisher nur mittels einer Resektion und anschließender Transplantation eines Interponates behandelt werden (15).

### **1.5.1 Pathophysiologie der Nervenschädigung**

Bis auf erstgradige Verletzungen, die einer temporären Blockierung der Erregungsleitung entsprechen, kommt es vor der Heilungsphase- je nach Ausmaß der Schädigung- zu degenerativen sowie Umbauprozessen in den Nerven- und Begleitzellen. Dieser Untergang von Zellen ist unter dem Eigennamen „Wallersche Degeneration“ bekannt. Dabei kommt es, ausgehend von der Verletzungsstelle, zu einem Kalzium-medierten Abbau der Axone und Myelinscheiden des distalen Abschnitts. Die innervierten Strukturen verlieren dabei ihre Funktion und nachgeschaltete Muskeln beginnen zu atrophieren. Neben vielen komplexen Mechanismen und Umbauprozessen spielen zudem Schwann´schen Zellen eine bedeutende Rolle. Nach dem Verletzungseintritt werden sie wesentlich aktiver, vermehren ihr Kernvolumen sowie Zytoplasma und teilen sich lebhaft. Zu Beginn sind sie Makrophagen und anderen Zellen des Immunsystems dabei behilflich, degenerierte Axon- und Myelinstrukturen abzubauen. In dessen weiterer Folge fibrosieren und obliterieren Endoneuralscheiden, falls diese kein aussprossendes Axon aufnehmen. Im Verlauf dieser verschlossenen Endoneuralscheiden verbleiben Ketten von zusammenhängenden Schwann´schen Zellen. Als Bünngnersche Bänder bekannt, leiten und versorgen sie neu aussprossende Axone zu ihren Zielorten (16).

Verletzungen ab dem dritten Grad bewirken, dass neben den pathophysiologischen Vorgängen der Nervenfasern auch lokale Entzündungsreaktionen auftreten. Fibroblasten proliferieren und führen zu einer Narbenbildung innerhalb des Nervs, was makroskopisch als Auftreibung sichtbar wird. Bei viert- und fünftgradigen Verletzungen kommt es neben der Unterbrechung der Endoneuralscheiden auch zu einem Kontinuitätsverlust der

Faszikel, des gesamten Nervs oder eines Teils davon. Die Nervenenden bilden sich dabei zu einem ungeordnet erscheinenden Tumor aus Fibroblasten, Schwann'schen Zellen, Kapillaren, Makrophagen und kollagenen Fasern um. Diese Ansammlung an Zellen und Bindegewebe stellt für multipel aussprossende Axone ein nicht unerhebliches Hindernis dar, welches in eine aberrierende Aussprossung in umgebendes Gewebe, einem Abweichen in der Route oder in der Bildung von unstrukturierten Axonknäulen enden kann. Je nach Ausmaß der Schädigung finden mehr oder weniger Axone ihren Weg in Richtung des distal gelegenen degenerierten Nervenstumpfes (16).

Nicht immer degenerieren nur distal der Verletzungsstelle Schwann'sche Zellen, Axone und Myelinscheiden, auch proximal kann es zur Schädigung und auch zu einem Untergang der gesamten Nervenzelle kommen. Dabei ist ein Absterben der Nervenzelle umso wahrscheinlicher, je proximaler die Schädigung auftritt. Hirnnerven und Nerven mit sensorischen Qualitäten sind dabei empfindlicher als andere periphere Nerven (16).

Neben Verletzungen, die durch direkte Durchtrennung oder Zugkräfte Kontinuitätsunterbrechungen verursachen und deren pathophysiologisches Schädigungs- und Heilungsmuster somit besser verständlich sind, gibt es Engpasssyndrome, die noch weitestgehend unbekanntem Pathomechanismen unterliegen. Der Klassifizierung von Sunderland folgend, entsprechen schwerwiegende Karpaltunnelsyndrome einer Graduierung von II bis III. Engpasssyndrome können trotz erhaltener Kontinuität des Nervs bis zu einem totalen Ausfall der Motorik und Sensibilität im innervierten Gebiet führen. Man geht hierbei davon aus, dass die beiden Faktoren mechanische Kompression und in deren Folge die Ischämie verantwortlich für diese Form der Nervenschädigung sind. Für den Schweregrad ist dabei die Dauer und das Ausmaß der Druckbelastung entscheidend. In Experimenten hat sich herausgestellt, dass dickere myelinisierte Nervenfasern gegenüber Ischämie anfälliger sind als dünnere unmyelinisierte (16).

Neben der Wallerschen Degeneration, die auch bei Kompressionssyndromen im Spätstadium gefunden wird, zitieren Mackinnon in ihrer Arbeit, dass Degenerations- und Regenerationsprozesse hauptsächlich bei unmyelinisierten Nervenfasern und eine segmentale Demyelinisierung bei myelinisierten Nervenfasern beobachtet werden kann. Eine Studie, die bei Ratten die Effekte von chronischer Kompression auf Nerven untersuchte, konnte in der Histologie erkennen, dass zu Beginn die Blut- Nerven-Schranke aufgehoben wird, anschließend ein subperineurales Ödem in Kombination mit einer Fibrose entsteht, welches zur segmentalen Demyelinisierung und in weiterer Folge zur Wallerschen Degeneration führt (13).

Unter Ischämie und Druckbelastung kommt es nicht unmittelbar im betroffenen Gebiet, sondern an den Rändern zu degenerativen Umbauvorgängen, die sich in einer sichtbaren Schwellung äußern. Dies erklärt auch eine proximale, vor Eintritt in den Karpaltunnel, vorkommende Auftreibung, mit einer sich distal anschließenden „sanduhrförmigen“ Einschnürung des Nervus Medianus bei einem Karpaltunnelsyndrom (16).

In Bezug auf rezidivierende Symptome nach einer Karpaldachspaltung ist besonders die „double crush“-Theorie zu erwähnen. 1993 von Upton und McComas erstmals vorgeschlagen, beschreibt sie die Hypothese, dass die Kompression an einer Stelle eines peripheren Nervs die Anfälligkeit des selbigen erhöht, um auch an anderen Stellen eine Kompression zu erleiden (17). Heute geht man davon aus, dass dieses Phänomen durch eine Unterbrechung des ante- und retrograden axoplasmatischen Flusses verursacht wird (18).

## **1.6 Anatomische Variationen**

### **1.6.1 Anatomische Variationen des Nervus medianus im Bereich des Karpaltunnels**

Derartige Abweichungen haben vor allem für die Auswahl des chirurgischen Zuganges und der weiteren Präparation des Nervus Medianus praktische Bedeutung.

1977 wurde von Lanz eine Klassifikation vorgeschlagen, die sich auf den Nerv im Karpalkanal und im Besonderen auf den Verlauf und dessen Äste fokussiert. Hierbei unterscheidet er Variationen im Verlauf des motorischen, einen bis auf das Caput transversum des M adductor pollicis brevis alle kurzen Thenarmuskeln innervierenden, Muskelastes (Gruppe 1), zusätzliche Äste, die distal des Karpaltunnels abgehen (Gruppe 2), eine höher als üblich gelegene Aufteilung des Nervus medianus (Gruppe 3) und weitere Äste, die proximal des Eingangs zum Karpaltunnel den Nerv verlassen (Gruppe 4)(19).

- In der ersten Gruppe, welche der Klassifikation von Poisel entspricht, wird die Häufigkeit des extraligamentären Abgangs mit 46%, die des subligamentären Abgangs mit 31% und die des transligamentären Abgangs des motorischen Thenarastes, bei welchem der Nervenast durch das Retinakulum zieht, mit 23% angegeben (20). (siehe Abbildung 4)

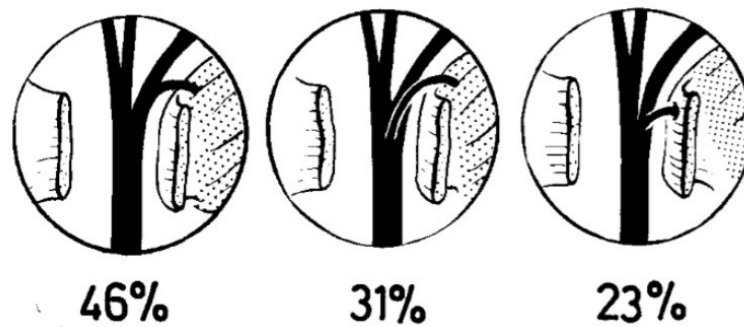


Abbildung 4: Ramus Thenaris (16)

- Die zweite Gruppe umfasst neben einem seltenen zweiten motorischen Ast häufiger vorkommende sensorische Hautäste, deren Abgang volar und ulnar des Hauptnervs beschrieben wird (19).
- Eine höhere Aufteilung des Nervs durch eine persistierende Arteria mediana wird in der dritten Gruppe zusammengefasst. Jedoch wurde auch die Möglichkeit einer höheren Aufteilung des Nervs ohne das Vorhandensein des entsprechenden Gefäßes beschrieben (19).
- Die vierte Gruppe umfasst seltene Variationen wie zwei motorische Thenaräste, von denen einer distal und der andere proximal des Ligaments in die Muskulatur zieht oder andere Abweichungen, bei denen ein zusätzlicher motorischer Thenarast proximal des Bandes entspringt und nach distal zieht, um sich dort mit den restlichen motorischen Faszikeln zu verbinden (19).

### 1.6.2 Ramus palmaris nervi mediani

Ein weiterer Nervenast, der hinsichtlich seiner Topografie durch den Operationszugang gefährdet werden kann, ist der Ramus palmaris des Nervus medianus. Bei Verletzung vermag dieser Symptome zu verursachen, die jenen eines Karpaltunnelsyndroms ähneln können. Sein Innervationsgebiet umfasst das palmare Areal über der Thenarmuskulatur und rund zwei Drittel der Hohlhand.

Eine 1990 publizierte anatomische Studie an unfixierten Leichen hat die große Variabilität des Abganges und somit der Länge dieses Nervenastes gut dargestellt. In allen Unterarmen ging der Nerv radialseitig, im Mittel 8.4cm proximal der distalen Handgelenksbeugefalte ab, verläuft mit den Sehnen des M. palmaris longus und M. flexor carpi radialis nach distal und durchbricht die Faszia antebrachii, um schließlich zu seinem Innervationsgebiet zu gelangen (21).

### **1.6.3 Kommunikationsäste zwischen Nervus medianus und ulnaris**

Neben motorischen und sensorischen Ästen der jeweiligen Nerven gibt es mehrere Studien, die in naher Lokalisation zum Karpalkanal Verbindungsäste zwischen dem Nervus ulnaris und Medianus beschreiben. Einige gehen sogar so weit, dass sie eine konstante Verbindung zwischen diesen Nerven postulieren.

Eine 1999 veröffentlichte Arbeit von Bas konnte bei 20 von 30 Händen knapp distal des Karpaldaches direkte Nervenverbindungen unterschiedlicher Verlaufsrichtung finden (22).

Neben der chirurgischen Relevanz verdeutlichen Ergebnisse aus diversen Studien sehr variabel vorkommende Nervengeflechte in der menschlichen Hohlhand und regen den Leser dazu an, die eigenen beziehungsweise etablierten und vereinfachten Vorstellungen von definierten Innervationsgebieten im menschlichen Körper zu überdenken.

### **1.6.4 Gefäßvariationen**

#### **1.6.4.1 Persistierende Arteria mediana**

Die Arteria mediana entspricht einer Variante, bei der es im Laufe der Embryonalentwicklung zu keiner Rückbildung dieses Gefäßes gekommen ist. Indem sie die Hauptblutversorgung übernimmt, stellt sie vor der Ausbildung der Arteria radialis und Arteria ulnaris die Blutversorgung der embryonalen Hand sicher. Sie bildet sich unter „normalen“ Umständen zurück und verbleibt schließlich als Arteria comitans nervi mediani.

Um diese Normvariante von einer Arteria comitans nervi mediani klar zu unterscheiden, hat eine südafrikanische Studie drei Kriterien aufgestellt. Eine bei Sektion festgestellte Blutversorgung des Nervs und zusätzlicher Strukturen der Hand, einen minimalen Durchmesser von 1mm und einen größeren Durchmesser bei ihrem Ursprung von mehr als 2mm. Mit diesen Kriterien konnten sie bei 27.4% der 62 untersuchten Arme diese Normvariante feststellen (23).

Zusätzlich konnte Srivastava bei 134 oberen Extremitäten beobachten, dass in zwei Fällen eine persistierende Arterie mediana den Nervus medianus distal des M. pronator teres durchbohrt, wodurch sich das Bild einer Medianus-Schleife zeigte (24).

Pierre-Jerome konnte mit Hilfe der Magnetresonanztomografie auf Höhe des Karpaltunnels ebenfalls einen aufgeteilten Nervus medianus in Kombination mit einer persistierenden Arteria mediana beobachten (25).

Hinsichtlich der Bedeutung dieser Normvariante in Bezug auf mögliche Pathologien, die sich in Form eines Karpaltunnelsyndroms manifestieren können, hat Eid 2011 in der Einleitung seiner Arbeit einige Aspekte zusammengefasst. Eine persistierende Arteria mediana kann demnach sowohl primär als auch sekundär etwa durch Kalzifizierung, Thrombosierung, Sklerosierung oder nach einem Trauma für ein Karpaltunnelsyndrom verantwortlich sein (26).

#### **1.6.4.2 Seltene Gefäßvarianten**

Neben der Arteria mediana kommen noch zahlreiche andere Gefäß-Normvarianten im Bereich des Karpaltunnels vor, die jedoch seltener beschrieben worden sind und deren pathologische Relevanz somit fraglich ist.

Ein Fallbericht von Kokkalis beschreibt beispielsweise als Ursache eines Karpaltunnelsyndroms eine Aberration, bei welcher der superfizielle Ast der Arteria radialis nach medial zieht, anschließend mit dem Nervus medianus durch den Karpaltunnel tritt, um im Arcus palmaris superfizialis zu enden (27).

#### **1.6.5 Muskel- und Sehnenvariationen**

Neben den Nerven und Gefäßen, die zweifellos die wichtigsten anatomischen Variationen im Bereich des Karpaltunnels bilden können, gibt es in der Literatur zahlreiche vorwiegend in Fallberichten vorgestellte Besonderheiten, die Muskeln und deren Sehnen betreffen und mitunter auch als Ursache für ein Karpaltunnelsyndrom diskutiert werden. Als häufigste Variationen werden hierbei zusätzliche Muskelbäuche und Einwölbungen von Muskelgewebe in den Karpalkanal beschrieben, welche durch Druckerhöhung im ohnehin schon engen Karpalkanal zu einer Schädigung des Nervus medianus führen können.

1971 wurde ein Fallbericht von Smith veröffentlicht, in dem ein akzessorischer Muskelbauch des M. flexor digitorum superfizialis für ein Karpaltunnelsyndrom verantwortlich ist (28).

Cartwright untersuchte mittels hochauflösenden Ultraschall bei 1026 durch manuelle Arbeit belastete Händen die Hypothese, ob zwischen einem Karpaltunnelsyndrom und einer vermehrten Intrusion der Flexor digitorum- und Lumbricales Muskeln in den Karpalkanal ein Zusammenhang besteht. Die Messungen erfolgten sowohl in extendierter und flektierter Handgelenksposition, wobei bei Flexion eine Intrusion der Lumbricales und in Extension des Handgelenks und der Finger eine Intrusion der Flexor digitorum Muskeln untersucht wurde. Als Ergebnis konnte eine Assoziation zwischen der Intrusion von Lumbricales Muskeln in den Karpalkanal und einem Karpaltunnelsyndrom festgestellt werden. In Bezug auf Flexor digitorum Muskeln zeigte sich im Gegensatz zu anderen Studien, die eine Assoziation beschreiben, kein Zusammenhang (29).

Eine weitere beispielhafte Variation ist ein zusätzlicher Muskelbauch- von Jegal beschrieben, der durch seine Lage- palmar des Karpaldaches- Bedeutung in Hinsicht des chirurgischen Zuganges hat. In dieser Studie konnten bei 13% der PatientInnen Muskelvariationen nachgewiesen werden. Der motorische Thenarast oder zusätzliche motorische Nervenäste, die nach dem Karpalkanal nach proximal verlaufen, sind während der Operation somit noch stärker gefährdet (30).

### **1.6.6 Läsionen des Nervus medianus**

Typische motorische Ausfälle im Falle einer Schädigung des N. medianus auf Höhe des Karpaltunnels betreffen neben sensiblen Missempfindungen die innervierte Thenarmuskulatur, welche bis zu einer Muskelatrophie mit aufgehobener Greiffunktion fortschreiten kann.

Kommt es zu einer weiter proximal liegenden Läsion des Nervs, bevor dieser Äste an die Muskulatur oder an seine Hautbezirke abgeben kann, so führt dies zu einer kompletten Medianuslähmung. Dies äußert sich durch den Ausfall der Pronatoren in einer Pronationsschwäche. Die Testung des Pronatorenreflexes fällt bei vorhandener Lähmung negativ aus. Die Flexion im Handgelenk ist durch die intakte Innervation des M. flexor carpi ulnaris noch eingeschränkt möglich. Als diagnostisches Zeichen wird die Hand beim Versuch der Handgelenks-Flexion mit bestehender Medianuslähmung zusätzlich nach ulnar abweichen. Ein weiteres typisches Zeichen ist die sogenannte Schwurhand. Diese ist durch die intakte motorische Innervierung des ulnaren Anteils des M. flexor digitorum profundus und der somit möglichen Beugung des IV. und V. Fingers bei Faustschluss zu beobachten.

Im Falle einer isolierten Schädigung des N. interosseus antebrachii anterior kommt es zu einer rein motorischen Störung, die sich durch die Unfähigkeit äußert, die Endglieder des Daumens sowie des II. und III. Fingers zu beugen (17).

## 1.7 Differentialdiagnosen zum Karpaltunnelsyndrom

Neben Traumen sind reversible Differentialdiagnosen, die durch temporären Druck verursacht werden, sowie Spinalwurzelschädigungen an bestimmten Prädilektionsstellen zu nennen.

### 1.7.1 Pathologien im Bereich der Halswirbelsäule

Nicht-entzündliche Erkrankungen, die zu einer Deformierung und je nach Schweregrad zu einer konsekutiven Einengung des Rückenmarks oder dessen abgehender Äste führen, werden unter dem Begriff Spondylose zusammengefasst. Bei der Diagnosestellung und Untersuchung der PatientInnen muss- besonders bei zusätzlichem Vorliegen von Beschwerden im Hals und Nacken- an eine weiter proximal angesiedelte Schädigungsstelle gedacht werden.

Des Weiteren ist eine Koexistenz von zwei Läsionen im Sinne der „double crush“-Hypothese möglich. In einer Studie zur Untersuchung dieses Phänomens wurden Pathologien der Halswirbelsäule, die mit der Symptomatik eines Karpaltunnelsyndroms assoziiert sind, hauptsächlich in den Segmenten C5-6 und C6-7 gefunden (31).

Chow verglich die Symptomatik von Erkrankungen der Halswirbelsäule mit Symptomen von nachgewiesenen Karpaltunnelsyndromen und konnte besonders bei nächtlichen Parästhesien, einer Symptomverstärkung bei Provokation, Schmerzen in der Hand und beim Vorliegen von Nackenschmerzen deutliche Unterschiede in beiden Gruppen feststellen (32).

	Karpaltunnelsyndrom	Spondylose
	Vorliegend in Prozent (%)	Vorliegend in Prozent (%)
Nächtliche Parästhesien	84	10
Provokation der Hand	82	7
Schmerz in der Hand	64	10
Schmerz im Nacken	14	76

Tabelle 1: Unterschiede Karpaltunnelsyndrom- Spondylose

### 1.7.2 Thoracic Outlet Syndrom

Bereits auf Höhe des Plexus Brachialis gibt es die Möglichkeit einiger Pathologien, die Nervenkompressionen und somit auch Symptome von solchen verursachen können. Diese werden aufgrund schwieriger Differenzierung unter dem Begriff Thoracic Outlet Syndrom zusammengefasst. Beispielsweise zählen zusätzliche Halsrippen oder eine Enge bzw. komprimierte Lücke für Nerven und die A. subclavia in der Durchtrittsstelle der Mm. scaleni zu den Ursachen dieses Kompressionssyndroms. Dabei treten vor allem bei Überkopfarbeiten oder beim Tragen von schweren Lasten Symptome auf, die hauptsächlich durch Einengung des Truncus inferior zu Sensibilitätsstörungen, Parästhesien und Schmerzen am Unterarm und an der ulnaren Seite der Hand führen. Zusätzlich können diffuse Beschwerden der oberen Extremität andere Kompressionssyndrome imitieren oder deren Diagnose erschweren (14).

### 1.7.3 Ober- und Unterarm

Am Oberarm wird auch eine seltene anatomische Variante, ein Processus Supracondylaris Humeri und ein von diesem ausgehendes Band, als Kompressionsursache festgemacht. Als Struther-Ligament bezeichnet, bildet es mit besagtem Knochensporn einen osteofibrösen Kanal, durch den der Nervus medianus zieht. Typisch für diese Variante sind Schmerzen bei Flexion des Ellbogens unter Widerstand, Druckschmerzhaftigkeit und ein positives Hoffmann-Tinel Zeichen rund sechs Zentimeter kranial der Ellbogen-Gelenksfalte.

Am Unterarm wird eine verdickte Variante des Lacertus fibrosus, der Aponeurose des M. biceps brachii, als Ursache für eine Kompression diskutiert. Viel häufiger im Bereich des Unterarmes anzutreffen ist das Pronator-Teres Syndrom. Hierbei kommt es besonders in Streckstellung unter dem ulnaren Kopf des M. pronator teres zu einer chronischen Druckschädigung des Nervs. Dieses lässt sich neben der Elektrophysiologie auch durch Krämpfe und Schmerzen in den durch den N. medianus versorgten Unterarmmuskeln, Druckscherz, Hoffmann-Tinel Zeichen über dem M. pronator teres und Parästhesien diagnostizieren. Weitere Ursachen am Unterarm können eine persistierende A. mediana und eine prominente A. interossea sein. Eine weitere seltene Pathologie ist die- meist posttraumatisch bedingte- Schädigung des motorischen N. interosseus anterior (14).

#### **1.7.4 Komplexes Regionales Schmerzsyndrom (engl. CRPS)**

Neben anderen Differentialdiagnosen ist es wichtig, ein mögliches komplexes, regionales Schmerzsyndrom (CRPS) richtig zu identifizieren. Zu dessen Ursachen gehören Nervenverletzungen, Verletzungen des Bewegungsapparates und deren Behandlungen. Neben Symptomen wie Schmerzen, Parästhesien, Schwäche und Muskelatrophie, die Nervenkompressionssyndrome imitieren können, bestehen oft zusätzlich vasomotorische Störungen wie Kälte, Schwellung oder Überwärmung, sensible Wahrnehmungsstörungen wie Allodynie und Hyperpathie, eine trockene bis hypotrophe Haut, Muskeldystonie oder eine gesteigerte bis verringerte Schweißsekretion (6).

#### **1.7.5 Karpaltunnelsyndrom- Rezidiv und persistierende Beschwerden**

Eine kleine, aber nicht zu vernachlässigende Anzahl an PatientInnen klagt nach primärer Operation entweder über persistierende oder nach einem individuell unterschiedlichen symptomfreien Intervall über wiederkehrende Beschwerden. Tung beschreibt, dass eben diese wiederkehrenden oder bleibenden Beschwerden, welche in ihrer Natur gleich, unterschiedlich bzw. neu im Vergleich zu den Beschwerden vor der Operation sind, Hinweise zur Ätiologie liefern können (33). Bei nicht zufriedenstellenden Ergebnissen nach primärer Operation unterscheidet Stütz in seiner Studie ebenfalls wiederkehrende Symptome von persistierenden nach einer Karpaltunnelsyndrom-Operation, wobei persistierende Symptome mit hoher Wahrscheinlichkeit auf eine iatrogene Ursache wie die Verletzung des Nervus medianus oder ein unvollständig gespaltenes Retinakulum flexorum zurückzuführen waren und nach einer gewissen Zeit wiederkehrende Symptome eher von Fibrosierungen und Narbenbildungen um den Nervus medianus sowie dessen Ästen verursacht wurden (34). Auch Assmus unterscheidet zwischen Revisions- und Rezidiveingriffen und beschreibt ein persistierendes Karpaltunnelsyndrom als nur kurzfristige Besserung oder postoperative Verschlechterung innerhalb vier Wochen, ein echtes Rezidiv hingegen bei Wiederauftreten der Beschwerden nach mindestens drei Monaten oder mehreren Jahren postoperativer Beschwerdefreiheit (35).

Jones konkretisiert diese Annahme, indem er persistierende Symptome auf eine fälschliche Indikationsstellung oder ein inkomplett gespaltenes Retinakulum flexorum, wiederkehrende Symptome auf Vernarbungen und neu aufgetretene Symptome auf eine iatrogene Verletzung des Nervus medianus und dessen Äste zurückführt (36).

## **2 Methoden**

### **2.1 Studienziel**

Ziel dieser Arbeit ist, mittels einer retrospektive Analyse aller, zwischen 2005 und 2015 operierten, Karpaltunnelsyndrom-Fälle an der Klinischen Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie am Universitätsklinikum für Chirurgie, der Medizinischen Universität Graz, unter besonderer Berücksichtigung der aufgetretenen Revisions-Fälle und in Kombination mit bestehender Literatur eine Unterteilung dieser Gruppe zu erstellen und gegebenenfalls Unterschiede zwischen PatientInnen mit rezidivierenden und PatientInnen mit persistierenden Beschwerden zu ermitteln.

### **2.2 Datenherkunft**

Mittels Datenbankabfrage durch das Grazer Medizinische DatenManagement, Institut für medizinische Informatik, Statistik und Dokumentation, werden in einer Freitextsuche unter Diagnosen die Schlagwörter: "[ck]arpaltunnel\*" oder "\*cts\*", die Anzahl von Karpaltunnelsyndrom- PatientInnen im Zeitraum von 2005 - 2015 an der Klinischen Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie, an der Universitätsklinik für Chirurgie, der Medizinischen Universität Graz, ermittelt.

Zur Auswertung werden bei den von 2005 bis 2015 operierten PatientInnen auch PatientInnendaten aus den Jahren 2016 und 2017 herangezogen. Dabei handelt es sich um Daten aus postoperativen Nachkontrollen.

### **2.3 Einschlusskriterien**

- Karpaltunnelsyndrom-Revisionsoperation im Zeitraum von 2005 bis 2015; (inklusive Nachbeobachtungszeitraum über die gesamte Dauer, die den Studienzeitraum übertreffen kann)

## 2.4 Ausschlusskriterien

- Komorbiditäten, die in ihrem klinischen Erscheinungsbild einem Karpaltunnelsyndrom ähneln können
- Bestehende Schwangerschaft zum Zeitpunkt der Beschwerdeschilderung

## 2.5 Therapie

Im Rahmen der klinischen Routine und der ambulanten Erstvorstellung von extern voroperierten PatientInnen oder Wiedervorstellung mit Beschwerden nach vorausgehender operativen Karpaldachspaltung in dieser Abteilung erfolgt die Dokumentation von bestehenden Symptomen und klinischen Zeichen. Ebenfalls erfolgt eine Erhebung von bereits durchgeführten Untersuchungen wie die Nervenleitgeschwindigkeitsuntersuchung. Gegebenenfalls werden bei speziellen Fragestellungen oder Fehlen von notwendigen Befunden diese veranlasst. Stellte sich durch die Kombination von Symptomen, klinischen Zeichen und Untersuchungsbefunden eine Indikation zur Operation, so wird diese nach Zustimmung, Aufklärung und einer präoperativen Eignungsuntersuchung vorgenommen. Zu den vereinbarten ambulanten Nachkontrollen erfolgt neben dem Entfernen der Nähte die Beurteilung der Wundheilung und des postoperativen Verlaufes der Symptomatik sowie die Besprechung des weiteren postoperativen Procederes. Dies beinhaltet eine Schonung der betroffenen Hand, die konsequente Durchführung von Nervengleitübungen und gegebenenfalls eine Physiotherapie.

## 2.6 Datenschutz

Das mögliche Risiko, das Bekanntwerden der sensiblen PatientInnendaten, wurde unter strenger Einhaltung der Datenschutzrichtlinien sowie durch Pseudonymisierung und Zugriffsbeschränkung der PatientInnendaten minimiert. Die Erhebung, Weitergabe, Speicherung und Auswertung persönlicher Daten innerhalb dieser Studie erfolgt nach dem Datenschutzgesetz.

Alle PatientInnen werden mit einer fortlaufenden Nummer codiert (pseudonymisiert). Die auszuwertenden Daten werden- nur mit diesem Code versehen- in einer Excel-Tabelle auf

einem PC mit Zugriffsbeschränkung an der Klinischen Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie, am Universitätsklinikum für Chirurgie, der Medizinischen Universität Graz, gespeichert und anschließend ausgewertet. Lediglich autorisierte Personen haben Zugriff auf die Originaldaten.

## **2.7 Datenextraktion**

Alle zur Auswertung herangezogenen Daten entstammen ärztlich erstellten oder vidiierten Dokumenten. Dabei teilen alle Ärztinnen und Ärzte der Plastischen Chirurgie ähnliche Ansichten zur Diagnostik und zum therapeutischen Vorgehen bei Karpaltunnelsyndromen. Alle Daten bis auf Zeitangaben und genau dem Wortlaut entsprechende Angaben zu Komorbiditäten wurden- sofern zutreffend- in der Excel-Tabelle mit 1 dokumentiert. Im Falle von keinen Angaben zu den jeweiligen Symptomen, Zeichen oder anderen Untersuchungen wurde der entsprechenden Zelle der Wert 0 zugeteilt.

### **2.7.1 Allgemeine PatientInnendaten, Zeitpunkte, Komorbiditäten und Angaben zur Operation**

Allgemeine PatientInnendaten konnten den Ambulanzkarten oder Operationsberichten entnommen oder im Falle von nicht gegebenen Zeitintervallen aus den verfügbaren Daten berechnet werden. Daten zur PatientInnenkonstitution, Medikation, zum Body Mass Index, zu Angewohnheiten und Komorbiditäten stammen aus Aufzeichnungen zur präoperativen Durchuntersuchung vor dem Revisionseingriff und falls angefordert, von zusätzlichen Konsilen der Inneren Medizin. Komorbiditäten umfassen Erkrankungen aus dem rheumatologischen, endokrinologischen, neurologischen und internistischen Formenkreis und wurden- sofern zutreffend- mit 1 in der Excel- Erhebungstabelle kodiert.

Das symptomfreie Intervall bei den PatientInnen, deren Beschwerden nach einer bestimmten Periode wieder auftraten, wurde aus den Zeitpunkten der Voroperation und um bei allen PatientInnen ein einheitliches Auswertungsschema zu gewährleisten, aus dem Zeitpunkt der ersten Vorstellung mit Schilderung der Beschwerden in der Ambulanz berechnet.

Komorbiditäten Formenkreis	
rheumatologisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formen von degenerativen Veränderungen und entzündlichen Arthritiden besonders an Hals, Arm und Hand</li> <li>• (Bsp. Dupuytren'sche Kontraktur, Ringbandstenose, Arthritiden, Lupus Erythematodes (LE), Tenosynovitiden, Psoriasis)</li> </ul>
neurologisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polyneuropathie</li> <li>• Angststörungen</li> <li>• Depression</li> <li>• <b>Erkrankungen und Verletzungen, die zu Nervenwurzel- oder Wirbelkanalkompression führen können</b></li> <li>• <b>periphere Einengungen des Nervus Medianus sowie dessen Ästen</b></li> </ul>
endokrinologisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erkrankungen der Schilddrüse, Prostata und übergeordnete Hormondrüsen</li> </ul>
internistisch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diabetes Mellitus</li> <li>• Nierenerkrankungen bis dialysepflichtigem Nierenversagen</li> </ul>
anatomische Variationen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variationen, die zur Erklärung von Beschwerden herangezogen werden können</li> </ul>

**Tabelle 2: Komorbiditäten**  
**(Fett unterlegte entsprechen Ausschlusskriterien)**

## **2.7.2 Symptomatik, klinische Zeichen, NLG Untersuchung und Tendenz der Symptomentwicklung**

Diese Daten konnten in den Ambulanzkarten und falls zutreffend, in diesen angehängten Dokumenten zu prä- und postoperativen Untersuchungen gefunden werden.

Bei der Beurteilung der postoperativen Tendenz über den dokumentierten Zeitraum oder im Falle von intern voroperierten PatientInnen im Zeitraum zwischen zwei Operationen handelt es sich um eine subjektive Zusammenschau von in der Ambulanzakte vermerkten Symptomen, Beschwerdeintensitäten und dokumentierten Tendenzen.

In dieser Studie wurden besonders für die Analyse zur Ermittlung von Unterschieden zwischen der Gruppe der persistierenden Beschwerden und von Rezidiven erhobene relevante Symptome und klinische Zeichen aufgrund des Fehlens eines anerkannten Goldstandards zur Diagnosefindung aus bestehender Literatur- vorwiegend sprachbedingt modifiziert- entnommen. Bei den Parametern handelt es sich um ein Ergebnis, zu dessen Schluss ein ExpertInnengremium mittels Anwendung der Delphi- Methode gekommen ist.

Aus 57 in der Literatur festgehaltenen potenziellen Diagnosekriterien eines Karpaltunnelsyndroms konnte dieses Gremium acht Hauptkriterien isolieren. Schlussendlich zeichneten sich sechs dieser acht Kriterien mit einer signifikanten Assoziation zu einem Karpaltunnelsyndrom aus. Es sind dies Gefühllosigkeit und Parästhesien im Innervationsgebiet, nächtliche Gefühllosigkeit, Schwäche oder Atrophie der Thenarmuskulatur, Hoffman-Tinel Zeichen, Phalen Zeichen und Verlust der Zweipunktdiskrimination. Die Korrelation zwischen der Wahrscheinlichkeit mittels dieser Standardkriterien ein Karpaltunnelsyndrom vorherzusagen und der von ExpertInnen diagnostizierten Karpaltunnelsyndromen beträgt 0.71(37).

Die somit als relevant eingestuft und zu einem Vergleich der Gruppen (Rezidiv und Persistierendes Karpaltunnelsyndrom) herangezogenen Symptome und klinischen Zeichen können in Tabelle 3 nachgelesen werden. Aufgrund unstandardisierter Dokumentation dieser Parameter in klinischen Aufzeichnungen wurden die in dieser Auswertung verwendeten Symptome und klinischen Zeichen unter Überbegriffe zusammengefasst, welche sinngemäß den untergeordneten Parametern entsprechen.

Überbegriff		Parameter
Symptome	Schmerzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schmerzen, die vom Handgelenk ausstrahlen</li> <li>• Nächtliches Aufwachen durch Schmerzen</li> <li>• Schmerzen, die sich durch „Ausschütteln“ bessern</li> <li>• brennende, stechende Schmerzen</li> </ul>
	Parästhesien	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kribbeln</li> <li>• „Bamstigkeitsgefühl“, Ameisenlaufen</li> <li>• Sensibilitätsstörungen</li> <li>• Gefühlsstörung der radialen drei Finger</li> </ul>
	Schwäche	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dinge aus der Hand fallen lassen</li> <li>• Beginnende Schwäche der Muskulatur</li> </ul>
	Gefühllosigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hypästhesie</li> <li>• reduzierte/ aufgehobene/ verminderte Zweipunktdiskrimination</li> </ul>
Zeichen	Phalen- Test	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dem Wortlaut entsprechend</li> </ul>
	Hoffmann- Tinel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• dem Wortlaut entsprechend</li> </ul>
	Hypotrophie/ Atrophie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Muskelschwund auf der betroffenen Seite (im Vergleich zur Gegenseite)</li> </ul>

Tabelle 3: Erhobene Parameter

### 2.7.3 Gruppen: Rezidivierende und Persistierende Symptomatik

Nach Komplettierung der Datenauswertung konnten alle PatientInnen anhand des zeitlichen Auftretens der Beschwerden in zwei Gruppen aufgeteilt und schlussendlich verglichen werden. Die Grundlage zur Separierung in zwei Gruppen stammt aus einem systematischen Literatur- Review, welches 2018 mit dem Titel „What is the actual definition of carpal tunnel syndrome recurrence?“ vorgestellt wurde. Von den darin inkludierten Arbeiten geben 42 Prozent an, ab einem postoperativen symptomfreien Zeitintervall von drei oder mehr Monaten ein Wiederauftreten von Beschwerden als Rezidiv zu werten. Bei weniger als drei Monaten handelt es sich demnach um ein persistierendes Karpaltunnelsyndrom (38).

## 2.8 Statistische Analyse

Alle in diese Arbeit eingeschlossenen PatientInnen wurden im Tabellenkalkulationsprogramm Excel unter einer fortlaufenden Nummer ausgewertet. Eine Testung auf Normalverteilung der untersuchten Parameter konnte durch den Kolmogorov-Smirnov-Test ermittelt werden.

Der anschließende Vergleich der Gruppen erfolgte bei nominalen Daten mittels Kreuztabellen. Zur Überprüfung von Unterschieden in Häufigkeiten wurde der Chi-Quadrat-Test und darin inkludiert der Fisher-Exact-Test verwendet. Ordinal skalierte Daten wurden mittels Mann-Whitney-U-Test und intervallskalierte Daten, sofern sie normalverteilt sind, mittels t-Test für unabhängige Stichproben analysiert. P-Werte von  $\leq 0,05$  werden als statistisch signifikant angesehen.

Die Auswertung der PatientInnendaten erfolgte mit Microsoft® Excel® und die statistische Analyse mittels IBM SPSS Statistics Version 25. Als Zufallsgenerator wurde <https://www.zufallsgenerator.net/wuerfel-zufallsgenerator.html> verwendet.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 PatientInnenkollektiv

Die durchgeführte Datenbankabfrage ergab, dass die Klinische Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie, Universitätsklinik für Chirurgie, Medizinische Universität Graz im Zeitraum von 2005 bis 2015 1266 Hände mit einem Karpaltunnelsyndrom behandelt hat. Bei diesen 1266 Händen wurde entweder in den Arztbriefen, der Ambulanzakte oder im Operationsbericht in 67 Fällen das Wort Rezidiv mitdokumentiert.

Die genaue Auswertung der Komorbiditäten der „Rezidiv-Eingriffe“ zeigte, dass bei 5 Händen Komorbiditäten bestanden, die aufgrund ihrer Symptomatik einem Karpaltunnelsyndrom ähnelten beziehungsweise deren auftretende Symptome und klinische Zeichen in Kombination mit einem verifizierten Karpaltunnelsyndrom nicht ausschließlich auf die Erkrankungen des Karpaltunnelsyndroms zurückzuführen sind. Bei zwei Eingriffen beinhalteten die Komorbiditäten einen in der Halswirbelsäule lokalisierten Discusprolaps, in einem Fall eine Nervenaustrittseinengung in den Halswirbelsegmenten drei, vier und sechs, in einem Fall ein Pronator-Teres Syndrom und wiederum in einem Fall ein Thoracic-Outlet Syndrom.

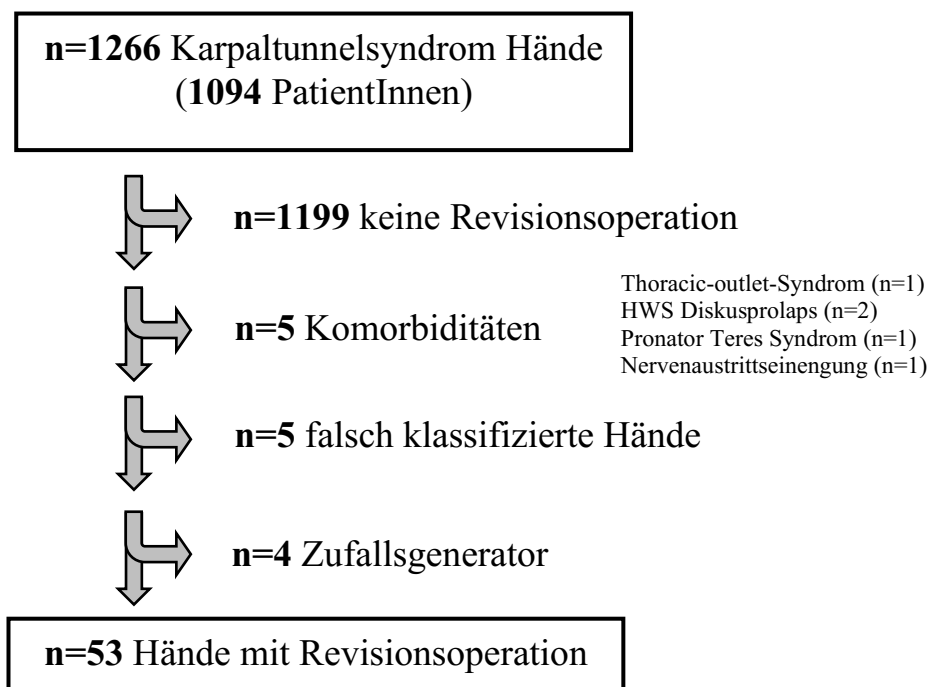


Abbildung 5: PatientInnenaufgliederung 1

5 Hände wurden vom IT-System fälschlich als Karpaltunnelsyndrom-Rezidiv Fälle erfasst. Dabei stellte sich bei 2 Händen heraus, dass sie in der Historie andere Eingriffe durchliefen, in denen neben den Diagnosen auch das Wort Rezidiv aufschien. Bei 3 Händen wurde eine primäre Karpaltunnelsyndrom-Operation vom System als Rezidiv vermerkt, wobei sich dabei das Wort Rezidiv auf eine andere Zusatzoperation bezog, z.B. Mb. Dupuytren-Rezidiv.

Schlussendlich musste aus statistischen Gründen per Zufallsgenerator bei 4 PatientInnen jeweils die rechte oder linke Hand ausgewählt werden, da beide Hände einem Revisionseingriff unterzogen wurden.

#### Zufallsgenerator:

**Definition: Würfel mit 6 Seiten: gerade Zahlen (2/4/6): rechte Hand**

**ungerade Zahlen (1/3/5): linke Hand**

**Nr 1: Fall 6/7 (3) ausgewählt: linke Hand) (=Fall 6)**

**Nr 2: Fall 8/9 (3) ausgewählt: linke Hand) (=Fall 9)**

**Nr 3 Fall 43/44 (1) ausgewählt: linke Hand) (=Fall 43)**

**Nr 4 Fall 55/56 (4) ausgewählt: rechte Hand) (=Fall 56)**

(unterschiedliche Anordnung der Fälle durch unterschiedliche Auswertung: Bsp. wenn linke Seite zuvor operiert wurde, dann wurde sie zuerst ausgewertet und erhielt somit eine niedrigere Nummer)

Schließlich entsprachen 53 Hände all unseren Kriterien, um zur Auswertung in einer Excel- und anschließenden SPSS Tabelle herangezogen zu werden. Mit dem Kriterium des symptomfreien Intervalls von mindestens drei Monaten erfolgte dann die Aufteilung in zwei Gruppen, wobei von 53 Händen 18 die Kriterien eines Rezidivs erfüllten und 35 der Persistierend- Gruppe zugewiesen werden konnten.

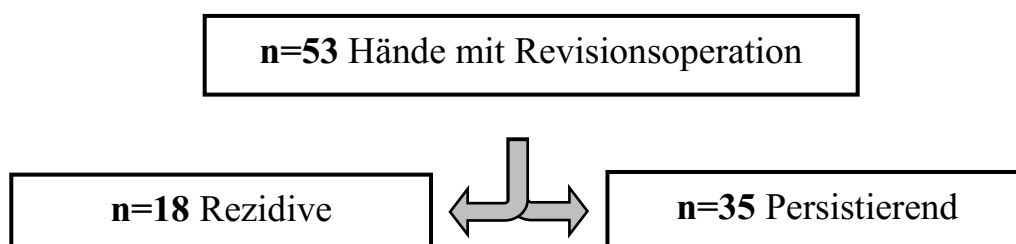


Abbildung 6: PatientInnenaufgliederung 2

### 3.2 Test auf Normalverteilung

Bis auf die Parameter Alter und BMI sind alle mittels Kolmogorov- Smirnov verglichenen Parameter nicht normalverteilt.

### 3.3 PatientInneneigenschaften

Zum Zeitpunkt der Revisionsoperation beträgt das mittlere Alter in der Rezidiv-Gruppe 55.9 und das der Persistierend-Gruppe 62.6 Jahre. Der Median bei den Rezidiven liegt hierbei bei 56 Jahren und in der Persistierend-Gruppe bei 63 Jahren. Während in der Rezidiv-Gruppe ein Drittel männlich und zwei Drittel weiblich sind, gehören in der Persistierend-Gruppe 40% dem männlichen und 60% dem weiblichen Geschlecht an. Der Body Mass Index (BMI) in der Rezidiv-Gruppe liegt mit einem Mittel von 29.4 und dem der Persistierend-Gruppe von 28.7 relativ ähnlich an der Grenze zwischen Präadipositas und Adipositas Grad I. Der Median bei den Rezidiven liegt mit 28 ebenfalls ähnlich zu dem der Persistierend-Gruppe, welcher bei 29.5 anzutreffen ist. Bei drei PatientInnen der letztgenannten Gruppe konnten keine Aufzeichnungen zum BMI gefunden werden.

Während der Alkoholkonsum in der Rezidiv-Gruppe mit 67% wiederum ähnlich der Vergleichsgruppe mit 69% ist, beträgt der Nikotinkonsum in der Rezidiv-Gruppe 50%, in der Persistierend- Gruppe jedoch nur 31%.

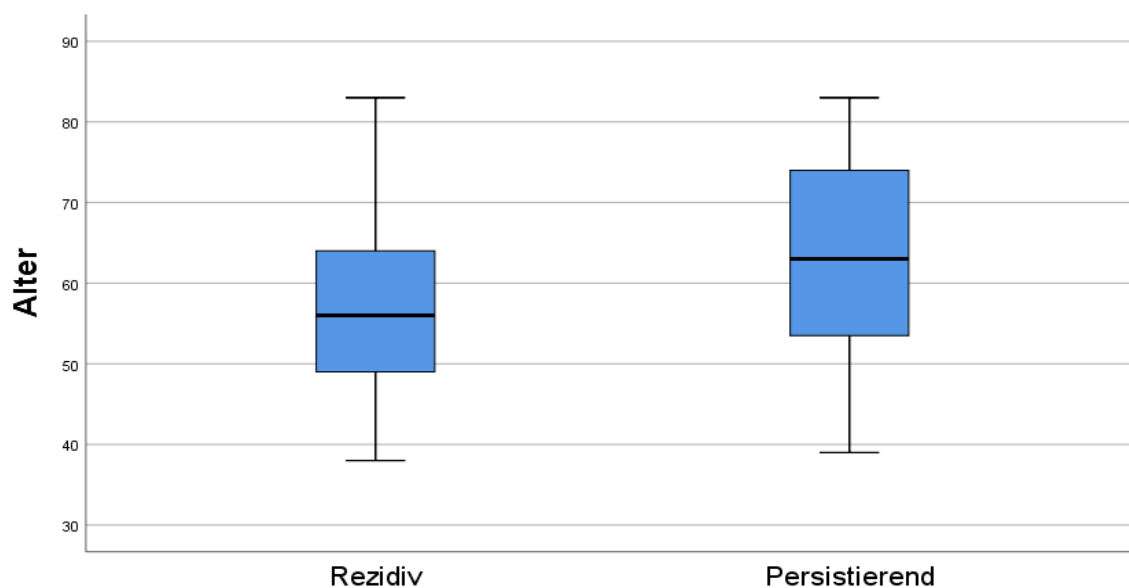


Abbildung 7: PatientInneneigenschaften (Alter)

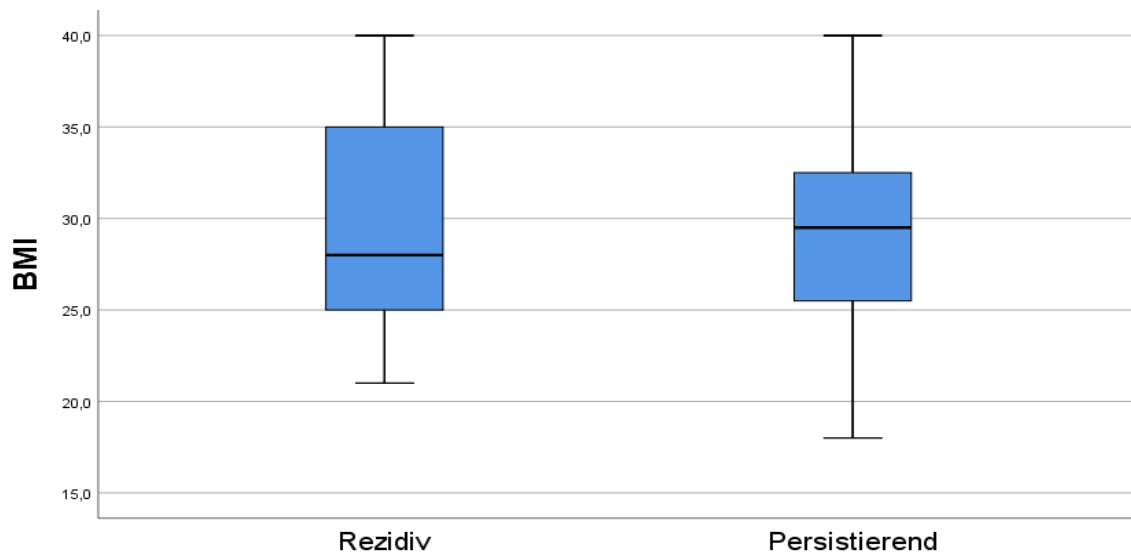


Abbildung 8: PatientInneneigenschaften (BMI)

### 3.3.1 Komorbiditäten

Beide PatientInnengruppen wurden auf relevante Komorbiditäten untersucht.

**Rezidiv-Gruppe:** Diabetes Mellitus 22.2% (n=4), Endokrinologische Erkrankungen 33.3% (n=6), Rheumatologische Erkrankungen 44.4% (n=8), Neurologische Erkrankungen 33.3% (n=6).

**Persistierend-Gruppe:** Diabetes Mellitus 20% (n=7), Endokrinologische Erkrankungen 42.9% (n=15), Rheumatologische Erkrankungen 25.7% (n=9) und Neurologische Erkrankungen 48.6% (n=17), dialysepflichtige Nierenerkrankungen 5.7% (n=2).

### 3.3.2 Symptomfreies Intervall (Rezidive)

Das symptomfreie Intervall der Rezidive betrug in 5.5% (n=1) über drei Monate, in 61.1% (n=11) mehr als ein Jahr und in 33.3% (n=6) mehr als zehn Jahre.

		Rezidiv	Persistierend	p-Wert*
<b>Anzahl</b>		18	35	-
<b>Geschlecht</b>	<b>männlich:weiblich</b> (%:%)	6:12 (33%:67%)	14:21 (40%:60%)	0.768
<b>Alter</b>	<b>Mittelwert (+SD)</b>	55.9 (11.5)	62.6 (12.2)	0.065
<b>BMI</b>	<b>Mittelwert (+SD)</b>	29.4 (5.9)	28.7 (5.8)	0.663
<b>Gewohnheiten</b>	<b>C2</b>	12 (67%)	24 (69%)	1.000
	<b>Nikotin</b>	9 (50%)	11 (31%)	0.237
<b>Komorbiditäten</b>				
<b>Diabetes Mellitus</b>		4	7	(1.000)
<b>Nierenerkrankungen</b>		0	2	(0.543)
<b>davon Dialysepflichtig</b>		0	2	(0.543)
<b>endokrinologische Erkrankungen</b>		6	15	0.565
<b>rheumatologische Erkrankungen</b>		8	9	0.218
<b>neurologische Erkrankungen</b>		6	17	0.384
<b>Zeit bis zum Wiederauftritt</b>				
<b>3 bis 6 Monate</b>		1		
<b>6 Monate bis 1 Jahr</b>		0		
<b>1 bis 10 Jahre</b>		11		
<b>über 10 Jahre</b>		6		

Tabelle 4: PatientInneneigenschaften und Komorbiditäten

\* Signifikanzniveau  $\alpha = 0.05$

### 3.4 Details zur Revisionsoperation

Bei allen PatientInnen wurde ein offener, gegebenenfalls auch erweiterter Zugang im Verlauf der primären Narbe gewählt. Der Mittelwert der Operationsdauer unterschied sich nur unwesentlich zwischen den beiden Gruppen mit 61 Minuten in der Rezidiv-Gruppe und 58 Minuten in der Persistierend-Gruppe. Jeweils 50% (n=9) der PatientInnen in der Rezidiv-Gruppe erhielten eine ambulante beziehungsweise stationäre Behandlung. Der stationäre Aufenthalt betrug dabei im Mittel vier Tage. In der Persistierend-Gruppe wurden 45.7% (n=16) ambulant und 54.3% (n=19) stationär behandelt. Der stationäre Aufenthalt betrug hier im Mittel fünf Tage.

#### 3.4.1 Intraoperativ bestimmte Hauptursachen

In der Rezidiv-Gruppe konnte in 94.4 % (n=17) Vernarbungen und in 5.3% (n=1) der Fälle ein erhaltener Teil des Karpaldaches gefunden werden. Im Vergleich dazu sind in der Persistierend-Gruppe in 40% (n=14) Vernarbungen, in 48.6% (n=17) ein erhaltener Teil des Karpaldaches, in 5.7% (n=2) eine einengende Unterarmfaszie und in jeweils 2.9% (n=1) ein Neurom und eine ausgeprägte Synovialitis aufgefallen. In Klammer gesetzte Ergebnisse der Statistik dürfen aufgrund der Test-Voraussetzung nicht interpretiert werden.

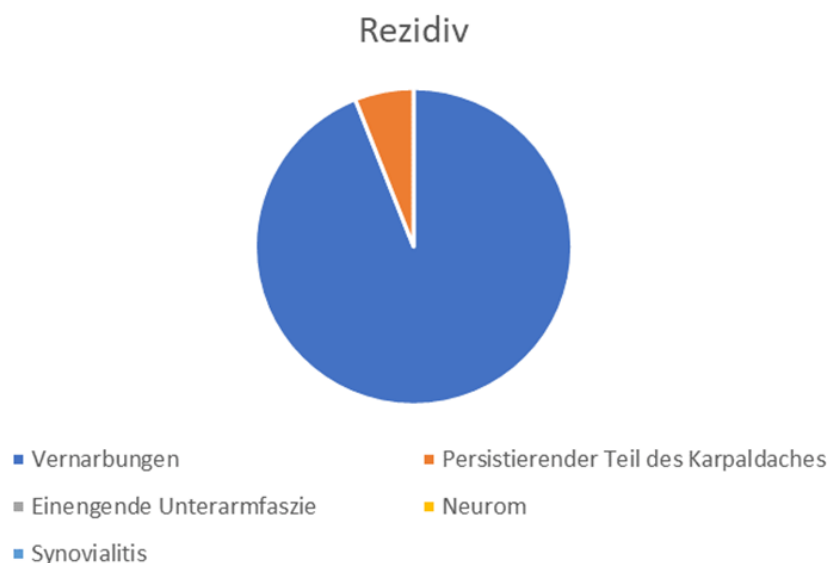
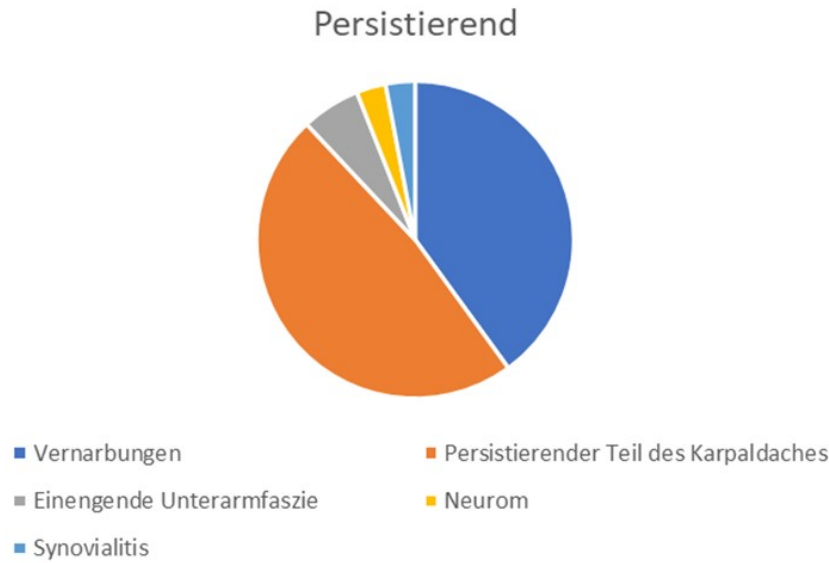


Abbildung 9: Ursachen Rezidive



**Abbildung 10: Ursachen persistierende Beschwerden**

### 3.4.2 Präoperative Diagnostik

Vor der Revisionsoperation in der Abteilung für Plastische Chirurgie in Graz wurde nachweislich bei 48 PatientInnen eine Nervenleitgeschwindigkeits-Untersuchung (NLG), bei 8 PatientInnen eine Neurosonografie, eine Magnetresonanztomografie bei 20 und eine röntgenologische Untersuchung bei 7 PatientInnen zur Unterstützung in der Diagnostik veranlasst. Von den 48 NLG-Untersuchungen konnte bei 26 erstmalig eine Nervus medianus-Schädigung nachgewiesen werden, bei 8 PatientInnen zeigte die NLG keine Änderung zum Vorbefund, bei 11 PatientInnen war eine Verschlechterung zum Vorbefund entnehmbar und in einem Fall bestätigte sich ein Nervenengpasssyndrom nicht. Im Gegensatz zu Röntgenuntersuchungen, wo keine Veränderungen festgestellt werden konnten, wurde bei den Neurosonografie-Untersuchungen in fünf Fällen ein pathologischer Befund erhoben und bei 14 der 20 PatientInnen, die eine Untersuchung mittels MRT erhielten, zeigten Scans Anomalien, die den Nervus medianus und angrenzende Strukturen betreffen.

### 3.4.3 Postoperatives Ergebnis

In Zusammenschau der postoperativen Einträge in der Ambulanzkarte konnten die Beschwerden in der Rezidiv-Gruppe retrospektiv bei zwölf PatientInnen verbessert und bei zwei PatientInnen nicht gemindert werden. Vier PatientInnen entzogen sich der Weiterverfolgung. Bei der Persistierend-Gruppe verbesserten sich bei 25 PatientInnen die Beschwerden. Fünf PatientInnen profitierten nicht von der Operation und fünf entzogen sich ebenfalls durch Fernbleiben von der Ambulanz der Weiterverfolgung.

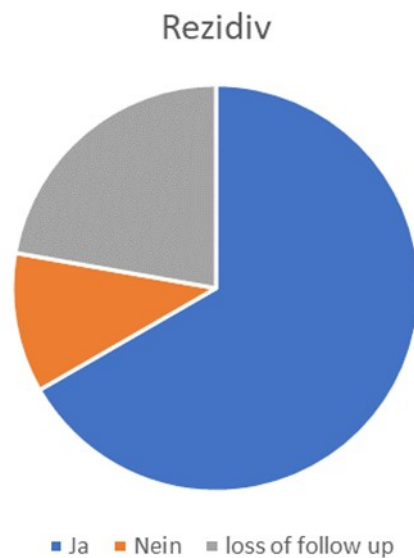


Abbildung 11: Rezidive (von Revisionsoperation profitiert)

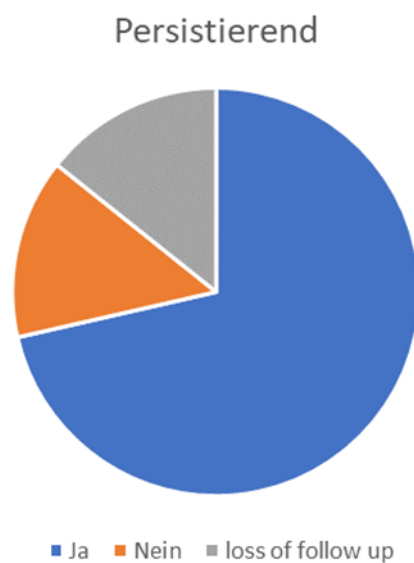


Abbildung 12: Persistierend (von Revisionsoperation profitiert)

		Rezidiv	Persistierend	p-Wert*
<b>Zugang</b>	offen	18	35	-
<b>Operationsdauer</b>	Mittelwert (+-SD)	61 (37) min	58 (49) min (34P.)	0.501
<b>ambulanter Aufenthalt</b>		9	16	0.780
<b>stationärer Aufenthalt</b>		9	19	0.536
<b>Intraoperativ Bestimmte Hauptursachen</b>				
<b>Vernarbungen</b>		17 (94%)	14 (40%)	<b>&lt;0.001</b>
<b>Persistierender Teil des Karpaldaches</b>		1 (6%)	17 (48%)	<b>(0.002)</b>
<b>Einengende Unterarmfaszie</b>			2 (6%)	(0.543)
<b>Neurom</b>			1 (3%)	(1.000)
<b>Synovialitis</b>			1 (3%)	(1.000)
<b>postoperative Physiotherapie</b>		10	12	0.155
<b>postoperative Nervengleitübungen</b>		18	30	0.153
<b>Von OP profitiert</b>				
<b>Ja (davon Symptomfreiheit)</b>		12	25	0.508
<b>Nein</b>		2	5	
<b>loss of follow up</b>		4	5	

Tabelle 5: Details zur Revisionsoperation

\* Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ 

### 3.5 Unterschiede zwischen Rezidiven und persistierenden Karpaltunnelsyndromen

Im Vergleich der beiden Gruppen mittels Chi-Quadrat-Test und Fisher-Exact-Test konnte beim Parameter Schmerz ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p=0.009$ ). Schmerz trat bei 50% der Rezidiv-PatientInnen und in 86% der Persistierend- PatientInnen auf. Aufgrund der Mindestgröße von erwarteten Häufigkeiten, welche beim Chi-Quadrat-Test fünf nicht unterschreiten darf, dürfen Unterschiede in den Parametern Schwäche und Hypo-, bzw. Atrophie keiner Interpretation zugeführt werden.

In der Rezidiv-Gruppe sind Parästhesien bei 72%, Schwäche bei 17%, Gefühllosigkeit bei 28%, der Phalen Test in 44%, das Hoffmann-Tinel Zeichen in 61% und die Hypo- oder

Atrophie in 22% zutreffend. Im Vergleich dazu kommen Parästhesien zu 77%, Schwäche zu 26%, Gefühllosigkeit zu 31%, ein positiver Phalen Test in 29%, das Hoffmann-Tinel Zeichen in 54% und die Hypo- oder Atrophie in 31% in der Persistierend-Gruppe vor. Die Verteilungen der Häufigkeiten werden zum besseren Verständnis nachfolgend in Balkendiagrammen dargestellt.

<b>Vergleich</b>				
		<b>Rezidiv</b>	<b>Persistierend</b>	<b>p-Wert*</b>
<b>Schmerz</b>	n=zutreffend	9	30	<b>0.009</b>
	n=nicht dokumentiert	9	5	
<b>Parästhesien</b>	n=zutreffend	13	27	0.743
	n=nicht dokumentiert	5	8	
<b>Gefühllosigkeit</b>	n=zutreffend	5	11	1.000
	n=nicht dokumentiert	13	24	
<b>Schwäche</b>	n=zutreffend	3	9	(0.730)
	n=nicht dokumentiert	15	26	
<b>Phalen Test</b>	n=zutreffend	8	10	0.359
	n=nicht dokumentiert	10	25	
<b>Hoffmann-Tinel</b>	n=zutreffend	11	19	0.772
	n=nicht dokumentiert	7	16	
<b>Hypo- /Atrophie</b>	n=zutreffend	4	11	(0.539)
	n=nicht dokumentiert	14	24	

Tabelle 6: Gruppenvergleich

Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$

### 3.6 Verteilung der Häufigkeiten

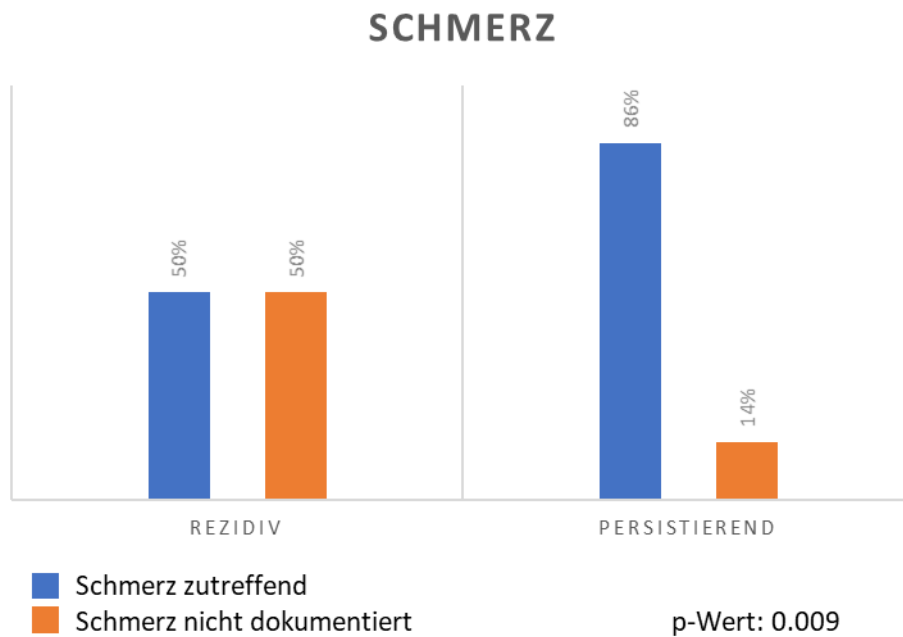


Abbildung 13: Verteilung Schmerz

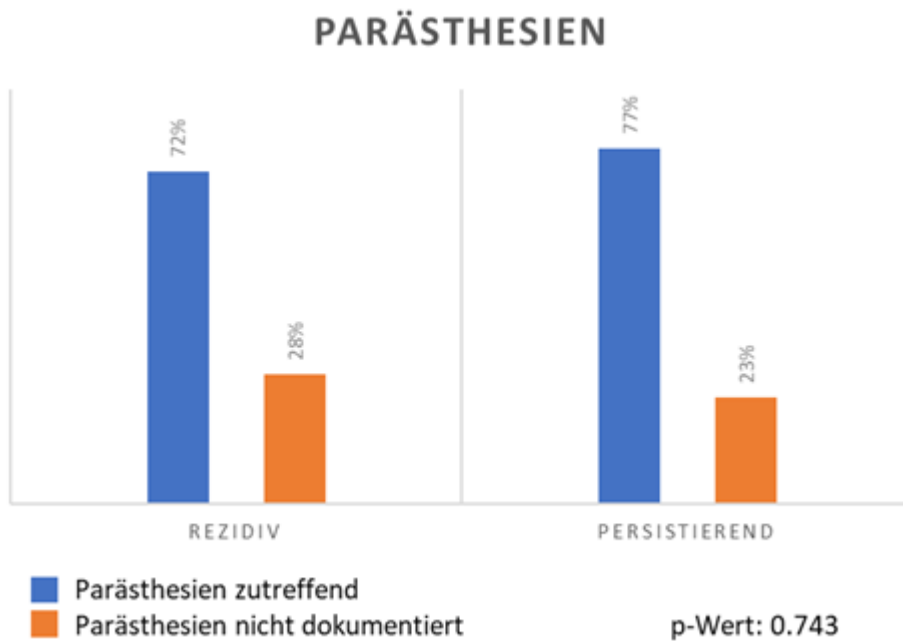


Abbildung 14: Verteilung Parästhesien

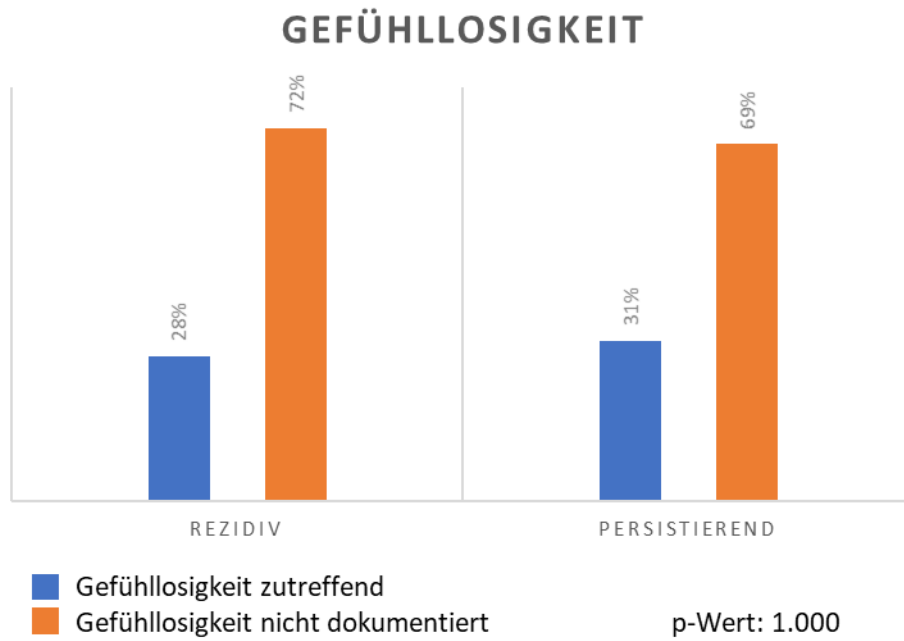


Abbildung 15: Verteilung Gefühllosigkeit

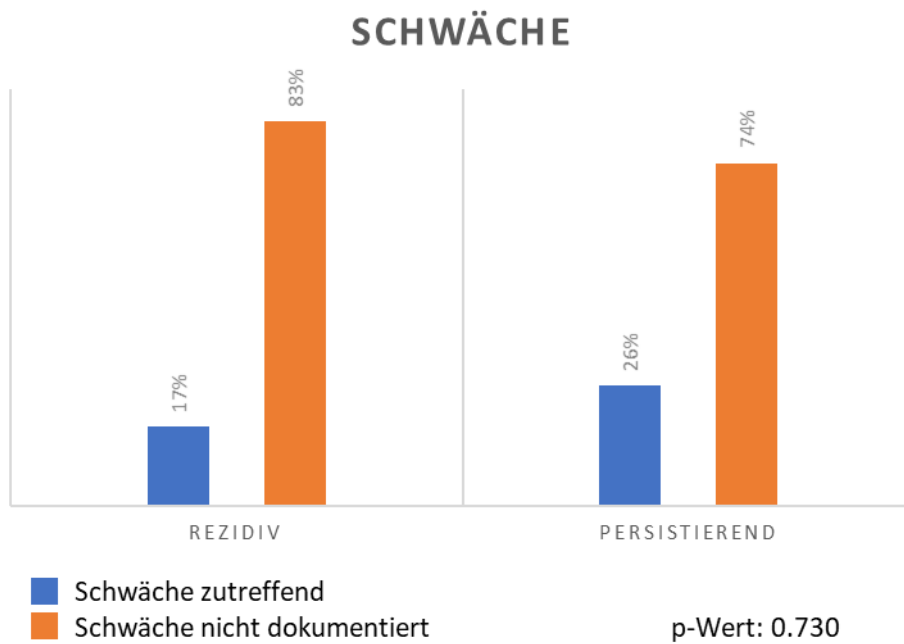


Abbildung 16: Verteilung Schwäche

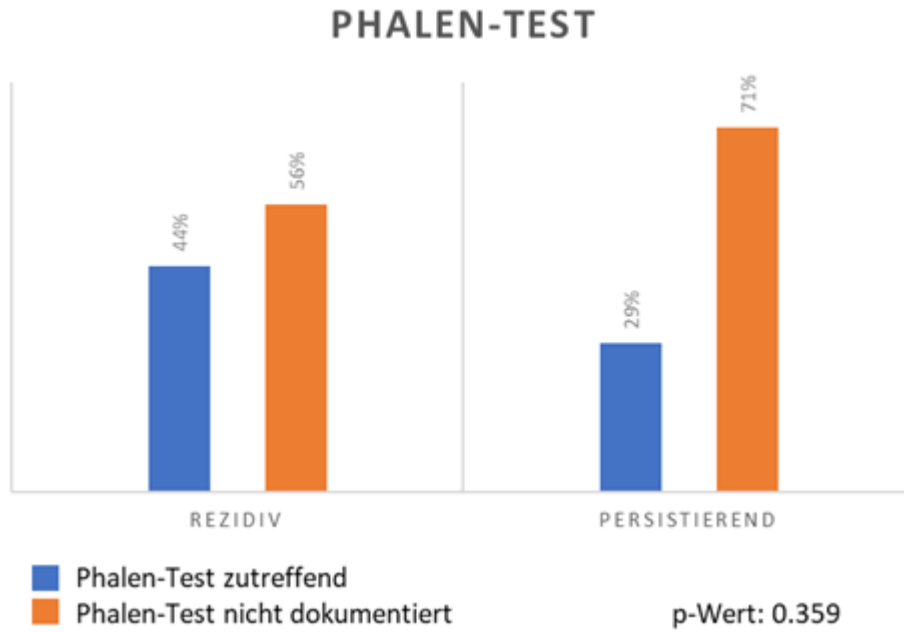


Abbildung 17: Verteilung Phalen-Test

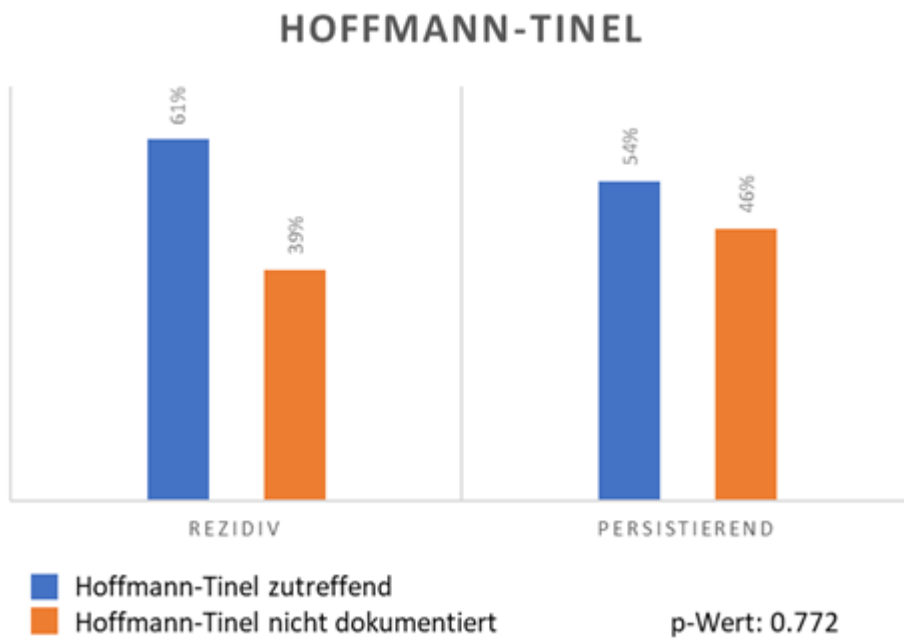
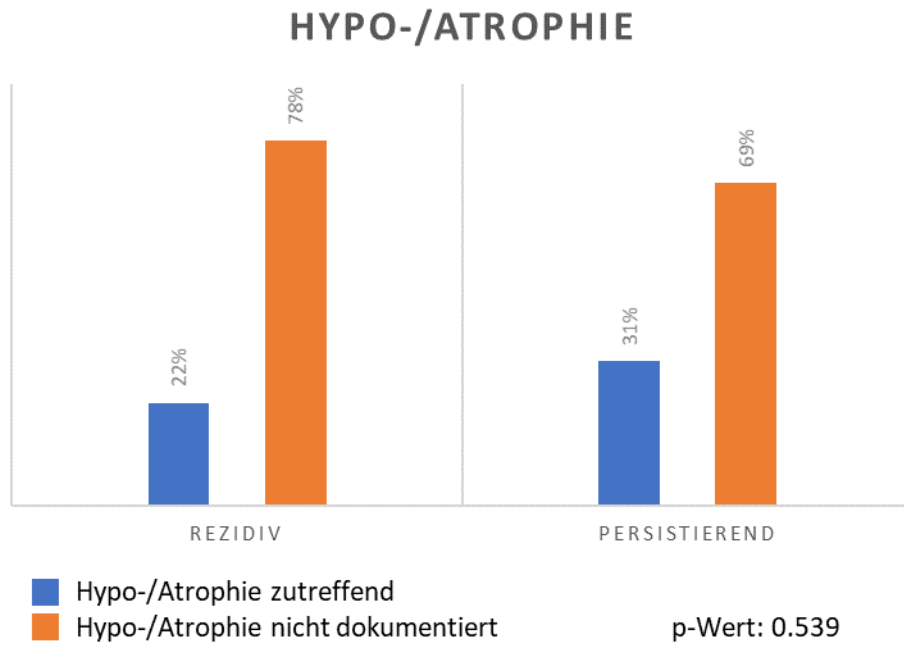


Abbildung 18: Verteilung Hoffmann-Tinel



**Abbildung 19: Verteilung Hypo-/Atrophie**

## 4 Diskussion

Ein Anliegen dieser Studie war es, mittels dieser Ergebnisse einen Beitrag zur Definition von Rezidiven zu leisten. Ziel war es, die Bezeichnung eines Rezidivs auf ein definiertes PatientInnenkollektiv anzuwenden, zu objektivieren und in weiterer Folge mit diesen Ergebnissen und Erkenntnissen von bestehender Literatur sowie prospektiv angelegten Untersuchungen das zukünftige Management von Karpaltunnelsyndrom-PatientInnen zu optimieren. So sollte es möglich werden, PatientInnen unnötige Eingriffe oder Wartezeiten bis zu einer Operation zu ersparen.

Nicht nur bei der Erkrankung des Karpaltunnelsyndroms selbst handelt es sich um eine Erkrankung, deren Ursache von zahlreichen Faktoren abhängt und wobei sich PatientInnen unterschiedlich präsentieren, sondern auch die Definition von unzufriedenstellenden Ergebnissen, persistierenden Beschwerden oder Rezidiven ist in der Literatur alles andere als uniform und stets abhängig von angewandten Kriterien. Beispielsweise kam eine Langzeitanalyse über durchschnittliche 4 Jahre von Kulick bei einem Kollektiv von 100 Karpaltunnelsyndrom-PatientInnen zu dem Schluss, dass zu 19% kein zufriedenstellendes Langzeitergebnis erreicht werden konnte (39). Raimbeau berichtet von Häufigkeiten, die von 0.3 bis 12% reichen (40) und Botte gibt eine Wiederauftrittswahrscheinlichkeit von bis zu 19% an. Die Re-Explorationsrate beträgt dabei bis zu 12% (41). Ohne Ausschlusskriterien zu berücksichtigen, zeigt dieses PatientInnenkollektiv, dass bei 1094 PatientInnen 1033 Erstoperationen durchgeführt wurden, wovon man bei 9 unserer 1033 PatientInnen eine Indikation zu einem Revisionseingriff stellte. Da die übrigen Revisionsoperationen anderenorts voroperiert wurden, ergibt das eine operationswürdige Revisionsrate von weniger als 0.9%. Durch Aufteilung in zwei Gruppen auf der Grundlage des minimalen symptomfreien Intervalls von mindestens drei Monaten, welches dem am häufigsten vorgeschlagenen Mindestintervall entspricht (38), sind drei PatientInnen aus dieser Studie als Rezidive klassifiziert, fünf fallen in die Persistierenden-Gruppe und ein Fall musste aufgrund von Komorbiditäten ausgeschlossen werden.

Nicht nur die Definition von Rezidiven und persistierenden Karpaltunnelsyndromen, sondern auch deren chirurgische Behandlung ist ungebrochen eine Auseinandersetzung zwischen unterschiedlichen Behandlungsansätzen. Die dabei am häufigsten und auch in diesem PatientInnenkollektiv durchgeführte Therapieoption entspricht einer offenen Dekompression mit gegebenenfalls zusätzlicher Entfernung von fibrotischem Gewebe um den Nerv in Form einer Neurolyse (36). Des Weiteren werden in der Literatur Techniken

wie Epineurektomie und Einbringen von durchbluteten Lappen beschrieben. Ein kürzlich veröffentlichter Review zu bestehender Literatur vergleicht das postoperative Ergebnis zwischen wiederholter offener Dekompression mit Techniken, die zusätzlich durchblutetes Gewebe in Form eines Lappens in das Operationsgebiet und dabei besonders um den Nerv, einbringen. Dabei stellte sich heraus, dass Techniken mit Interposition eines Lappens mit durchschnittlichen Erfolgsraten von 86% ein deutlich besseres postoperatives Ergebnis liefern als jene, die kein Gewebe einbringen. Diese erzielten Erfolgsraten von durchschnittlich 75% (42).

Von den 53 in dieser Studie eingeschlossenen PatientInnen sind 33 (62%) weiblich und 20 (38%) männlich. Davon sind in der Rezidiv-Gruppe 6 (33%) männliche und 12 (67%) weibliche Patientinnen und in der Persistierenden-Gruppe 14 (40%) männliche sowie 21 (60%) weibliche anzutreffen. In der Studie von Stütz wird ein PatientInnenkollektiv mit 70% weiblichen und 30% männlichen Patienten angeführt (34). Somit sind auch bei Revisionsfällen gehäuft Frauen betroffen, was sich auf die generell höhere Inzidenz dieses Nervenengpasssyndroms bei Frauen zurückführen lässt.

Im Vergleich zu der Studie von Zieske, welche bei einer ähnlichen Fallzahl zu ähnlichen Ergebnissen kommt, zeigt sich bei diesem PatientInnenkollektiv in den PatientInneneigenschaften, dass das Alter in der Persistierenden- Gruppe mit durchschnittlichen 62 Jahren höher als jenes der Rezidiv- Gruppe mit rund 56 ist. In der Vergleichsstudie ist das Durchschnittsalter bei den Rezidiven mit 55 Jahren den bei den persistierenden Symptomen mit 53 relativ ähnlich (43). In dieser Studie zeigte sich, dass mit 29.4 bei den Rezidiven und 28.7 in der Persistierenden-Gruppe nur ein geringer Unterschied in mittleren BMI-Werten besteht. Ebenso stellte sich heraus, dass in der Rezidiv-Gruppe 50% und in der Persistierenden-Gruppe 31% der PatientInnen Raucher sind. Im Vergleich dazu weisen die Rezidiv-PatientInnen bei Zieske einen mittleren BMI von 28.2 und die Persistierenden-PatientInnen einen BMI von 31.4 auf. Raucher sind mit 53% in der Rezidiv-Gruppe und mit 31% in der Persistierenden-Gruppe ebenfalls häufiger bei ersteren anzutreffen (43).

In der Arbeit von Tung werden Indikationen von Revisionsoperationen auf der Basis eines Vergleichs von prä- und postoperativen Beschwerden sowie deren zeitlichem Auftreten in drei Gruppen zusammengefasst. Danach werden persistierende Beschwerden von teilweise erhaltenen Karpaldächern, einer einengenden Unterarmfaszie und einer primär falschen Diagnosestellung verursacht. Wiederkehrende Symptome werden hingegen durch Narbenbildung, einer partiellen Heilung des gespaltenen Karpaldaches und anderen weiter

proximal bedingten Nervenkompressionen hervorgerufen. Die dritte Gruppe beinhaltet neue, davor nicht vorhandene Symptome, welche Hinweise auf eine iatrogene Nervenverletzung liefern können (33). Ähnliche Ergebnisse liefert Jones durch Einteilung der RevisionspatientInnen in vier Gruppen. Die erste umfasst persistierende Beschwerden, die zu 94.1% auf ein teilweise erhaltenes Karpaldach und zu 5.9% auf ein zusätzliches Pronator-Teres Syndrom zurückzuführen waren. Die zweite Gruppe beinhaltet in allen Fällen eine zirkumferentielle Fibrosierung in variabler Kombination mit Subluxationen des Nerv, eine zusätzliche Kompression durch die Sehne des M. palmaris longus, Tenosynovitiden, Ganglien, Proliferationen der Sehnenscheiden-Synovialis und Amyloidablagerungen, welche zu rekurrenden Beschwerden führten. Neben der dritten Gruppe, welche neue Symptome, die durch eine Durchtrennung des motorischen Thenarastes und einem Neurom bedingt waren, umfasst die vierte Gruppe ein Komplexes Regionales Schmerzsyndrom (36). O'Malley empfiehlt eine chirurgische Re-Exploration, falls bei PatientInnen gleichbleibende Symptome in Kombination mit einem positiven Phalen Test, nächtlichem Erwachen oder Exazerbationen bei bestimmten Tätigkeiten bestehen bleiben. Eine kurze oder Querinzision bei primärer Operation, zusätzlich zu den bereits genannten Symptomen, spricht laut dem Autor ebenfalls für eine Indikationsstellung zu einem Revisionseingriff (44). Zieske teilt PatientInnen- basierend auf der postoperativen Symptomatik- in drei Gruppen, wobei 43% gleichbleibende, 20% wiederkehrende und 37% neue Symptome beklagten. Neben Rezidiven, welche sich mit wiederauftretenden, einem Karpaltunnelsyndrom-ähnlichen Symptomen wie Gefühllosigkeit und Missempfindungen präsentierten, zeigte sich statistisch signifikant, dass Nervenverletzungen am häufigsten als Ursache bei neu aufgetretenen Symptomen beteiligt waren (43).

Unsere Ergebnisse zeigen, dass in der Gruppe der Rezidive mit 94% und daher deutlichem Abstand die häufigste bestimmbar Hauptursache eine Einbettung des Nervus Medianus in Narbengewebe- teilweise in Kombination mit Fibrosierungen- darstellte ( $p < 0.001$ ). Lediglich in einem Fall (6%) wurde beschrieben, dass der distale Teil des Karpaldaches noch in Kontinuität bestand. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit sich das gesamte Karpaldach und besonders Teile davon biomechanisch bei Flexion und Extension verhalten und welche Druckänderungen im Karpaltunnel auftreten, wenn noch ein Teil des Daches, in diesem Fall das Distale, bestehen bleibt. Biologisch macht es Sinn zu argumentieren, dass es nach der Durchtrennung des proximalen Teils zu einer ausreichenden Druckverminderung und einer Besserung kam und erst nach einer symptomfreien Phase

allein der distale Anteil ein Wiederauftreten von selbigen Beschwerden verursachte. Im Vergleich dazu konnten in der Persistierenden-Gruppe neben 14 Vernarbungen oder Fibrosierungen und 17 teilweise erhaltenen Karpaldächern in 2 Fällen eine einengende Unterarmfaszie als Hauptursache festgemacht werden. Eine ausgeprägte Synovialitis und ein Neurom, welches eine Nervenrekonstruktion von ca. 70% der Zirkumferenz und über eine Länge von 4 cm erforderlich machte, konnte in jeweils einem weiteren Fall identifiziert werden.

Stütz hat bei insgesamt 200 PatientInnen 108 Fälle gefunden, bei denen ein unvollständig durchtrenntes Karpaldach die Ursache der Beschwerden war. Bei 93 dieser PatientInnen glichen die Beschwerden jenen der Voroperation und bei 15 entwickelten sie sich kurzerhand wieder nach dem Eingriff (34). Werden die vermeidbaren Ursachen in unserem PatientInnenkollektiv, welche ein teilweise erhaltenes Karpaldach, eine einengende Unterarmfaszie und ein Neurom beinhalten, zusammengezählt, so ergibt sich eine Anzahl von 21 (39.6%) iatrogen verursachter Revisionseingriffe.

Im Vergleich zur Arbeit von Strasberg, der bei 53% (n= 24) von 45 PatientInnen nach Revisionsoperation die Rückmeldung erhielt, dass eine deutliche Verbesserung der Beschwerden eingetreten sei (45) und Djerbi, welcher von 38 Händen bei 68.4% (n=26) zufriedenstellende, davon 11 exzellente und 15 gute postoperative Ergebnisse erreichten (46), konnte in unserem PatientInnenkollektiv eine Besserung bei 69.8% (n=37) der PatientInnen und davon bei 8 eine Besserung bis zur Symptomfreiheit erzielt werden.

Im direkten statistischen Vergleich der Rezidiv- und Persistierenden-Gruppe konnten aufgrund der angewandten statistischen Testmethode zwei Parameter nicht interpretiert werden. Es ist unzulässig, Ergebnisse aus der angewandten statistischen Methode zu interpretieren, in der die Summe in einem Kästchen einer Kreuztabelle des Chi-Quadrat-Tests weniger als fünf beträgt. In dieser Analyse, deren sieben Parameter einer Konsensus Entscheidung mittels Delphi Methode übernommen wurde, trifft dies auf die Symptomgruppe Schwäche und auf das klinische Zeichen: Hypo- oder Atrophie zu. Schwäche ist bei nur drei Fällen der Rezidiv- Gruppe und Hypo- oder Atrophie in nur vier Fällen derselben Gruppe zutreffend.

Ergebnisse aus dieser Untersuchung zeigen, dass Schmerzen häufiger in der Persistierenden-Gruppe vorzufinden sind ( $p=0.009$ ). Bei den übrigen Symptom-Parametern konnte im direkten Vergleich kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Dies deckt sich mit den Ergebnissen aus der Studie von Zieske, welche neben

einem häufigeren Vorkommen von Diabetes mellitus Schmerzen bei Rezidiv- PatientInnen seltener beobachten konnte als in den übrigen Vergleichsgruppen (43).

#### **4.1 Limitationen**

Diese Studie ist aufgrund ihres Designs und der verfügbaren Daten in mehrererlei Hinsicht limitiert. Durch den retrospektiven Charakter war es nicht immer möglich, allen entsprechenden Eingriffen nur eine Ursache des Rezidiv-Eingriffs zuzuordnen. Bei den meisten Operationen wurden neben den besonderen Auffälligkeiten zusätzlich Vernarbungen dokumentiert, wobei retrospektiv nicht immer eruiert werden konnte, ob es sich dabei um Vernarbungen handelt, welche als Ursache für eine persistierende oder wiederauftretende Symptomatik gehandelt werden können oder es lediglich die logische Konsequenz der Voroperationen sind. Bei auf explizit hingewiesenen, teilweise in Kontinuität erhaltenen Karpaldächern, wurde diese Ursache als Hauptgrund definiert. Die Schmerzintensität wurde leider nicht routinemäßig mit Tools wie der visuellen Analogskala ermittelt.

Aufgrund dieser Limitation und um in Zukunft die Verwertbarkeit der Daten von PatientInnen mit Karpaltunnelsyndrom- Rezidiv optimieren zu können, sind prospektive Studiendesigns notwendig.

Die überwiegende Mehrheit der in dieser Studie eingeschlossenen PatientInnen wurde nicht primär in der Abteilung der Studie behandelt. Erst nach erfolglosen Operationen in umliegenden Institutionen wurden PatientInnen auf diese Abteilung überwiesen. Durch fehlende Dokumentation bzw. dem Autor nicht vorliegende Unterlagen von zuweisenden ÄrztInnen/Institutionen, die die Symptomatik der PatientInnen bzw. deren Ergebnisse bei Nervenleitgeschwindigkeit-Untersuchungen oder bildgebenden Diagnostiken dokumentieren, ist es nicht möglich gewesen, zur primären Operation Vergleiche oder Gegenüberstellungen von prä- und postoperativen Symptomen zu erstellen.

Des Weiteren ergibt sich durch den retrospektiven Charakter und der resultierenden Datenextraktion aus unstandardisierten Dokumenten (Arztbriefe, Ambulanzakten, Operationsberichten,...), die wiederum von mehreren ÄrztInnen der Abteilung für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie angefertigt wurden, die Möglichkeit, dass Symptome und Zeichen trotz der Zusammenlegung unter sinngemäßen Übergruppen in vereinzelten Fällen nicht erfasst werden konnten.

Diese Diskrepanzen, die durch leicht unterschiedliche Hauptaugenmerke in der Dokumentation von mehreren ÄrztInnen verursacht sind, können ebenfalls nur mittels prospektiver Studien behoben werden. Zusätzlich konnten den meisten Aufzeichnungen keine Angaben zur Inzisionslänge der primären Karpaltunnelsyndrom-Operation entnommen werden, was es unmöglich macht, exakte Angaben zu durchgeführten Methoden zu finden und im Falle von offenen Operationen die Schnittführung und deren Auswirkungen auf die Revisionsrate zu analysieren.

Ebenfalls sind in Dokumenten zu extern durchgeführten Nervenleitgeschwindigkeitsuntersuchungen nicht immer alle Ist- und die dazugehörige Normwerte angegeben. Daher konnten nur die Parameter, ob eine NLG-Untersuchung durchgeführt wurde und ob sich dabei pathologische Auffälligkeiten ergeben haben, erhoben werden.

Die unterschiedliche und relativ geringe Fallzahl an PatientInnen in beiden Gruppen stellt ebenfalls ein Risiko dar, Unterschiede zu erkennen, die nicht auf die Krankheit zurückzuführen sind und lediglich dem Zufall entsprechen. Dies bezieht sich besonders auf Unterschiede in PatientInneneigenschaften. Ein möglicher Fehler der ersten Art, Alternativhypothesen fälschlich als wahr anzunehmen, stellt ebenso ein geringes Risiko dar.

Bei vielen retrospektiven Studien - inklusive dieser - lässt sich feststellen, dass sich die Datenqualität leider in Grenzen hält. Im Idealfall soll die gute Forscherin und der gute Forscher diesen Zustand nicht als gegeben hinnehmen, sondern stets Wege suchen, um die Aussagekraft und Qualität seiner durchgeführten Arbeiten zu verbessern. Die zusätzliche Implementierung eines standardisierten Systems zur Datenerhebung neben etablierten Dokumentationsplattformen stößt jedoch häufig auf Ablehnung. Bereits jetzt birgt die enorme Dokumentationslast für ärztliches, Pflege- und Verwaltungspersonal ein hohes Frustrationspotential. Ein im Jahr 2003 im Deutschen Ärzteblatt veröffentlichter Artikel über eine Umfrage, welche unter 1010 ÄrztInnen aus internistischen und chirurgischen Fachrichtungen durchgeführt wurde zeigt, dass der Dokumentationsaufwand pro Arbeitstag bei ChirurgInnen im Mittel 2 Stunden und 42 Minuten und ÄrztInnen der Inneren Medizin 3 Stunden und 15 Minuten beträgt. Während bei ChirurgInnen rund 2 Stunden auf patientenspezifische und etwa 42 Minuten auf administrative Dokumentation entfallen, kommen InternistInnen auf 155 Minuten patientenspezifische und 39 Minuten administrative Dokumentation (47).

Um eine bessere Datenqualität zu erhalten, muss also ein Weg gefunden werden, der bestehende Strukturen nicht zusätzlich belastet. Um die Compliance des Personals zu erhöhen, auf dessen Mitarbeit man unweigerlich angewiesen ist, ist es zusätzlich notwendig, sie zu überzeugen, dass neben der zukünftig verbesserten Datenqualität auch ein persönlicher Nutzen für Anwenderinnen und Anwender, welche täglich damit arbeiten müssen, entsteht. Neben positiven Effekten für Anwenderinnen und Anwender, steigert ein ideales Erhebungstool nicht nur die Qualität, sondern erleichtert der Forscherin/ dem Forscher auch den Zugang zu begehrten Daten. Ein standardisierter und automatisiert auswertbarer Fragebogen zu Erkrankungsgruppen, von PatientInnen in der häufig auftretenden Wartezeit bearbeitet, bietet meiner Meinung nach die oben genannten Vorteile. Nicht nur PatientInnen wird dabei das Gefühl einer stärkeren Beteiligung in der Diagnose und Therapiefindung vermittelt, sondern auch ärztliches Personal kann damit den Krankheitsverlauf bei mehreren stationären oder ambulanten Aufenthalten von PatientInnen besser beurteilen. Dies bietet besonders in Fällen, wo PatientInnen nicht immer von denselben ÄrztInnen behandelt werden, einen entscheidenden Vorteil. Durch eine automatisierte Auswertung können Daten zudem sofort graphisch beispielsweise in Diagrammen aufgearbeitet werden und stehen somit als Tool zur Veranschaulichung von Tendenzen zur Verfügung. Zusätzlich habe ich die feste Überzeugung, dass sich eine graphische Darstellung von Therapiefortschritten positiv auf die Compliance und Adhärenz von PatientInnen auswirkt. Der rasante technologische Fortschritt bietet mittlerweile Tools, die dazu eingesetzt werden können, Fragebögen direkt an einem digitalen Gerät zu erheben. Obwohl dazu primär eine hohe finanzielle Belastung in der Beschaffung entsteht, können Ergebnisse sofort eingespielt sowie eingesehen, der Datenschutz durch Verschlüsselung effizienter gewährleistet und Folgekosten, die durch umweltbelastende Papierherstellung und kostspieliges Personal, welches zum Einscannen der Fragebögen benötigt werden würde, vermieden werden. Dabei habe ich außerdem die Überzeugung, dass Papier mittelfristig durch digitale Lösungen im Gesundheitswesen abgelöst werden wird. Solche digitalen Devices dienen zugleich der Unterhaltung und tragen subjektiv zur Verkürzung der Wartezeit bei. Zu guter Letzt können Forscherinnen und Forscher im klinischen Setting mittels weniger Suchanfragen ohne mühsame Auswertung von Ambulanzakten oder Arztbriefen, hervorragend kategorisierte Daten abrufen.

## 5 Schlussfolgerung

In dieser Diplomarbeit konnte beim Vergleich der Symptomatik und der klinischen Zeichen zwischen Rezidiven und persistierenden Karpaltunnelsyndromen ein signifikant häufigeres Auftreten von Schmerzen bei letzterer Gruppe ermittelt werden. Daneben decken sich weitere Ergebnisse aus intraoperativ bestimmten Revisionsursachen weitestgehend mit denen bestehender Literatur.

Allein die Tatsache, dass von 53 PatientInnen bei 31 (58.5%) aufgrund von Narbenbildungen rezidivierende Beschwerden auftraten, führt die Wichtigkeit von Forschung zur Wundheilung und Narbenbildung vor Augen.

Durch die Limitationen, die sich aus einer retrospektiven Analyse ergeben und der kritisch zu bewertenden geringen Anzahl an PatientInnen, die in dieser Institution voroperiert wurden, war es nicht möglich, trotz dem möglichst exakten Ausblenden von normalen postoperativen Wundschmerzen, welche sich durch Palpation auslösen lassen, die Qualität der weiteren übermäßigen Schmerzen nach dem Eingriff näher zu analysieren. Wie in einigen Studien bereits angedeutet, ist besonders die Veränderung von prä- zu postoperativen Schmerzen in Kombination mit weiteren Beschwerden, die in ihrem Charakter gleich oder neu sein können, wegweisend für die richtige Diagnosefindung und das weitere therapeutische Procedere. Bestehende Literatur und weitere prospektiv angelegten Studien, die eine ausreichend hohe Zahl von PatientInnen aufweisen, können unserer Meinung nach herangezogen werden, um ein Tool oder Schema zur Diagnose und Therapiefindung zu erstellen. Dieses soll neben Symptomen und klinischen Zeichen auch Ergebnisse von Untersuchungen zur Nervenleitgeschwindigkeit sowie Bildgebungen einbeziehen und besonders deren zeitliche Veränderungen erfassen.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Silverstein BA, Fine LJ, Armstrong TJ. Occupational factors and carpal tunnel syndrome. *Am J Ind Med.* 1987;11(3):343–58.
2. Aroori S, Spence RA. Carpal tunnel syndrome. *Ulster Med J.* Jänner 2008;77(1):6–17.
3. Atroshi I, Gummesson C, Johnsson R, Ornstein E, Ranstam J, Rosén I. Prevalence of carpal tunnel syndrome in a general population. *JAMA.* 14. Juli 1999;282(2):153–8.
4. Steinberg DR. Surgical release of the carpal tunnel. *Hand Clin.* Mai 2002;18(2):291–8.
5. Badger SA, O'Donnell ME, Sherigar JM, Connolly P, Spence RAJ. Open carpal tunnel release--still a safe and effective operation. *Ulster Med J.* Jänner 2008;77(1):22–4.
6. Neligan P, Herausgeber. *Plastic surgery.* Fourth edition. London: Elsevier; 2018. 6 S.
7. Marlowe ES, Bonner FJ, Berkowitz AR. Correlation between two-point discrimination and median nerve sensory response. *Muscle Nerve.* September 1999;22(9):1196–200.
8. Hegmann KT, Merryweather A, Thiese MS, Kendall R, Garg A, Kapellusch J, u. a. Median Nerve Symptoms, Signs, and Electrodiagnostic Abnormalities Among Working Adults: *J Am Acad Orthop Surg.* August 2018;26(16):576–84.
9. Lee DH, Claussen GC, Oh S. Clinical Nerve Conduction and Needle Electromyography Studies: *J Am Acad Orthop Surg.* Juli 2004;12(4):276–87.
10. Waldeyer A, Anderhuber F, Herausgeber. *Waldeyer - Anatomie des Menschen: Lehrbuch und Atlas in einem Band ; [44 Tabellen].* 19., vollst. überarb. und aktualisierte Aufl. Berlin: de Gruyter; 2012. 1176 S. (De Gruyter Studium).
11. Yoshioka S, Okuda Y, Tamai K, Hirasawa Y, Koda Y. Changes in carpal tunnel shape during wrist joint motion. MRI evaluation of normal volunteers. *J Hand Surg Edinb Scotl.* Oktober 1993;18(5):620–3.
12. Trepel M. *Neuroanatomie: Struktur und Funktion ; [mit dem Plus im Web ; Zugangscod im Buch].* 5. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer; 2012. 420 S.
13. Mackinnon SE. Pathophysiology of nerve compression. *Hand Clin.* Mai 2002;18(2):231–41.
14. Baumeister RGH, Berger A, Herausgeber. *Extremitäten: mit 173 Tabellen.* Berlin: Springer; 2009. 669 S. (Plastische Chirurgie).
15. Wallesch C-W, Unterberg A, Dietz V, Herausgeber. *Neurotraumatologie [Internet].* Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2005 [zitiert 8. Jänner 2019]. Verfügbar unter: <http://www.thieme-connect.de/products/ebooks/book/10.1055/b-002-21525>

16. MARK G. BURNETT, M.D. ELZ MD. Pathophysiology of peripheral nerve injury: a brief review. *Neurosurg Focus*. Mai 2004;Volume 16.
17. ADRIAN R. M. UPTON AJM. THE DOUBLE CRUSH IN NERVEENTRAPMENT SYNDROMES. *THE LANCET*. 18. August 1973;359–61.
18. Mackinnon SE. Double and multiple „crush“ syndromes. Double and multiple entrapment neuropathies. *Hand Clin*. Mai 1992;8(2):369–90.
19. Lanz U. Anatomical variations of the median nerve in the carpal tunnel. *J Hand Surg*. Jänner 1977;2(1):44–53.
20. Poisel, S. Ursprung und Verlauf des R. muscularis des Nervus digitalis palmaris communis I (N. medianus),. *Chir Prax*. 1974;18:471–4.
21. Hobbs RA, Magnussen PA, Tonkin MA. Palmar cutaneous branch of the median nerve. *J Hand Surg*. Jänner 1990;15(1):38–43.
22. Bas H, Kleinert JM. Anatomic variations in sensory innervation of the hand and digits. *J Hand Surg*. November 1999;24(6):1171–84.
23. Henneberg M, George BJ. A further study of the high incidence of the median artery of the forearm in Southern Africa. :4.
24. Srivastava SK, Pande BS. Anomalous pattern of median artery in the forearm of Indians. *Acta Anat (Basel)*. 1990;138(3):193–4.
25. Pierre-Jerome C, Smitson RD, Shah RK, Moncayo V, Abdelnoor M, Terk MR. MRI of the median nerve and median artery in the carpal tunnel: prevalence of their anatomical variations and clinical significance. *Surg Radiol Anat*. März 2010;32(3):315–22.
26. Eid N, Ito Y, Shibata MA, Otsuki Y. Persistent median artery: Cadaveric study and review of the literature. *Clin Anat*. Juli 2011;24(5):627–33.
27. Kokkalis ZT, Tolis KE, Megaloikonos PD, Panagopoulos GN, Igoumenou VG, Mavrogenis AF. Aberrant Radial Artery Causing Carpal Tunnel Syndrome. *Arch Bone Jt Surg*. Juni 2016;4(3):282–4.
28. RICHARD J. SMITH. Anomalous Muscle Belly of the Flexor Digitorum Superficialis Causing Carpal-Tunnel Syndrome. *HE J BONE Jt Surg*. 6. September 1971;VOL. 53-A,.
29. Cartwright MS, Walker FO, Newman JC, Arcury TA, Mora DC, Chen H, u. a. Muscle Intrusion as a Potential Cause of Carpal Tunnel Syndrome. *Muscle Nerve*. Oktober 2014;50(4):517–22.
30. Jegal M, Woo SJ, Lee HI, Shim JW, Shin WJ, Park MJ. Anatomical Relationships between Muscles Overlying Distal Transverse Carpal Ligament and Thenar Motor Branch of the Median Nerve. *Clin Orthop Surg*. März 2018;10(1):89–93.

31. Baba H, Maezawa Y, Uchida K, Furusawa N, Wada M, Imura S, u. a. Cervical myeloradiculopathy with entrapment neuropathy: a study based on the double-crush concept. *Spinal Cord*. Juni 1998;36(6):399–404.
32. Chow CS, Hung LK, Chiu CP, Lai KL, Lam LN, Ng ML, u. a. Is symptomatology useful in distinguishing between carpal tunnel syndrome and cervical spondylosis? *Hand Surg Int J Devoted Hand Up Limb Surg Relat Res J Asia-Pac Fed Soc Surg Hand*. Juli 2005;10(1):1–5.
33. Tung TH, Mackinnon SE. Secondary carpal tunnel surgery. *Plast Reconstr Surg*. Juni 2001;107(7):1830–43; quiz 1844,1933.
34. 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 Edinb Scotl*. Februar 2006;31(1):68–71.
35. Assmus H, Dombert T, Staub F. [Reoperations for CTS because of recurrence or for correction]. *Handchir Mikrochir Plast Chir Organ Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft Handchir Organ Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft Mikrochir Peripher Nerven Gefasse Organ V*. Oktober 2006;38(5):306–11.
36. Jones NF, Ahn HC, Eo S. Revision surgery for persistent and recurrent carpal tunnel syndrome and for failed carpal tunnel release. *Plast Reconstr Surg*. März 2012;129(3):683–92.
37. Graham B, Regehr G, Naglie G, Wright JG. Development and Validation of Diagnostic Criteria for Carpal Tunnel Syndrome. *J Hand Surg*. Juli 2006;31(6):919.e1-919.e7.
38. What is the actual definition of carpal tunnel syndrome recurrence? Petra Brinskelle, Saskia Kotschar, Birgit Michelitsch, Daniel Georg Gmainer, David Benjamin Lumenta.
39. Kulick MI, Gordillo G, Javidi T, Kilgore ES, Newmayer WL. Long-term analysis of patients having surgical treatment for carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg*. Jänner 1986;11(1):59–66.
40. Raimbeau G. [Recurrent carpal tunnel syndrome]. *Chir Main*. September 2008;27(4):134–45.
41. Botte MJ, von Schroeder HP, Abrams RA, Gellman H. Recurrent carpal tunnel syndrome. *Hand Clin*. November 1996;12(4):731–43.
42. 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*. Juli 2013;132(1):114–21.
43. Zieske L, Ebersole GC, Davidge K, Fox I, Mackinnon SE. Revision Carpal Tunnel Surgery: A 10-Year Review of Intraoperative Findings and Outcomes. *J Hand Surg* [Internet]. August 2013 [zitiert 8. Dezember 2016];38(8). Verfügbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3838639/>

44. O'Malley MJ, Evanoff M, Terrono AL, Millender LH. Factors that determine reexploration treatment of carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg.* 1. Juli 1992;17(4):638–41.
45. Strasberg SR, Novak CB, Mackinnon SE, Murray JF. Subjective and employment outcome following secondary carpal tunnel surgery. *Ann Plast Surg.* Mai 1994;32(5):485–9.
46. Djerbi I, César M, Lenoir H, Coulet B, Lazerges C, Chammas M. Revision surgery for recurrent and persistent carpal tunnel syndrome: Clinical results and factors affecting outcomes. *Chir Main.* Dezember 2015;34(6):312–7.
47. Deutsche Krankenhaus Verlagsgesellschaft mbH,, Münsterstraße 169, 40476 Düsseldorf. Enormer Dokumentationsaufwand: Ergebnisse einer Untersuchung des Deutschen Krankenhausinstituts. *Deutsches Ärzteblatt* Jg 100. Heft 23. 6. Juni 2003;A 1581.

