

**Diplomarbeit**

**Operative Behandlungsmethoden des  
Karpaltunnelsyndrom**

eingereicht von

**Julian M. Jeserschek**

zur Erlangung des akademischen Grades

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

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Klinik für Plastische, Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie  
Universitätsklinik für Chirurgie Graz**

unter der Anleitung von

**Univ.-Prof. Dr. med. univ. Stephan Spendel**

**Dr. med. univ. Paul Wurzer, MMedSci**

Graz, am 24.08.2018

### *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 24.08.2018*

*Julian M. Jeserschek eh*

## Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei meinen beiden Betreuern Herrn Univ.-Prof. Dr. Stephan Spendel sowie Herrn Dr. Paul Wurzer, MMedSci bedanken, welche mir diese Arbeit und deren reibungslosen Ablauf ermöglichten und immer mit Rat und Tat zur Seite standen.

Natürlich auch meinem Freundeskreis inn- und außerhalb „der Medizin“ ein großes Danke. Ich durfte viel Freude, lehrreiche Momente, spannende Diskussionen und super Zeiten mit Euch erleben.

Außerdem ist mir besonders wichtig meiner Familie Danke zu sagen, für Zeit, Liebe und Unterstützung auf meinem bisherigen Lebensweg, sowohl während meiner Studienzeit, aber natürlich auch schon lange davor.

Danke!

## **Zusammenfassung**

Das Karpaltunnelsyndrom (KTS, CTS) stellt die häufigste Kompressionsneuropathie der peripheren Nerven dar. Die operative Therapie besteht in der Spaltung des Ligamentum carpi transversum, um in weiterer Folge den N. medianus, von der übermäßigen Kompression im Karpaltunnelkanal, zu befreien.

Traditionellerweise erfolgt die Karpaltunnelspaltung in einer offenen Methode, bei der, unter Sicht, das Ligament durchtrennt wird. Im Jahre 1989 wurde die Technik der endoskopischen Karpaltunnelspaltung erstmalig beschrieben. Mit diesem Verfahren erwartete man sich theoretisch einen besseren Outcome bezüglich postoperativer Schmerzen („pillar pain“), Heilungsdauer und Wiederaufnahme der gewohnten Arbeits- und Freizeittätigkeiten. Entgegen dieser Erwartungen zeigten Studien in den 1990er Jahren jedoch eine hohe Komplikationsrate (insbesondere inkomplette Spaltungen mit Revisionsoperationen als Folge, sowie Verletzungen von N. medianus Ästen). Neuere Vergleichsstudien und Übersichtsarbeiten zeigten hingegen gleichwertige Komplikationsraten der endoskopischen und offenen Methode zur Spaltung des Ligaments.

Ziel dieser Arbeit ist es, den aktuellen Stand der wissenschaftlichen Literatur im Sinne einer Übersichtsarbeit zu erstellen, sowie gegebenenfalls neue Erkenntnisse im Vergleich zwischen offener und endoskopischer Operationsmethode zu analysieren.

### **Methoden**

Die Literaturrecherche erfolgte im Mai 2018 und umfasste die Datenbanken von PubMed, Web of Science und CITHAL. Abhängig von der jeweiligen Plattform wurde die Strategie entwickelt, um zu Beginn möglichst viele Einschlüsse zum Thema KTS und dessen chirurgischen Behandlung, insbesondere dem Vergleich der offenen gegenüber der minimal-invasiven Operationstechnik, zu generieren. Weiteres wurden alle Ergebnisse in eine Tabelle extrahiert, nach Qualität (Level of Evidence, LOE I) sowie Duplikaten gefiltert. Im Anschluss wurden Suchtermen generiert, um rein vergleichende Studien der vergangenen 10 Jahre zu erhalten.

### **Resultate**

Eine Vielzahl, der ursprünglich 236 erhobenen Resultate aller drei Datenbanken, wurde beim ersten Schritt, dem Ausschluss von Duplikaten sowie der Filterung nach den 5 spezifischen

Suchtermen, ausgeschlossen. Schlussendlich ergaben sich 36 Arbeiten, welche einer weiteren Filterung nach lediglich klinischen Studien und Qualität, insbesondere LOE I, sowie dem Ausschluss von Reviews, Meta-Analysen und Artikeln unterzogen wurden. Demnach reduzierte sich die Anzahl auf 6 Studien. Zum Ende konnten 5 klinische Studien, welche den Einschlusskriterien entsprachen und ein LOE I aufwiesen, in die Bewertung eingeschlossen werden.

## **Diskussion**

Die Ergebnisse zahlreicher Studien in den Jahren vor 2008, sowie die hier behandelten der vergangenen 10 Jahre deuten auf eine schnellere Rehabilitation und bessere Kraftsituation in der frühen postoperativen Phase der endoskopischen Methoden hin. Jedoch sind diese Unterschiede, nach spätestens sechs Monaten postoperativ, in den allermeisten Erhebungen nicht mehr erkennbar.

Sowohl die endoskopischen Verfahren als auch die offenen Varianten haben ihre jeweiligen Vor- und Nachteile. Es scheint nach wie vor keine eindeutig überlegene Variante zu geben. Vielmehr müssen die Faktoren der jeweiligen Technik individuell abgewogen und in die Aufklärung der Patientinnen und Patienten dementsprechend einbezogen werden.

Zusammenfassend scheint klar zu sein, dass hier eine Notwendigkeit für weitergehende Studien besteht und zwar mit einheitlicheren Kriterien, welche genauere Kostenanalysen sowie detaillierte Komplikationsraten enthalten und den Einfluss der persönlichen Fertigkeit des durchführenden Chirurgen oder der Chirurgin miteinbeziehen.

## **Abstract**

The Carpal Tunnel Syndrome (KTS, CTS) is the most common peripheral nerve compression neuropathy. Operative therapy consists of cutting the palmar carpal ligament to subsequently release the median nerve of excessive compression in the carpal tunnel.

Traditionally, the carpal tunnel release can be divided into two surgical methods. An open method, in which, under view, the ligament is transacted. There is also the technique of the endoscopic carpal tunnel release, which was described for the first time in 1989. Theoretically, this method was expected to yield a better outcome in terms of postoperative pain ("pillar pain"), healing time, and resumption of daily activities and work. Contrary to these expectations, however, studies in the 1990s showed a high complication rate (incomplete divisions with revision surgery as a consequence, as well as injuries of median nerve branches). Recent comparative studies and reviews, however, showed equivalent complication rates between the endoscopic and open method of sectioning the ligament.

The aim of this systematic review was to compile the current state of scientific literature. As well as possibly to analyse new findings in comparison between the open and endoscopic technique.

## **Methods**

The literature research was performed in May 2018 and included the databases of PubMed, Web of Science and CITHAL. Depending on the respective platform, the strategy was developed to initially generate as many inclusions as possible on the subject of CTS and its surgical treatment, in particular the comparison of the open versus the endoscopic surgical technique. Furthermore, all results were extracted into a spread sheet, filtered by quality (Level of Evidence, LOE I) and duplicates. Subsequently, search terms were generated to obtain purely comparative studies within the last 10 years.

## **Results**

A large number of the original 236 results from all three databases were excluded in the first step, which included the exclusion of duplicates and the filtering according to the 5 specific search terms. Finally, 36 manuscripts met the inclusion criteria and were sorted according to their level of evidence. Reviews and articles with meta-analyses were also excluded.

Accordingly, the number has been reduced to 6 studies. At the end, 5 clinical studies that met the inclusion criteria and had LOE I could be included in this review.

## **Discussion**

The results of numerous studies in the years prior to 2008, as well as those which are discussed here over the past 10 years, point to a faster rehabilitation and better strength situation in the early postoperative phase of the endoscopic method. However, these differences, were no longer recognizable in most surveys after six months postoperatively at the latest.

Both the endoscopic procedures and the open technique show their respective advantages and disadvantages. There still seems to be no clear evidence, which methods has to be used. Rather, all factors of both techniques must be put into consideration and should be involved into the patient's information dialogue.

Altogether, it seems clear that there is a need for further prospective randomized controlled trials. With more consistent criteria, which involves additionally more accurate cost evaluation and further detailed complication rates analyses and, moreover, includes the surgeons experience in terms of personal practical skills.

# Inhaltsverzeichnis

Danksagungen .....	iii
Zusammenfassung .....	iv
Abstract.....	vi
Inhaltsverzeichnis .....	viii
Glossar und Abkürzungen .....	x
Abbildungsverzeichnis .....	xi
Tabellenverzeichnis .....	xii
1 Einleitung .....	13
1.1 Definition des Karpaltunnelsyndroms .....	13
1.2 Geschichte.....	13
1.3 Die Anatomie des Handgelenks.....	14
1.3.1 Allgemeiner Teil.....	14
1.3.2 Spezieller Teil.....	26
1.4 Das Karpaltunnelsyndrom – Ein Überblick.....	29
1.4.1 Epidemiologie.....	29
1.4.2 Definition.....	29
1.4.3 Ätiologie .....	30
1.4.4 Pathogenese .....	31
1.5 Medizinische Versorgung des CTS .....	33
1.5.1 Klinik.....	33
1.5.2 Diagnostik.....	35
1.5.3 Behandlung des KTS .....	42
2 Material und Methoden .....	49
2.1 Aufbau .....	49
2.1.1 Technischer Überblick.....	49
2.1.2 Organisation und Filter.....	50

2.1.3	Schema Suchstrategie .....	53
3	Resultate .....	54
3.1.1	Überblick der einzelnen Studien .....	55
3.1.2	Resultate – Details .....	65
4	Diskussion .....	67
4.1	Ausschlussgründe – Meta-Analyse.....	67
4.2	Signifikanz, Unterschiede .....	67
4.3	Kritikpunkte und Qualität der Studien.....	69
5	Conclusio .....	71
	Literaturverzeichnis .....	73

## Glossar und Abkürzungen

A.	Arteria
Aa.	Arteriae
Abb.	Abbildung
CTS	Carpal Tunnel Syndrome
CTS-SSS	Carpal Tunnel Syndrome Symptom Severity Scale
CTS-FSS	Carpal Tunnel Syndrome Functional Status Scale
Dig.	Digitus
DIP	Distales Interphalangen-Gelenk
ECTR	Endoscopic carpal tunnel release
EMG	Elektromyographie
FU	Follow-Up
HHB	Hohlhandbogen
KTS	Karpaltunnelsyndrom
Lig.	Ligamentum
LOE	Level of evidence
M.	Musculus
Mb.	Morbus
MCP	Metacarpophalangen-Gelenk
Mesh	Medical Subject Headings
Mm.	Musculi
MRT	Magnetresonanztomographie
N.	Nervus
Nn.	Nervi
NLG	Nervenleitgeschwindigkeit
OCTR	Open carpal tunnel release
PIP	Proximales Interphalangen-Gelenk
R.	Ramus
Rr.	Rami
TFCC	Triangular fibrocartilage complex (Discus triangularis)
US	Ultraschall
V.	Vena
Vv.	Venae
VAS	Visual analogue scale

# Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1: James Paget, Portrait</i> .....	13
<i>Abb. 2: Überblick über Handgelenk und Handwurzelknochen</i> .....	14
<i>Abb. 3: Palma manus und Regio carpalis anterior</i> .....	20
<i>Abb. 4: N. medianus, Schema Unterarm und Hand</i> .....	21
<i>Abb. 5: Tiefer Hohlhandbogen und abzweigende Äste</i> .....	24
<i>Abb. 6: Karpalkanal, Schnitt transversal</i> .....	27
<i>Abb. 7: Topographie des Lig. carpi transversum</i> .....	28
<i>Abb. 8: Schema Tinel-Zeichen</i> .....	37
<i>Abb. 9: Schema Phalen Manöver</i> .....	38
<i>Abb. 10: Beispiel des Aufbaus einer elektrophysiologischen Diagnostik</i> .....	40
<i>Abb. 11: Übersicht über die üblichen operativen Varianten</i> .....	45
<i>Abb. 12: Offene Technik, Schema</i> .....	46
<i>Abb. 13: Monoportale Technik, Schema: Bsp. Centerline™</i> .....	48
<i>Abb. 14: Biportale Technik, Schema</i> .....	48
<i>Abb. 15: Screenshot, PubMed Suche</i> .....	50
<i>Abb. 16: Screenshot, WoS Suche</i> .....	51
<i>Abb. 17: Screenshot, CITHAL Suche</i> .....	52
<i>Abb. 18: Suchstrategie, Schema</i> .....	53

# Tabellenverzeichnis

<i>Tab. 1: Fünf Schritte in der Diagnostik bei Parästhesien</i> .....	36
<i>Tab. 2: Einteilung der Schweregrade anhand des Tunnelquerschnittes</i> .....	41
<i>Tab. 3: Konservative Behandlungsmöglichkeiten, Überblick (Auswahl)</i> .....	43
<i>Tab. 4: Chirurgische Techniken, Überblick</i> .....	45
<i>Tab. 5: Suchterme, Filter Pubmed</i> .....	50
<i>Tab. 6: Suchterme, Filter WoS</i> .....	51
<i>Tab. 7: Suchterme, Filter CITHAL</i> .....	52
<i>Tab. 8: Kurzer Überblick über die Resultate</i> .....	54
<i>Tab. 9: Endpunkte, Sreejith</i> .....	56
<i>Tab. 10: Endpunkte, Gümüstas</i> .....	58
<i>Tab. 11: Endpunkte, Michelotti</i> .....	60
<i>Tab. 12: Endpunkte, Ejiri</i> .....	61
<i>Tab. 13: Endpunkte, Aslani</i> .....	63
<i>Tab. 14: Resultate – Details</i> .....	65
<i>Tab. 15: Resultate – Funktionelle Parameter / Auswertung</i> .....	66
<i>Tab. 16: Resultate – Symptomatische Parameter / Auswertung</i> .....	66

# 1 Einleitung

## 1.1 Definition des Karpaltunnelsyndroms

Im Allgemeinen kann man das Karpaltunnelsyndrom als symptomatisch, neuropathische Kompression des N. medianus bezeichnen, welches sich in einer Kombination aus erhöhtem Druck innerhalb des Karpalkanals einerseits und eingeschränkter Funktion des Nervens andererseits manifestiert. Dazu treten Schmerzen, Taubheit sowie Parästhesien und muskuläre Dysfunktionen auf. Die verschiedensten Bedingungen, Krankheiten und Ereignisse können als Ursache in Frage kommen. (1)

## 1.2 Geschichte

Das Gefühl von „Taubheit und Missempfindungen“ wurde bereits Ende des 19. Jahrhunderts in der Literatur diskutiert. Die erste Beschreibung des Karpaltunnelsyndroms wird dem englischen Chirurgen James Paget (1814-1899), Abb. 1 (2), zugeschrieben, welcher über einen Fall von Kompression des N. medianus als Folge einer distalen Radius Fraktur, im Jahre 1954, berichtete (3). Bereits im Jahre 1913, stellten Marie und Foix, im Rahmen von Autopsie Untersuchungen, nicht verletzungsbedingte Atrophien der Thenar Muskulatur in Kombination mit Neuromen des N. medianus proximal des Lig. transversum carpi fest. Infolgedessen wurde damals schon die chirurgische Dekompression des N. medianus im Rahmen einer Durchtrennung des Lig. transversum carpi empfohlen, um eine Schädigung der Daumenmuskulatur zu verhindern. (4)

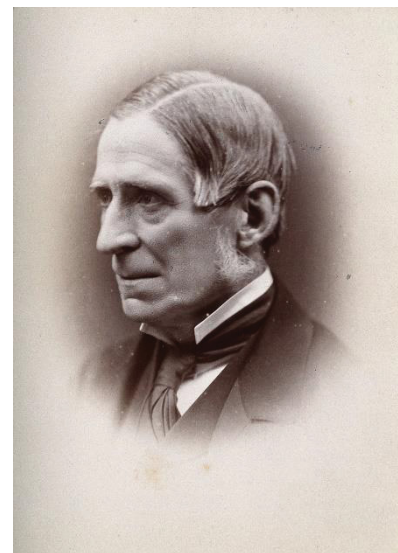


Abb. 1: James Paget, Portrait\*

\*die exakte Quellenangabe dieser Abb. sowie aller weiteren, erfolgte über Fußnoten und das Literaturverzeichnis

## 1.3 Die Anatomie des Handgelenks

### 1.3.1 Allgemeiner Teil

#### 1.3.1.1 Knochen und Gelenke

Die knöchernen Bestandteile der Hand gliedern sich einerseits in den Teil der Handwurzel, bestehend aus den acht Handwurzelknochen, sowie andererseits in die jeweiligen Fingerknochen mit ihren metacarpalen und phalangealen Anteilen.

Jene acht Knochen der Handwurzel sind anatomisch in zwei Reihen angelegt, wobei die proximale der beiden mit den Unterarmknochen Radius und Ulna artikuliert und die distale mit den Metacarpalia I-V in Verbindung steht. Zwischen den beiden Handwurzelreihen besteht eine interossäre gelenkige Verbindung.

Das Handgelenk selbst besteht einerseits aus dem proximalen Handgelenk (Articulatio radiocarpalis) zwischen distalem Unterarm (Radius) und proximaler Handwurzelreihe (Os scaphoideum, Os lunatum, Os triquetrum) und andererseits aus dem distalen Handgelenk (Articulatio mediocarpalis) welches aus der gelenkigen s-förmigen Verbindung zwischen der proximalen und distalen Handwurzelreihe (Os trapezoideum, Os capitatum, Os hamatum) liegt. Beide Gelenke sind als Ellipsoidgelenke zu betrachten. Die distale Ulna ihrerseits ist vom Os triquetrum durch den Discus articularis getrennt. (5-8)

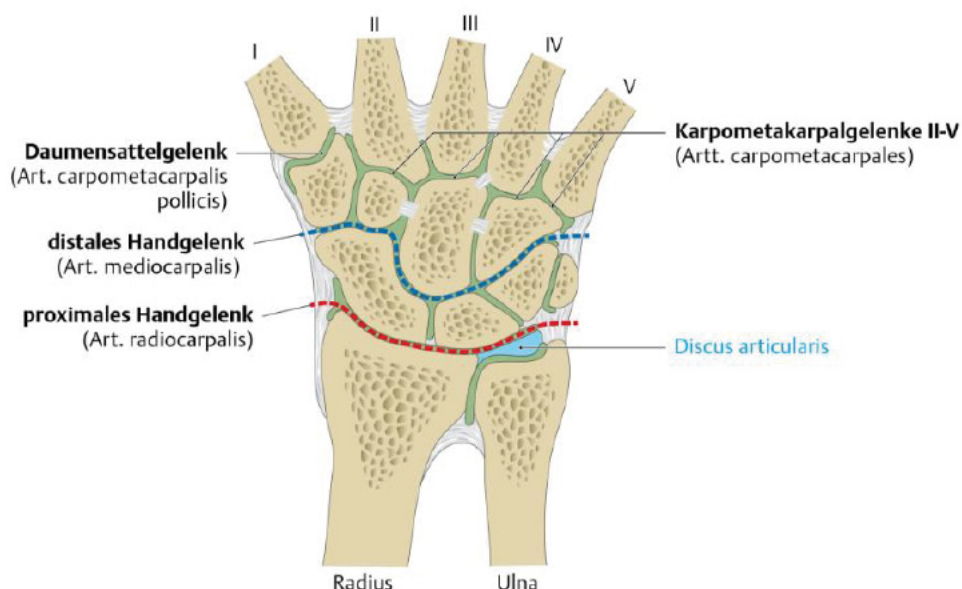


Abb. 2: Überblick über Handgelenk und Handwurzelknochen

(9)

## 1.3.1.2 Muskeln und Sehnen

### 1.3.1.2.1 *Ventrale Flexoren*

Die „Regio antebrachii anterior“ lässt sich grundsätzlich in 3 Schichten einteilen: eine oberflächliche, Zwischenschicht und eine tiefe. Die hier verlaufenden Muskeln werden vom N. medianus bzw. N. ulnaris innerviert.

#### **Oberflächliche Schicht (1. Schicht), bestehend aus:**

- M. flexor carpi radialis
- M. flexor carpi ulnaris
- M. palmaris longus
- M. pronator teres

Im Wesentlichen haben alle Muskeln der 1. Schicht am Epicondylus medialis humeri einen gemeinsamen Ursprung und sind hauptsächlich für die Beugung verantwortlich, jedoch besitzen sie ebenso, aufgrund des nach distal-radial zeigenden Verlaufs, eine pronierende Komponente. Alle Muskeln dieser Schicht, mit Ausnahme des M. pronator teres verlaufen zum Ansatz distal in die Hand.

#### **Zwischenschicht (2. Schicht), bestehend aus:**

- M. flexorum digitorum superficialis

Dieser große zweiköpfige Muskel der 2. Schicht im anterioren Teil des Unterarms ist von der ersten Schicht nur durch eine leichte Bindegewebeschicht getrennt und wird vom N. medianus innerviert.

Der eine Kopf, caput humerale, entspringt am Epicondylus medialis humeri während der andere, caput radiale, an der distalen Tuberositas des Radius entspringt. Unter diesen beiden Köpfen kreuzen der N. medianus sowie die A. und V. ulnaris, während die Köpfe darüber durch einen „Sehnenbogen“ verbunden sind.

Im weiteren Verlauf nach distal teilt sich der M. flexorum digitorum superficialis in vier Sehnen auf, die auf Höhe des Handgelenks durch den Karpalkanal durch die Vagina tendinum communis musculorum flexorum ziehen, eine der drei palmaren carpalen Sehnencheiden. Und ziehen weiter in die Hand zu den jeweiligen Ansätzen der seitlichen Ränder der Mittelphalangen der Zeige-, Mittel-, Ring- und kleinem Finger. Vor der Insertion

ebendort erfolgt eine Teilung über den Grundphalangen. Durch den dadurch entstandenen Spalt („M. perforatus“) ziehen jeweils die Sehnen des M. flexor digitorum profundus („M. perforans“).

Funktionell erlaubt der M. flexor digitorum superficialis in den proximalen Phalangen sowie im Handgelenk eine starke Flexionsbewegung sowie eine schwache im Ellbogengelenk.

### **Tiefe Schicht (3. Schicht)**

- M. flexor digitorum profundus (FDP)
- M. flexor pollicis longus (FPL)
- M. pronator quadratus (PQ) - wird in manchen Einteilungen als 4. Schicht dargestellt

Die drei Muskeln der 3. Schicht entspringen jeweils von den palmaren Seiten von Ulna und Membrana interossea (FDP), Radius und M. interossea (FPL) und Ulna (PQ). Während die Insertion der beiden langen Flexoren nach dem Durchtritt durch den Karpalkanal an den Basen der distalen Phalangen der Finger II-V (FDP) und des Daumens (FPL) erfolgt, ergibt sich beim M. pronator quadratus eine eher flache Beschaffenheit und erfolgt dessen Insertion, nahe und gegenüber des Ursprungs, am Radius (PQ) (10).

Die Innervation erfolgt durch N. medianus und ulnaris (FDP) sowie durch den N. medianus (FPL und PQ).

Von der Funktion führt FDP eine Flexion in Hand-, Fingergrund-, Mittel- und Endgelenken durch, FPL ebenso eine Flexion in Daumengrund- und Endgelenk, sowie eine Opposition und eine Radialduktion im Handgelenk. Der PQ ist für eine Pronationsbewegung zuständig.

#### ***1.3.1.2.2 Dorsale Extensoren und Brachioradiale Gruppe***

Die Regio antebrachii posterior befindet sich an der Streckseite des Unterarms und wird in zwei Schichten von Extensoren unterteilt: eine oberflächliche und tiefe Schicht sowie die brachioradiale Gruppe. Alle Muskeln der dorsalen Gruppe haben mit dem N. radialis eine gemeinsame Innervation.

### **Oberflächliche Schicht**

- M. extensor digitorum, M. extensor digiti minimi, M. extensor carpi ulnaris, M. anconaeus

Die Muskeln der oberflächlichen Schicht haben einen gemeinsamen Ursprung am Epicondylus lat. humeri des Oberarmknochens und ziehen in Sehnenscheiden verlaufend durch die sechs Strecksehnenfächer über den Handgelenksrücken, während sich darüber das Retinaculum extensorum spannt.

Die Nummerierung der sechs Strecksehnenfächer (SSF) erfolgt von radial (I.) nach ulnar (VI.). Im ersten SSF verlaufen die Sehnen des M. abductor pollicis longus und des M. extensor pollicis brevis, im zweiten die des M. extensor carpi radialis longus und des M. extensor carpi radialis brevis. Im dritten liegt die Sehne des Musculus extensor pollicis longus und gleich daneben verlaufen die Sehnen des M. extensor digitorum sowie des M. extensor indicis im vierten SSF. Weiters im fünften die des M. extensor digiti minimi und im am weitesten ulnar gelegenen sechsten schlussendlich die des M. extensor carpi ulnaris.

### **Tiefe Schicht**

- M. abductor pollicis longus, M. extensor pollicis longus, M. extensor pollicis brevis, M. extensor indicis, M. supinator

Bis auf die Ausnahmen des M. supinator, haben alle Muskeln der tiefen Schichte einen gemeinsamen Ursprung an der dorsalen Seite von Ulna, Radius und Membrana interossea und ziehen an verschiedene Ansatzpunkte, je nach Funktion, der Finger.

### **Brachioradiale Gruppe**

- M. extensor carpi radialis longus, M. extensor carpi radialis brevis, M. brachioradialis

Die ersten beiden sind jeweils funktionell auch am Handgelenk beteiligt. Die beiden Extensoren setzen am Epicondylus lat. humeri an und ziehen zu den Fingern nach distal. Während der M. extensor carpi radialis longus dorsal an der Basis des zweiten Metakarpalknochens ansetzt, hat der kürzerer M. extensor carpi radialis brevis seinen Ansatz an der Basis des dritten Metakarpalknochens. Beide dienen der Flexion im Ellbogen sowie einer Streckung und Radialduktion im Handgelenk. Die Innervation erfolgt bei beiden durch den N. radialis.

Der Vollständigkeit halber sei auch der M. brachioradialis erwähnt, welcher von seinem Ursprung am Humerus zum Ansatz am Processus radii zieht und den Unterarm in eine

Mittelstellung versetzt, als auch bei proniertem Arm eine Beugerfunktion ausüben kann. Innerviert wird der M. brachioradialis durch die Rr. musculares nervi radialis. Zusätzlich wird diese dorsale Gruppe von einer eigenen Faszie „eingehüllt“ und bildet eine Art Abtrennung zwischen der dorsalen und anterioren Gruppe.

### ***1.3.1.2.3 Kurze Handmuskeln***

Im Grunde können hier 3 Gruppen von kurzen Handmuskeln unterschieden werden, welche zusammen durch den Daumenballen (Thenar) und Kleinfingerballen (Hypothenar) die Vertiefung der Hohlhand formen. Ohne Ausnahme werden sie unterschiedlich von N. medianus und ulnaris innerviert.

- 4 Thenarmuskeln (Daumenballenmuskeln)
- 3 mittlere Handmuskeln
- 4 Hypothenarmuskeln (Kleinfingerballenmuskeln)

### **1.3.1.3 Innervation**

Sowohl die motorische als auch sensible Komponente werden von den drei Hauptnerven der Hand versorgt: N. medianus, N. radialis und N. ulnaris.

#### ***1.3.1.3.1 N. medianus***

Einer der fünf Hauptnerven, die dem Plexus brachialis entspringen, ist der N. medianus. Er enthält Fasern aller fünf Segmente (C5-Th1) und versorgt viele Muskeln des Unterarms und der Hand und führt sowohl sensible als auch motorische Fasern. Allumfassend bezüglich seiner Versorgung kann festgestellt werden, dass der N. medianus alle Flexoren der palmaren Seite des Unterarms innerviert, mit Ausnahme des M. flexor carpi ulnaris und dem medialen Anteil des M. flexor digitorum profundus.

Er verläuft zunächst anteromedial am Oberarmknochens entlang und zieht weiter zwischen M. brachialis und M. biceps brachii nach distal.

Zu Beginn liegt er lateral der A. brachialis und überkreuzt diese im Verlauf sodass er Richtung Ellbogengelenk medial an dieser zu liegen kommt. Bis zur Ellenbeuge, wo er sich von der A. brachialis trennt und Richtung radial zieht, gibt er keinerlei Äste in die Axilla oder den Oberarm ab.

Im Ellbogen verläuft er in die Fossa cubitalis und durch die beiden Köpfe des M. pronator teres hindurch („Pronatorschlitz“) um zwischen den Köpfen des M. flexorum digitorum superficialis nach distal zu verlaufen. Variierend kann es vorkommen, dass der Verlauf

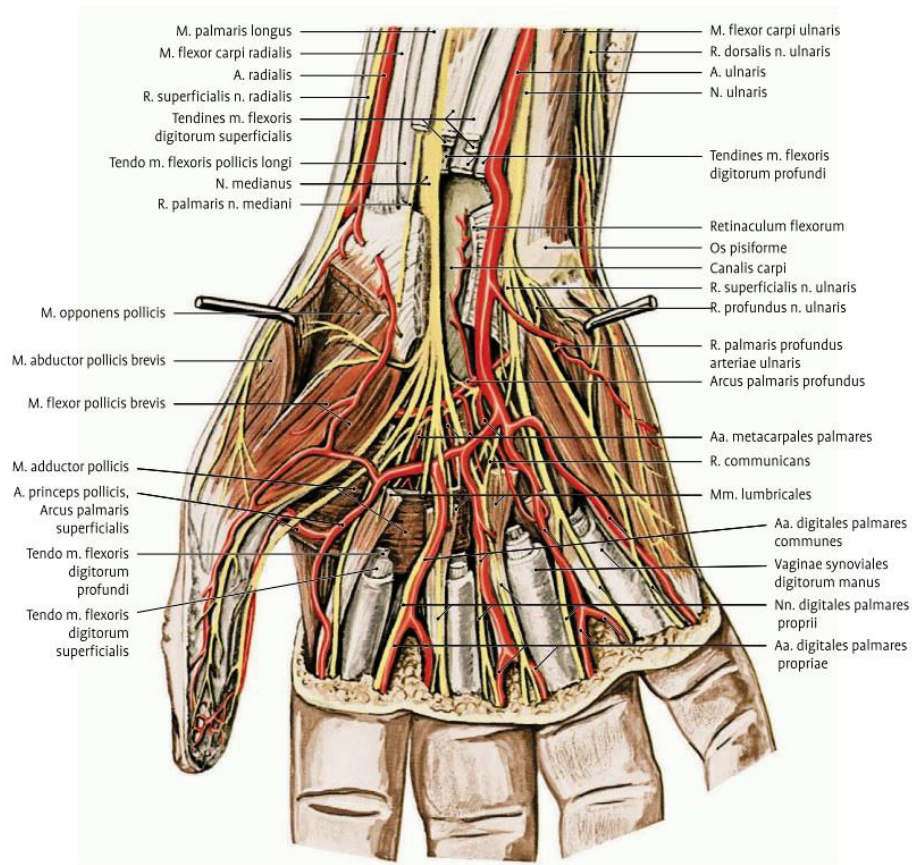
entweder posterior der beiden Köpfe des M. pronator teres oder überhaupt direkt durch den humeralen Kopf hindurch verläuft (11).

Hier gibt er seinen größten Ast des Unterarms ab (N. interosseus anterior), der zusammen mit der A. interossea anterior in der vorderen Zwischenknochenstraße auf der Membrana interossea Richtung Handgelenk zieht. Er versorgt auf seinem Weg die folgenden Muskeln: M. flexor pollicis longus, M. flexor digitorum profundus (laterale Hälfte) und M. pronator quadratus.

Auf der von ihm gebildeten „Medianusstraße“ Richtung Handgelenk gibt er im distalen Unterarm, knapp vor dem Retinaculum musculorum flexorum, einen sensiblen Ast ab: den R. palmaris n. mediani, welcher über dem Retinaculum in die Holhand zieht und dort die Haut zentral aber auch über dem Ballen versorgt. Dieser Ast ist beim „Karpaltunnelsyndrom“ nicht symptomatisch betroffen, da eben oberflächlich über dem Retinaculum verlaufend.

Bevor er sich im Karpalkanal in seine terminalen Fasern, die Rr. Musculares und Nn. digitales palmares communes aufteilt, tritt er aus der Tiefe, zwischen den beiden Köpfen des M. flexor digitorum hervor, wird oberflächlicher und gelangt lateral der Sehne des M. palmaris longus in den Karpaltunnel.

Bei seinem Eintritt zeigt er eine mittlere Breite von 6,0 mm und endet diese beim Ausgang im Mittel bei 7,7 mm. Im Gegensatz dazu verhält es sich mit der Dicke genau umgekehrt. Im Verlauf von proximal nach distal ist eine Abnahme zu verzeichnen: 2,1 mm nach 1,9 mm (12).



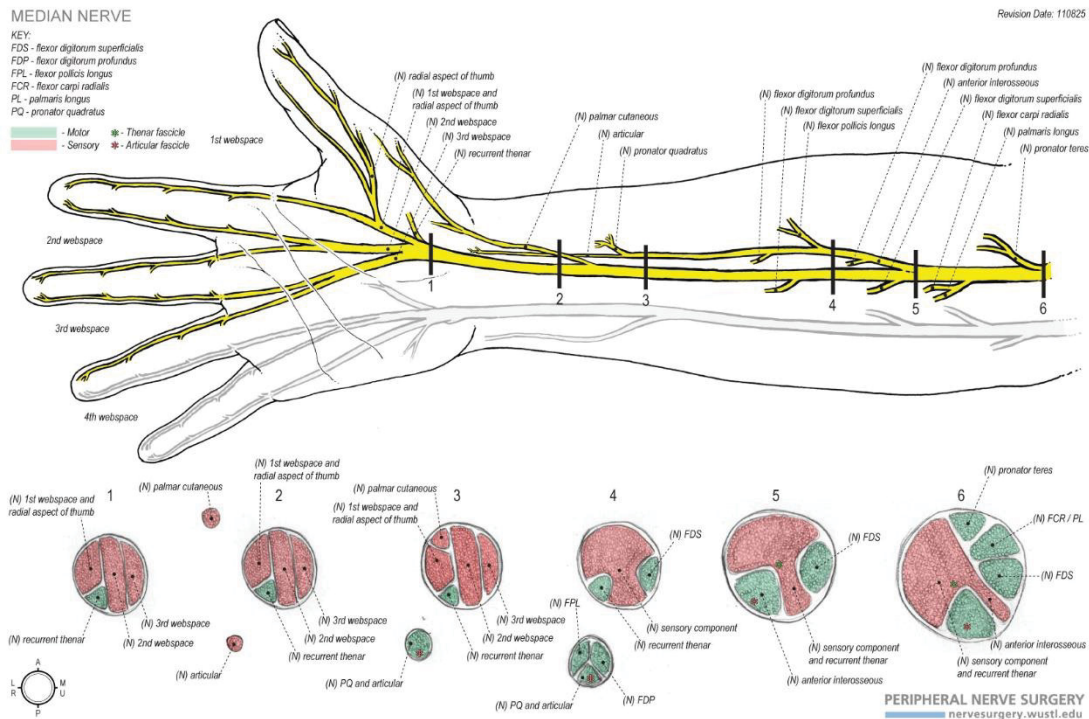
**Abb. 3: Palma manus und Regio carpalis anterior**

(13)

Die Nn. digitales palmares communes (Versorgung der Mm. Lumbricales I, II und (III)) teilen sich, auf Höhe der Handwurzel, fächerförmig in Richtung der radialen dreieinhalb Finger auf, versorgen sensibel, und gehen über in die Nn. digitales palmares proprii für die sensible distale Versorgung.

Als motorischer Ast, geht nach durchtreten des Retinaculums, der R. thenaris (früher: R. recurrens n. medianii) zu den von ihm versorgten Daumenballenmuskeln: M. abductor pollicis brevis, M. flexor pollicis brevis (oberflächlicher Kopf) und M. opponens pollicis. Dementsprechend verbleibend, werden der tiefe Kopf des M. flexor pollicis brevis sowie der M. adductor pollicis vom N. ulnaris versorgt.

Dieser motorische Abgang ist in der Handchirurgie besonders bedeutsam, da nicht zu selten Variationen zu beobachten sind und dieser dadurch bei chirurgischen Eingriffen gefährdet ist.



**Abb. 4: N. medianus, Schema Unterarm und Hand**  
(14)

Weiters befindet sich auf Höhe der Metacarpalia II-V eine Verbindung zwischen den Nn. digitales palmares communes und dem N. ulnaris, welche als R. communicans bezeichnet wird.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der N. medianus an der Hand sensibel die palmaren dreieinhalb radialen Finger und mit dem R. palmaris n. mediani den Daumenballen versorgt. (8, 10, 11)

### 1.3.1.3.2 N. radialis

Dieser entwickelt sich aus dem posterioren Strang des Plexus brachialis (C6-Th1) und befindet sich beim Eintritt in den Oberarm posterior zur A. brachialis. In weiterer Folge verläuft er schraubenförmig, zunächst im Canalis radii, zusammen mit der A. profunda um den Oberarmknochen nach distal – diagonal von medial nach lateral auf der Rückseite des Oberarms.

Erreicht den Unterarm vor dem Epicondylus lateralis humerii und zwischen den beiden Muskeln M. brachioradialis und M. brachialis wo er sich in seine Endäste aufteilt.

Hier verläuft der eine, rein sensible, Ast – R. superficialis nervi radialis, zusammen mit der A. radialis, unter dem M. brachioradialis in die „radiale Gefäß-Nerven-Straße“. Gegen Ende des distalen Drittels gelangt er unter dem M. brachioradialis an die Dorsalseite, um dort seine sensible Aufgabe, aufgeteilt in fünf N. digitales dorsales, am Handrücken, für die Streckseiten der zweieinhalb radialen Finger, zu erfüllen. Zusätzlich besteht mit dem R. communicans ulnaris eine Verbindung mit dem R. dorsalis n. ulnaris.

Der andere, größtenteils motorische, Ast – R. profundus nervi radialis, windet sich zwischen den Supinator Köpfen durch den „Supinatorkanal“ um die Muskeln des hinteren Extensoren Kompartements zu versorgen und sich zum N. interosseus posterior zu entwickeln. Gemeinsam mit der A. interossea posterior bildet er ebendort die „dorsale interossäre Gefäß-Nerven-Straße“. Dieser innerviert am Weg zum Handgelenk die verbleibenden Extensoren und ebenso die Kapsel, und teilt sich in seine terminalen Endäste auf.

#### ***1.3.1.3.3 N. ulnaris***

Auch dieser entspringt dem medialen Strang des Plexus brachialis und enthält Fasern von C8-Th1. Er besitzt sowohl motorische als auch sensorische Aufgaben und tritt medial in den Oberarm ein, verläuft medial der A. brachialis und durchtritt das Septum musculare brachii mediale um in weiterer Folge auf die Streckseite zu gelangen. In Folge verläuft er in Richtung Ellbogen im Sulcus n. ulnari humeri und gut tastbar posterior am Epicondylus medialis humeri vorbei wieder auf die Beugeseite zwischen den Köpfen des, ebenso von ihm innervierten, M. flexor carpi ulnaris hindurch – dem Caput humerale sowie Caput ulnare. Gemeinsam mit den Vasa ulnaria, nach distal ziehend, bildet er die „ulnare Gefäß-Nerven-Straße“, welche unter dem M. flexor carpi ulnaris verläuft. Auf selber Höhe, im ersten Drittel des Unterarms werden zwei Äste abgegeben – einerseits der R. dorsalis n. ulnaris, der nach dorsal verläuft, sich in die fünf Nn. Digitales dorsales für die zweieinhalb dorso-ulnaren Finger aufteilt und andererseits den R. palmaris n. ulnaris, welcher bis zentral über der Hohlhand zieht und dort die ulnare Handwurzel versorgt.

In den distalen beiden Drittel des Unterarms liegt der N. ulnaris medial zur A. ulnaris, die beide gemeinsam die Hand erreichen und zusammen über dem Retinaculum flexorum, gleich lateral zum Os pisiforme vorbei durch die Guyon'sche Loge ziehen. Sogleich nach dem Os pisiforme gibt es bereits meist eine Aufteilung in zwei Äste.

Zum einen, den vorwiegend motorischen, R. profundus – Innervation der Hypothenarmuskulatur, beider ulnarer Mm. lumbricales III und VI, Mm. interossei palmares und dorsales, M. adductor pollicis sowie des tiefen Kopfes des M. flexor pollicis brevis. Zum anderen der, überwiegend sensible Ast, R. superficialis, welcher den M. palmaris brevis innerviert und ansonsten die Hautareale palmar über dem Kleinfinger sowie den medialen Anteil des Ringfingers versorgt.

#### **1.3.1.4 Gefäße**

Die arterielle Gefäßversorgung der Hand wird grundsätzlich durch die beiden Arterien des Unterarms sichergestellt. A. radialis und ulnaris, welche sich in den beiden sogenannten Hohlhandbögen (tiefer und oberflächlicher HHB) im Handballenbereich miteinander verbinden und im Verlauf aus A. brachialis (Ellbogen, Oberarm), A. axillaris (Achselregion) und A. subclavia (Schulterbereich) versorgt werden.

Die Aufteilung der A. brachialis in die A. radialis und A. ulnaris erfolgt im Bereich der Ellenbeuge, lateralisiert über Ulna und Radius. Sogleich nach der Aufteilung werden mehrere Äste abgegeben sowohl nach distal (A. interossea communis) als auch nach proximal (Aa. Recurrens radialis et ulnaris).

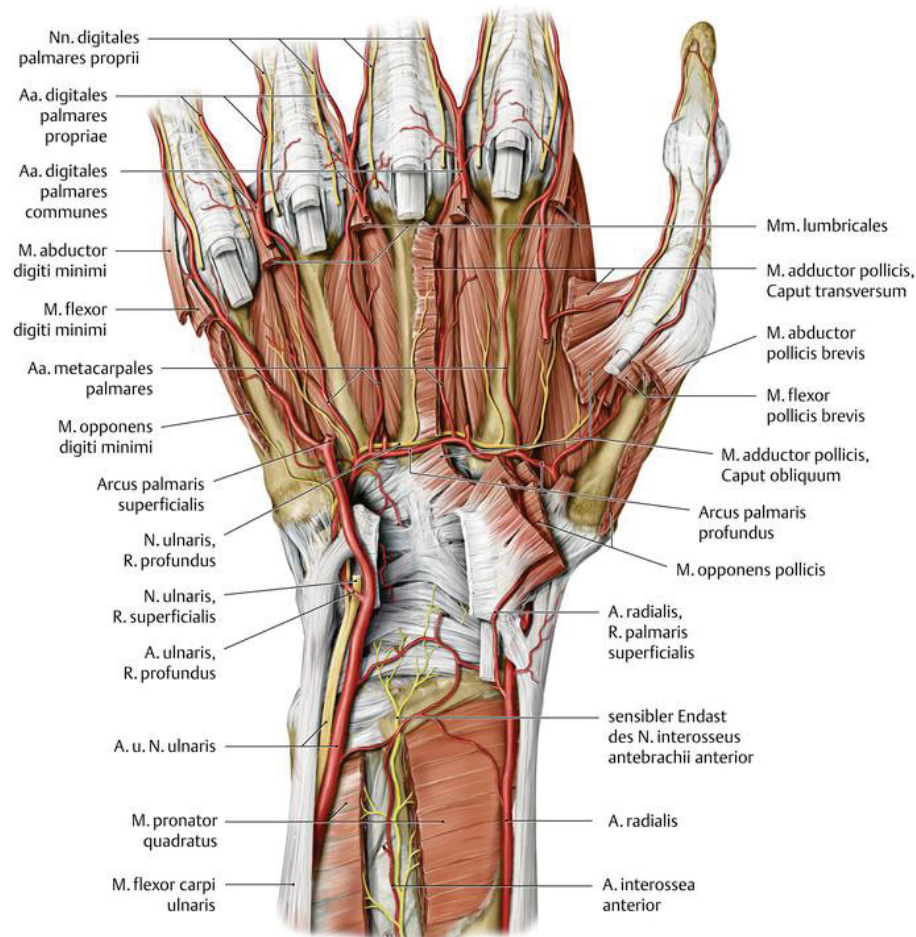
Die beiden Aa. radialis und ulnaris, sowie Hohlhandbögen geben die weiteren Äste zur Versorgung der Finger, Gelenke und Muskeln ab. Die Daumen und lateralen Anteile der Zeigfinger werden Großteils von der radialen Seite, die übrigen Finger und das mediale Segment des Zeigefingers im übermäßigen Maß von der ulnaren Seite her mit Blut versorgt. Der venöse Abfluss wird größtenteils durch die volarseitig liegende V. basilaris sowie V. cephalica gewährleistet. (8, 11)

##### ***1.3.1.4.1 Arterien***

###### **Arteria radialis**

Die A. radialis verläuft entlang des Radius nach distal, zwischen dem M. flexor carpi radialis und der brachioradialen Muskulatur, bis zur Handwurzel. Hier wendet sie sich unterhalb der Tabatière anatomique hindurch nach dorsal zum Handrücken und verläuft zwischen den Basen des ersten und zweiten Mittelhandknochens in die Hohlhand. Hier wird zusammen mit der A. ulnaris der tiefe Hohlhandbogen (Arcus palmaris profundus) geformt.

Zuvor im Bereich des Handgelenks werden folgende beiden Äste abgegeben: R. carpalis palmaris, welcher meist dünn dem Knochen aufliegend zum Rete carpalare palmare zieht und der oberflächliche R. palmaris superficialis, welcher am Arcus palmaris superficialis beteiligt ist.



**Abb. 5: Tiefer Hohlhandbogen und abzweigende Äste**

(15)

Weiteres gibt es noch unter anderem folgende Äste: den R. carpalis dorsalis der zum Rete carpalare dorsale zieht, welches ebenso noch von den folgenden Ästen erreicht wird: R. carpalis dorsalis a. ulnaris sowie der Aa. interossea anterior und posterior. Ebenso die A. metacarpalis dorsalis I und die, nach Durchtreten der A. radialis durch den M. interosseus dorsalis I, abgehende A. princeps pollicis. Diese teilt sich im weiteren Verlauf in die beiden Aa. digitales palmares propriae für die Daumenversorgung auf und gibt gleichzeitig die A. radialis indicis für den radialen Anteil des Zeigefingers ab. Diese Arterie für den Zeigefinger kann in etwa 12% der Fälle auch direkt aus dem Arcus palmaris profundus entspringen.

Aus dem bereits erwähnten Rete carpale dorsalis gehen die Aa. metacarpales dorsales hervor, welche mit dem Arcus palmaris profundus über die Rr. perforantes verbunden sind, direkt auf den Mm. interossei dorsales verlaufen und für den zweiten bis fünften Finger die Versorgung gewährleisten.

### **Tiefer Hohlhandbogen**

Der Arcus palmaris profundus bildet sich etwas proximal des darüber liegenden Arcus palmaris superficialis auf den jeweiligen Basen der Mittelhandknochen. Der Großteil der Versorgung erfolgt durch die A. radialis, sowie der kleinere Anteil durch einen Ast der A. ulnaris, dem R. palmaris profundus. In Summe werden durch ihn selbst mehrere Äste abgegeben, wobei drei bis vier Aa. metacarpales palmares die Mm. Interossei versorgen und sich zumeist als Aa. digitales palmares communes in Endäste aufzweigen. Weiters werden Rr. Perforantes abgegeben, welche mit den jeweiligen Aa. metacarpales dorsales, zwischen den Metakarpalia, Anastomosen bilden. (7, 8)

### **Arteria ulnaris**

Die A. ulnaris ist die Hauptarterie der medialen Seite des Unterarmes, entsteht durch die Aufzweigung aus der A. brachialis und endet im oberflächlichen Hohlhandbogen. Zwischen oberflächlicher und tiefer Schicht der Beugemuskulatur zieht sie gemeinsam mit dem N. ulnaris, radialseitig des Leitmuskels M. flexor carpi ulnaris, nach distal. Zuvor, im Ellenbogenbereich, werden die ersten beiden Äste abgegeben. Der erste als A. recurrens ulnaris nach medial proximal, der zweite als A. interossea communis.

Bevor die Handwurzel erreicht wird werden noch die beiden Äste R. carpalis palmaris nach radial palmar zum Rete carpale palmare und der R. carpalis dorsalis nach ulnar dorsal zum Rete carpale dorsale abgegeben.

Nach Erreichen des Handgelenks, durch die Guyon'sche Loge, radialseitig am Os pisiforme in die Hohlhand eintretend, wird der R. palmaris profundus abgegeben, welcher wiederum nach durchbohren der Hypothenarmuskulatur, zusammen mit der A. radialis den Arcus palmaris profundus bildet. Der andere Anteil verläuft als Endast in den Arcus palmaris superficialis über.

### **Oberflächlicher Hohlhandbogen**

Der Arcus palmaris superficialis, liegt zwischen Palmaraponeurose und Flexoren und im Vergleich zum tiefen Hohlhandbogen weiter distal und oberflächlich und bildet den Endast

der A. ulnaris. Lediglich ein minimaler Zufluss erfolgt von der radialen Seite, durch den R. palmaris superficialis a. radialis.

Die Ausbildung variiert stark und es kommt gehäuft zu Sonderfällen, sodass zum Beispiel grundsätzlich gar kein komplett ausgebildeter geschlossener Bogen besteht (40% der Fälle). An Ästen werden die Aa. digitales palmares communes abgegeben, welche sich auf den jeweiligen Basen der Grundphalangen in die paarigen Aa. digitales palmares propriae aufteilen.

#### **1.3.1.4.2 Venen**

Der Rückfluss des Blutes aus der Hand erfolgt über ein zusammenhängendes Geflecht von oberflächlichen und tiefen Venen, welches sehr variabel ausgeprägt sein kann. Wobei der tiefliegende Anteil großteils den Verläufen der Arterien folgt und der oberflächliche in das dorsale Venengeflecht mündet.

Der Abtransport aus der Peripherie erfolgt zu Beginn aus den V. digitales palmaris und V. metacarpales palmaris. Im Handballenbereich wird das zurückfließende Blut dann in den beiden venösen Hohlhandbögen gesammelt (Arcus venosus palmaris profundus und superficialis) und zu den beiden oberflächlich liegenden V. basilica (ulnarseitig) und V. cephalica (radialseitig) als auch den tiefer liegenden Vv. ulnares und Vv. radiales geleitet.

Im Verlauf gibt es verschiedene Verbindungen und kleinere Äste, welche weiteren Rückfluss aus der Peripherie, in die bereits genannten größeren Systeme, ermöglichen. Unter anderem sind dies folgende Venen: V. mediana antebrachii, V. mediana basilica, Vv. interossea anterior und posterior sowie die V. mediana cubiti im Ellbogenbereich. Im dorsalen Bereich wird das Blut aus den digitalen Venen in das dorsale Venengeflecht, das Rete venosum dorsale transportiert, welches aufgrund der geringeren Druckbelastung, im Gegensatz zum Hohlhandbereich, meist weitlumiger ausgeprägt ist und fließt weiter in die Vv. cephalica und basilaris.

### **1.3.2 Spezieller Teil**

#### **1.3.2.1 Der Karpaltunnel**

Der Karpaltunnel (lat. canalis carpi), durch den neben dem N. medianus auch die Sehnen der langen Fingerbeuger verlaufen, wird durch die folgenden knöchernen sowie ligamentären Strukturen gebildet. Erstere beinhalten die distalen Anteile von Ulna und Radius sowie die jeweiligen Flächen der acht Handwurzelknochen.

Diese knöcherne Rinne (Sulcus carpi) wird durch die beiden Eminentiae carpedales begrenzt wobei der radiale Teil von den Tuberkula von Os scaphoideum und Os trapezium geformt wird und der ulnare von denen von Os pisiforme und Os hamatum.

Bezogen auf die Bandstrukturen sind die folgenden anzuführen:

- Ligg. radiocarpale und ulnocarpale palmare
- Ligg. collaterale radiale und ulnare
- Ligg. intercarpalia palmaria und interossea
- sowie das Lig. pisohamatum und Ligamentum carpi radiatum.

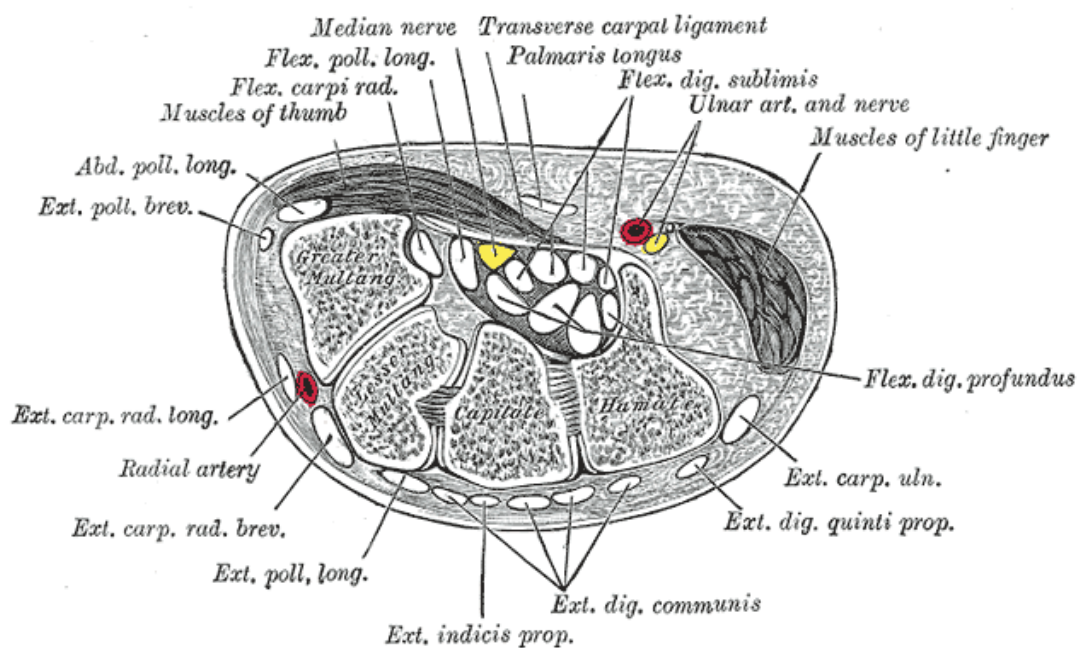


Abb. 6: Karpalkanal, Schnitt transversal

(16)

Durch das zwischen den beiden Eminentiae carpedales gespannte Retinaculum musculorum flexorum, ebenso als Lig. transversum carpi bezeichnet, wird diese zuvor beschriebene knöcherne Rinne zu einem U-förmig begrenzten Raum, dem Karpaltunnel (6, 7).

Durch die einerseits knöchernen Strukturen an der Basis, sowie andererseits das straffe aus der Unterarmfaszie entstehende Lig. transversum carpi palmar, ergeben sich anatomische Limitierungen und ist der Karpalkanal nicht erweiterbar.

Der gesamte Inhalt des Karpaltunnels umfasst die folgenden Strukturen: Neben dem N. medianus, die vier Sehnen des M. flexor digitorum superficialis, die vier Sehnen des M. flexor digitorum profundus und am weitesten radial kommt die Sehne des M. flexor pollicis longus zu liegen. (8, 10, 17)

### 1.3.2.2 Das Lig. carpi transversum

Das den Karpaltunnel quer überspannende, auch als Retinaculum (musculorum) flexorum bezeichnete Band, bildet das Dach des Karpaltunnels. In erster Linie die palmare Begrenzung des Karpalkanals darstellend, verhindert das Band aber auch den sogenannten Bogensehneneffekt („bow-stringing“) der Fingerbeuger bei Flexion im Handgelenk.

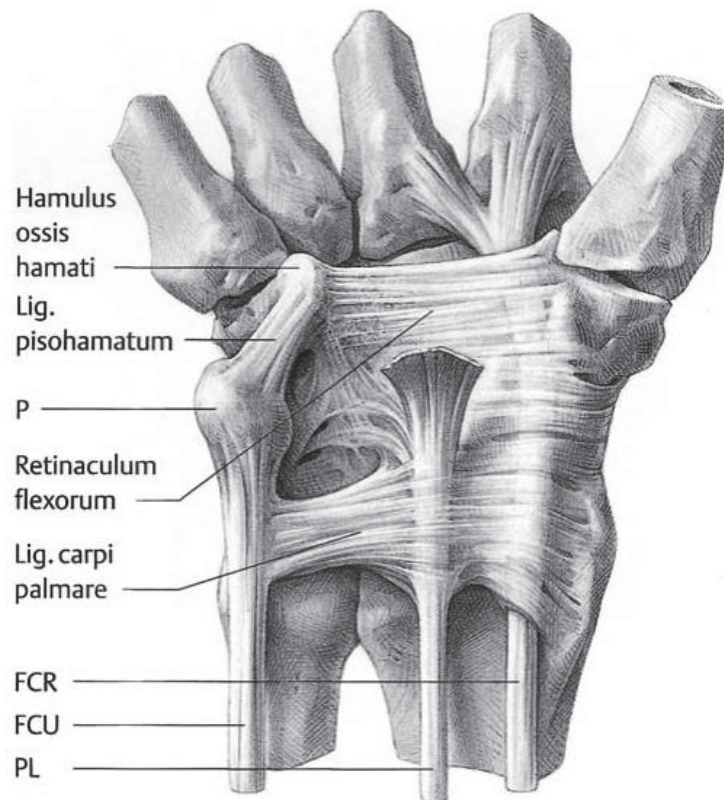


Abb. 7: Topographie des Lig. carpi transversum

(18)

Die Fasern sind geflechtartig aufgebaut, in mehrere Bindegewebschichten aufgegliedert und straff miteinander verwachsen. Einerseits beschreibt Denman (1981) eine vierschichtige Beschaffenheit, welche quer und schräg verläuft, andererseits führen Fuss und Wagner (1996) einen dreischichtigen Aufbau aus. Überdies strahlen Fasern des Lig. carpi palmare, Sehnen der Thenar- und Hypothenarmuskeln, des M. palmaris longus und des M. flexor carpi radialis, ein.

Der proximale Rand projiziert zumeist auf die körpernahe Reihe der Handwurzelknochen, gleichermaßen liegt der distale Rand des Bandes in etwa über den Basen der Metakarpalia II bis V. Die Breite misst im Mittel etwa 22 mm, welche zugleich die Länge des Karpalkanals von proximal nach distal darstellt. Vergleichbar wird die Breite des Karpaltunnels von radial nach ulnar durch die Länge des Lig. carpi transversum abgebildet, welche im Mittel 26 mm.

Weitere Daten betreffen die Stärke des Bandes, welches an den jeweiligen Rändern mit 0,6 mm dünner ausgeprägt ist als in der Mitte mit 0,9 mm. (18-21)

## **1.4 Das Karpaltunnelsyndrom – Ein Überblick**

### **1.4.1 Epidemiologie**

Da es keine eindeutige Klassifikation zum Karpaltunnelsyndrom gibt, sind die Daten zur Epidemiologie variierend (22). Dennoch kann man das Karpaltunnelsyndrom als das häufigste Nervenkompressionssyndrom peripherer Nerven bezeichnen und es wird mit einer Inzidenzrate, also Neuerkrankungsrate, von über 300 Fällen pro 100.000 Einwohner angegeben. In Summe sind es zwischen mindestens 5% bis über 10% der Erwachsenen Population, die an einem KTS leiden, welches mehr oder weniger behandlungsbedürftig ist. Deutlich häufiger sind Frauen als Männer betroffen, etwa im Verhältnis 3:1 und das Durchschnittsalter bei Diagnosestellung betrug 46 Jahre. Meist manifestiert sich das KTS beidseits, wobei verstärkt die dominante Seite betroffen ist (23-25).

### **1.4.2 Definition**

Beim KTS kommt es zu einer Nervenkompression des N. medianus innerhalb des Karpaltunnels, gepaart mit einem erhöhten Druckaufkommen in eben diesem.

Hinsichtlich seiner anatomischen Formation stellt der Karpaltunnel mit seiner nicht erweiterbaren knöchernen Basis und den straffen Strukturen als Dach einen rigiden Engpass dar. Insbesondere dann, wenn es zur Gewebsvermehrung innerhalb dieses kommt ist kaum Kompensation möglich. (24)

### 1.4.3 Ätiologie

Trotz dessen, dass Großteils nichts Konkretes zu den Ursachen des KTS bekannt ist, haben verschiedene Studien in der Vergangenheit einige wesentliche begünstigende Faktoren bzw. Begleiterkrankungen aufgezeigt.

#### 1. Konstitutionell

- a. Fettleibigkeit
- b. Nikotinabusus

#### 2. Hormonell

- a. Endokrinopathien (Diabetes, Hypo- und Hyperthyreoidismus, Störungen im Östrogen-, Progesteron-, Gonadotropinhaushalt, Akromegalie)
- b. Kortikosteroid Einnahme ohne Arthritis
- c. hormonelle Kontrazeptiva, Hormonersatztherapien
- d.

#### 3. Muskuloskeletal

- a. Deformitäten des Karpalkanals (Karpalkanalstenose)
- b. Status nach Handgelenksfrakturen (posttraumatisch)
- c. Schwellung der Sehnenscheiden (Tendosynovitis)
- d. Arthritiden (Osteoarthritis/rheumatoide)
- e. Gicht, Chondrokalzinose, Fibromyalgie

#### 4. Sonstige

- a. Gefäßmissbildungen
- b. generalisierte Neuropathie
- c. genetische Disposition
- d. Infektionserkrankungen (z.B. Borreliose)

(24, 25)

### Idiopathisches KTS

In den allermeisten Fällen spricht man vom sogenannten idiopathischen KTS, bei dem die Ursache nicht gänzlich geklärt ist, seltener (<10%) vom posttraumatischen oder stoffwechselbedingten KTS. (17)

## **Akutes KTS**

Diese Form des KTS ist relativ selten und meist eine Folge von Traumata. Im Überblick sind Frakturen, Infektionen, Blutungsstörungen, Thrombosen oder Verbrennungen sind als mögliche Ursachen zu nennen. (17, 26, 27)

## **Chronische Überbelastung**

Inwieweit die wiederkehrenden Überlastungen zur Entstehung des KTS letztendlich wirklich beitragen, zeigt sich auch in der Literatur nicht eindeutig. Es gibt verschiedene Untersuchungen, dass bestimmte repetitive Abläufe in manchen Berufsgruppen, einen Einfluss auf den N. medianus und die Entstehung eines KTS haben könnten.

Andererseits jedoch scheinen langanhaltende belastende Tätigkeiten, z.B. das schreiben am Computer, nicht maßgeblich beeinflussend zu wirken. Selbst die Verwendung von ergonomischen Tastaturen konnte keinen eindeutig protektiven Faktor erkennen lassen. Auch in Verbindung mit Tätigkeiten unter häufiger Vibration wurden einige Untersuchungen angestellt und wurde diese als gering beeinflussend eingestuft. (28, 29)

## **Genetik**

Immer wieder wird der Einfluss genetischer Faktoren diskutiert, jedoch konnte bis dato kein konkreter Genlocus identifiziert werden. Für die genetische Komponente spräche unter anderem auch, dass mehrfach eine familiäre Häufung von KTS innerhalb einer Familie beobachtet werden konnte. Ältere Studien beschreiben eine positive Familienanamnese in 30-39% der Fälle. Auch haben aktuellere Untersuchungen aus 2004 einen familiären Ko-Faktor beschrieben. (30)

### **1.4.4 Pathogenese**

Allgemeiner Konsens besteht dahingehend, dass die Kombination aus einem anatomisch zu eng ausgelegten Karpalkanal und einer Synovitis der Flexoren, zu den wichtigsten Faktoren zählen. Insbesondere das Missverhältnis zu seinem Inhalt: dem N. medianus und den Flexoren. (31, 32)

#### **1.4.4.1 Pathophysiologie**

Durch die Volumenzunahme und Gewebeveränderungen der Beugesehnen im Karpaltunnel kommt es zur Druckbelastung des N. medianus. Dadurch verändern sich die gesamten Druckverhältnisse und es kann sich negativ auf die intraneurale Blutzirkulation auswirken, ebenso kann es zu Läsionen an der Myelinscheide sowie auf Axonen Level kommen.

Eine klinisch-anatomische Klassifikation könnte wie folgt aussehen und wurde bereits von Lundborg, 1988, beschrieben: (33)

### **frühe Phase**

Zu Beginn, vor allem nächtlich intermittierende Symptomphasen, aufgrund des über die Nacht, innerhalb des Karpalkanals, Druckanstiegs. Dieser kann beim idiopathischen KTS vielfältige Ursachen aufweisen:

- Bei einer Schlafposition am Rücken kann es zu einer Flüssigkeitsverschiebung in Richtung der oberen Extremität kommen
- Eine eingeschränkte Funktion der Muskelpumpe, welche eine vermehrte Verschiebung des interstitiellen Volumens in Richtung des Karpaltunnels zur Folge haben kann
- Eine Tendenz, das Handgelenk in flektierter Position zu halten, wodurch der intrakarpale Druck ebenso ansteigt
- Allgemeiner Anstieg des arteriellen Drucks innerhalb der zweiten Nachthälfte

Sobald der Druck 40-50 mmHg überschreitet, beeinträchtigt dies den venösen Rückfluss aus der intraneuralen Zirkulation und führt zu verminderter Sauerstoffversorgung ebendort, venöser Stauung und Permeabilitätsproblemen aufgrund des endoneuralen Ödems. Eine Drucksteigerung von 30 mmHg über 2h hat einen direkten negativen Einfluss auf den Axonen Transport. Dies kann durch Bewegungen im Handgelenk und der Finger gebessert werden und ist dadurch eine Abflusstendenz des Ödems zu erkennen.

Nach Verringerung der Kompression kann eine rasche Verbesserung der Symptome erfolgen. (33)

### **Zwischenphase**

In dieser Phase treten die Symptome sowohl nachts als auch tagsüber auf. Die verschiedenen beeinträchtigenden Zustände, die Mikrozirkulation betreffend, sind in dieser Phase durchgehend existent. Das interstitielle Ödem wird auch hier zum Problemfaktor und verhindert den Zellfluss. Die Verdickung von Bindegewebe insbesondere im Verhältnis zum Epineurium ist augenscheinlich. Auch in diesem Stadium kann durch Wegfall der Kompression eine rasche Linderung der Symptome herbeigeführt, und die Zirkulation wieder angeregt werden.

## **Fortgeschrittenes Stadium**

Hier sind die Symptome, sowohl motorische als auch sensorische Ausfälle, fortwährend vorhanden. Es kommt zunächst zur Unterbrechung von Axonen, gefolgt von einer Waller-Degeneration ebendort (Axonotmesis) und einer Bindegewebsreaktion mit fibröser Verdickung. Nach der Dekompression des Nerven, kann die Regeneration über mehrere Monate andauern und auch inkomplett erfolgen. Der Grad der Wiederherstellung ist dabei von mehreren Faktoren abhängig und umfasst hauptsächlich die Konstitution des Patienten, der Patientin bezüglich der axonalen Regeneration. Ebenso sind entscheidende Faktoren, das Ausmaß der Kompression, sowie allgemeine Faktoren wie Alter und Polyneuropathiestatus des Patienten (17).

Im Grunde hat sich auch gezeigt, dass selbst wenn alle Nervenfasern eines einzelnen Nerven komprimiert werden, die Schwere der Verletzung durchaus unterschiedlich sein kann. Ebenso konnten verschiedene Muster erkannt werden, welche Regionen oder Anteile vor anderen betroffen sind:

- Periphere Anteile sind vor den mehr zentral gelegenen betroffen
- Die von einer lipidreichen Myelinscheide umgebenen Fasern vor den kleineren Fasern
- Und die sensorischen vor den motorischen Anteilen

(17, 33)

## **1.5 Medizinische Versorgung des CTS**

### **1.5.1 Klinik**

Das Beschwerdebild des KTS zeigt sich zu Beginn in Form von Reizsymptomen und umfasst in weiterer Folge die Symptome:

- Schmerzen, Kribbeln, Taubheit und nadelstichartige Missempfindungen
- Schmerzen im Bereich der distalen Versorgungsgebiete des N. medianus, am Daumen und den radialen zweieinhalb Fingern
- Die Haltekraft sowie Funktion der betroffenen Seite ist vermindert

Ein klassisches Zeichen ist das „Einschlafen der Hände“, welches verstärkt nachts auftritt. Diese „Brachialgia paraesthetica nocturna“ kann ohne Weiteres als pathognomonisch für das KTS bezeichnet werden. Während über den Tag hinweg ein Gefühl von Schwerfälligkeit respektive Ungeschicklichkeit angegeben wird.

Häufig wird seitens der Betroffenen beschrieben, dass ein „ausschütteln der Hände“ manchmal zur Besserung der Symptomatik führen kann.

In weiterer Folge kann es zu Ausfallserscheinungen und zur Muskelatrophie des M. abductor pollicis brevis und M. opponens pollicis. Diese Symptome werden seitens der Patienten und Patientinnen nur selten bemerkt.

### **1.5.1.1 Verlauf**

Im Allgemeinen ist der Verlauf sehr unterschiedlich ausgeprägt. Oftmals sind über Jahre hinweg nur minimal bis mäßige Schmerzen bemerkbar, mit teils immer wieder kehrenden schmerzfreen Intervallen. In Zusammenhang mit körperlicher Be- und Überlastung (z.B. schwere Haus- oder Gartenarbeit, Muskeltraining, usw.) wird häufig ein neuerlicher Schub oder eine Zunahme der Beschwerden beobachtet.

Auch wenn es in seltenen Fällen zum spontanen Rückgang der Beschwerden kommen kann, so ist zumeist ein Fortschreiten der Einschränkungen die Regel.(34, 35)

### **Differentialdiagnosen (DD)**

Insbesondere von Bedeutung ist eine genauere Abklärung, sofern atypische Beschwerdebilder auftreten und der Verdacht naheliegt, dass eine Überlagerung mehrerer Pathologien vorliegt.

#### **Häufigere DD**

- Zervikale Radikulopathie
- Polyneuropathie

#### **Seltenere DD**

- Schultergürtel-Kompressionssyndrom
- Kontusion des N. medianus
- Tendinosen (u.a. Ellbogen, Flexoren, Extensoren)
- Periphere Tumore (u.a. Schwannom, Hämartom)
- Ulnare / Radiale Neuropathie
- Pronator Syndrom
- Multiple Sklerose
- Intracraniale Neoplasien
- Cubital Tunnel Syndrom

- Radial Tunnel Syndrom
- Zervikale Syringomyelie
- Pancoast Tumor
- Mb. Dupuytren
- Idiopathische Brachioplexie
- Churg-Strauss-Syndrome

(35, 36)

### **1.5.2 Diagnostik**

Da es weder praktikabel noch gut durchführbar wäre, den Druck innerhalb des Karpaltunnels zu messen, beruht die Diagnostik primär auf der klinischen Einschätzung der Symptome und wird um verschiedene Untersuchungen erweitert.

Elektroneuromyographische Verfahren können im Fall einer geplanten Operation präoperativ oder bei Vorliegen einer Berufserkrankung ihre Berechtigung haben. Jedoch sind diese, insbesondere einer Kombination verschiedener klinischer Tests gegenübergestellt, nicht aussagekräftiger. Sowohl ältere Untersuchungen (1999, Richter und Brüser) als auch aktuellere Vergleiche (2017, Hermiz et al.) zeigen keine wesentlichen Unterschiede bzw. Vorteile hinsichtlich Sensitivität und Spezifität der elektrodiagnostischen Verfahren gegenüber klinischen Untersuchungen.

In Zusammenschau kann festgestellt werden, dass generell keiner dieser Untersuchungen für sich allein ausreichend genug wäre um eine definitive Diagnose für ein KTS zu stellen. Vielmehr ist es die Kombination aus verschiedenen Untersuchungen, welchen in Kombination eine gute Aussagekraft zuzuschreiben ist. (17, 37)

Ganz allgemein sollten bei Patientinnen oder Patienten mit Parästhesien an den Extremitäten folgende fünf Schritte in der Diagnostik beachtet werden:

1	Besprechung der bestehenden Diagnose, Provokationstests, Analyse etwaiger assoziierter Pathologien und Differentialdiagnostik
2	Ursachenforschung
3	Einteilung der Schwere der Kompression (Weber-Test), Analyse der Kraft der Daumenmuskulatur (innerviert durch den N. medianus)
4	Einschätzung ob ergänzende Untersuchungen nötig sind, wie z.B. die Elektroneuromyographie (ENMG)
5	Erstellung eines Behandlungskonzepts unter Zusammenschau der erhobenen Faktoren: Ätiologie, Grad der Ausprägung, Lokalisation, Aktivitätsprofil

**Tab. 1: Fünf Schritte in der Diagnostik bei Parästhesien**

(17)

## **1.5.2.1 Anamnese und klinische Untersuchung**

### *1.5.2.1.1 Allgemein*

#### **Anamnese**

Als primär wegweisend könnte man die gründliche Anamnese in der Diagnostik des KTS bezeichnen, nicht zuletzt auch daher, weil insbesondere in der Anfangsphase die neurologischen Untersuchungen vielfach negativ ausfallen. Nicht zuletzt deshalb, damit zugrundeliegende Ursachen und damit verbundene andere neuropathologische Faktoren ein- und ausgeschlossen, sowie gegebenenfalls separat betrachtet und behandelt werden können. Ebenso kann durch einen gründlich erhobenen Krankheitsverlauf, die Bewertung von Differentialdiagnosen erfolgreich stattfinden. Somit können im Zusammenspiel eine Diagnose sowie eine etwaige Operationsindikation umfassender gestellt werden.

#### **Inspektion und Palpation**

Neben einer genauen Anamnese, ist ebenso eine gründliche Inspektion durchzuführen. Hierbei können etwaige Muskelatrophien oder eine verminderte Schweißdrüsensekretion erkannt werden. Bei der beginnenden Atrophie des seitlichen Thenar Anteils sollte ebenso der Seitenvergleich beachtet werden. Ebenso ist hierbei an die Differentialdiagnose der Rhizarthrose zu denken, da diese ebenso, bei fortgeschrittenem Stadium, mit einer Thenar-Atrophie einhergehen kann. Zur Schweißdrüsenstörung sollte erwähnt werden, dass diese vorzugsweise nur bei hochgradiger Nervschädigung zu erwarten ist.

## Sensibilität

Die Prüfung der Sensibilität kann auf verschiedene Art und Weise erfolgen. Zur Überprüfung der Oberflächensensibilität kann z.B. mit einem Wattestäbchen oder Wattebausch berührt werden, des Weiteren die Stereoästhesie mittels Zweipunktdiskrimination oder Betasten lassen einer Münze.

## Motorik

Das sogenannte „Flaschenzeichen“ nach Lütjens gilt als empfindlichster Indikator für die motorische Überprüfung. Dieses ist positiv, wenn ein runder Gegenstand, aufgrund des Defizits von Palmarabduktion und Opposition des Daumens, nicht mehr adäquat umschlossen bzw. gehalten werden kann und ist der Hinweis auf eine motorische Läsion des M. abductor pollicis brevis. Wichtig ist jedoch zu beachten, dass auch eine Rhizarthrose ein „falsch“ positives „Flaschenzeichen“ vortäuschen kann, da hierbei eine Kontraktur der Adduktoren bestehen kann.

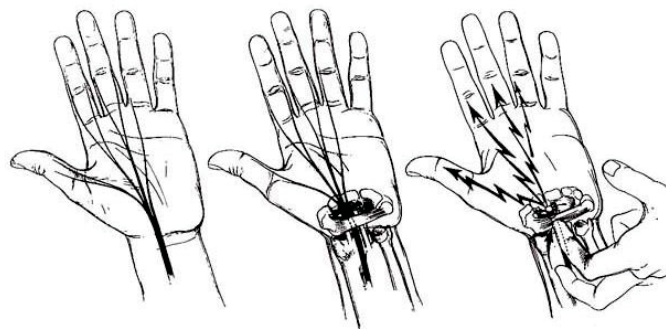
Neben der Anamnese und klinischen Untersuchung gibt es weitere Möglichkeiten der klinischen Diagnostik, welche im Folgenden erläutert werden. (17, 37)

### 1.5.2.1.2 Provokationstests

#### Hoffmann-Tinel-Zeichen / Tinel-Zeichen

*Sensitivität liegt bei 82.2% Spezifität bei 88.9%.(38)*

Das Hoffmann-Tinel-Zeichen, benannt nach Paul Hoffmann (1884–1962, einem Physiologen aus Freiburg) und Jules Tinel (1879–1952, einem Neurologen aus Paris), umfasst eine Perkussion des N. medianus, bei neutraler Position des Handgelenks, entlang



**Abb. 8: Schema Tinel-Zeichen**

(39)

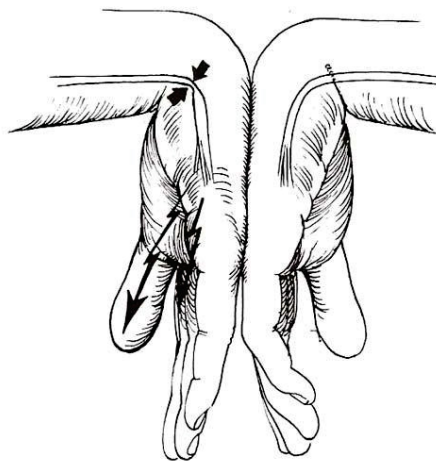
seines Verlaufs auf der volaren Seite des betroffenen Arms, von proximal über Unterarm nach distal bis zum Handgelenk.

Diagnostisch hat sich gezeigt, dass bei 58-67% der Patientinnen und Patienten mit bereits positivem EMG Befund, ebenso ein positives Hoffmann-Tinel-Zeichen vorliegt. Andererseits jedoch bei Patientinnen und Patienten, welche keine Nervenkompression aufweisen, trotzdem 20% der Patienten positiv auf den Test reagieren. Daher ist es von Bedeutung beide Seiten zu testen um einem u.U. falsch positiven Ergebnis vorzubeugen. Bei verstärkter sensibler Reaktion über dem Versorgungsgebiet des N. medianus ist der Test als positiv zu bewerten. (35, 40)

### **Phalen Manöver**

*Sensitivität liegt bei 84,4%, Spezifität bei 86,7%. (38)*

Der Phalen Test, auch als Phalen Manöver bezeichnet, ist nach dem amerikanischen Orthopäden George S. Phalen (1911-1998) benannt. Bei diesem Manöver wird das Handgelenk in forcierter maximal flektierter Position für bis zu 60 Sekunden gehalten.



**Abb. 9: Schema Phalen Manöver**

(41)

Es gibt auch eine alternative Variante, bei der die beiden Handrücken aneinander gedrückt gehalten werden um so eine maximale Flexion herbeizuführen. Die Theorie dahinter war damals, und das konnte auch in zahlreichen modernen Studien nachgewiesen werden, dass es zu einer Kompression des Nervs zwischen der proximalen Kante der Lig. carpi transversum und der anliegenden Sehnen der Flexoren kommt.

Bei KTS Patientinnen und Patienten ist dieser Test bei 66-88% positiv, wengleich auch bei 20% der Patientinnen und Patienten ohne vorliegendes KTS. Als Diagnose gilt, wenn innerhalb dieser Zeit Parästhesien und Taubheitsgefühle an den ersten drei Fingern auftreten. (35, 42)

### **Brian-Test**

Dieser Test ist dem Phalen Test ähnlich, jedoch im Gegensatz dazu hierbei unter Ausübung einer Dorsalextension. Es kommt zu einer Schmerzverstärkung.

### **Kompressionstest bei Flexion des Handgelenks**

*Sensitivität liegt bei 84,4%, Spezifität bei 82,2%. (38)*

Ein weiterer wichtiger Test besteht in der Kompression des N. medianus, welcher 1991 vom amerikanischen Chirurgen John Durkan erstmalig beschrieben wurde. Hierbei wird für etwa 30 Sekunden ein lokaler Druck auf den Karpaltunnel ausgeübt um etwaige Parästhesien über dem Versorgungsgebiet des N. medianus zu entdecken.

Laut Durkan ist dieser Test bei 87% der KTS Patientinnen und Patienten positiv, laut Williams, welcher 1992 insgesamt 60 Patienten, davon 30 mit diagnostiziertem KTS untersuchte, gibt darüber hinaus 100% an. (43, 44)

### **Paley and McMurphy-Test**

*Sensitivität liegt bei 89%, Spezifität bei 45%. (38)*

Hier wird manueller Druck auf den N. medianus ausgeübt, etwa 1-2 cm proximal der Beugefalte des Handgelenks. Positiv bei Schmerzsteigerung oder Parästhesien.

### **Hand-Elevations-Test**

*Sensitivität liegt bei 86,7%, Spezifität bei 88,9%. (38)*

Hier werden beide Hände über Kopfniveau erhoben bis Taubheit oder ein stumpfer Schmerz über dem Versorgungsgebiet des N. medianus angegeben werden. Als positiv bewertet, sofern Symptome innerhalb von zwei Minuten auftreten.

#### ***1.5.2.1.3 Elektrophysiologische Diagnostik***

Im Grunde geht es um die Analyse der motorischen und sensiblen Nervenleitgeschwindigkeit (NLG). Diese wird, seit Entdeckung im Jahre 1956, propagiert, da bei Patientinnen und Patienten mit KTS häufig eine Verlangsamung der NLG über dem Handgelenk feststellbar ist. Infolgedessen wurden signifikante Verlangsamungen der motorischen und sensiblen Übertragung als diagnostisches Kriterium anerkannt.

Um ganz grundsätzlich differentialdiagnostisch andere Pathologien wie z.B. Multiple Sklerose, Amyotrophe Lateralsklerose, generalisierte Durchblutungsstörungen oder

zerebrale Störungen der Durchblutung auszuschließen machen die neurologischen Untersuchungen darüber hinaus ebenso Sinn.

Ein weiterer Vorteil bietet sich darin, dass eine objektivere Möglichkeit geboten wird, als es bei den klinischen Untersuchungen und Tests der Fall ist, da hier durchwegs die subjektive Mitarbeit der Patientin oder des Patienten einfließt. Unter anderem aus den soeben genannten Gründen wird diese Untersuchung auch als der Gold Standard in der KTS Diagnostik angesehen.

Einzig ist offensichtlich zu berücksichtigen, dass möglichst einheitliche Standards eingehalten werden bezüglich Apparatur und Durchführung der elektrophysiologischen Untersuchungen.

### Ablauf

Bestimmung der distalen motorischen Latenz des N. medianus erfolgt zwischen dem Ort der Stimulation am Handgelenk (etwas proximal des Handgelenks an der Vorderseite) und dem Ort der Innervation der Thenarmuskulatur. Es wird mittels Oberflächenelektroden ein Impuls gesetzt und die Dauer bis zur Antwort der Muskulatur berechnet.

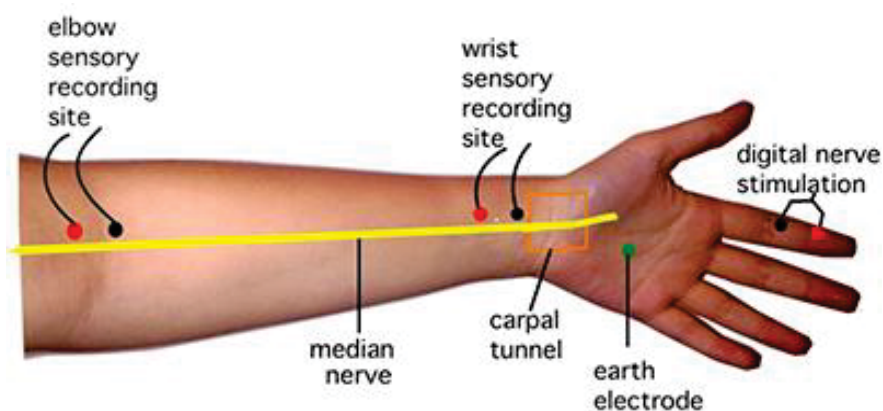


Abb. 10: Beispiel des Aufbaus einer elektrophysiologischen Diagnostik

(45)

Die sensible NLG Messung erfolgt in der Regel an Zeige- oder Ringfinger, mittels Ringelektroden, und ebenfalls dem Impulsort über dem Handgelenk bzw. weiter proximal am Ellbogengelenk.

Die so durchgeführten Messungen erlauben eine Darstellung etwaiger Schwachpunkte im Durchtritt durch den Karpalkanal, sowie eine Betrachtung der Amplitude und gegebener Verzögerungen der sensorischen als auch motorischen Impulse.

Ganz allgemein variieren die Ergebnisse u.a. durch verschiedene Apparatur und Technik. Daher sollten einerseits die Messungen bilateral sowie andererseits auch Vergleichsmessungen mit z.B. einem anderen Nerv, welcher nicht durch den Karpalkanal verläuft, wie z.B. dem N. ulnaris homolateral erfolgen.

Ein weiterer Faktor muss ebenso berücksichtigt werden, dass durchaus sowohl falsch positive (bei asymptomatischen Fällen: 0-46%) oder falsch negative (bei klinischer Diagnose 16-24%) Ergebnisse vorkommen. (17, 34)

#### **1.5.2.1.4 Bildgebende Diagnostik**

##### **konventionelles Röntgen**

Dieses Verfahren macht naturgemäß nur Sinn, wenn sich Fragen nach knöchernen Begleitverletzungen (z.n. Traumata) oder sonstige knöcherne Pathologien (z.B. Osteophyten, Arthrose) stellen. Da hier eine Beurteilung der Weichteile zum überwiegenden Maße ausbleibt. Hinsichtlich der Sinnhaftigkeit kann auf eine Studie (1997) verwiesen werden, bei welcher 300 Patientinnen und Patienten untersucht wurden. In 33% der Fälle wurden ossäre Abnormalitäten, in 18% Läsionen gefunden, welche mit der Entstehung eines KTS in Verbindung stehen könnten. Jedoch wurden lediglich zwei Fälle besonderer Behandlung zugeführt. (17)

##### **Sonographie / Ultraschall (US)**

Die Sonographie ist vom Grunde her eine nicht invasive, schnell verfügbare und kostengünstige Untersuchung. Zu den Nachteilen respektive zu den etwaigen Schwankungsbreiten gehören die Abhängigkeit von der Untersuchererfahrung sowie Material. Diese Fehlerquellen müssen berücksichtigt werden.

Bei der Diagnose kann der US wertvolle Hinweise zu pathologischen Veränderungen, Abflachungen oder Verdickungen des Nerven liefern ebenso aber auch eine Wölbung des Lig. carpi transversum erkennen lassen. (46)

Der Tunnelquerschnitt des Karpalkanals scheint hier das entscheidende Merkmal darzustellen, wie verschiedene Studien zeigen. Wie in Tab. 2 ersichtlich, wurden aufgrund desselben verschiedene Schweregrade definiert: normal, mild, moderat und schwer. (47)

<b>Klassifikation</b>	<b>normal</b>	<b>mild</b>	<b>moderat</b>	<b>schwer</b>
<b>Querschnitt (mm)</b>	<10	10.00-13.00	13.00-15.00	>15.00

**Tab. 2: Einteilung der Schweregrade anhand des Tunnelquerschnittes**

(47)

Eine vergleichende Studie aus 2008 hat gezeigt, dass in Gegenüberstellung von US und elektrodiagnostischer Untersuchung beide Techniken, in Bezug auf Sensitivität, etwa gleichwertig abschneiden. Einzig die Kombination beider würde offensichtlich positiv kumulierende Effekte bringen (Steigerung Sensitivität von 67,1-64,7% auf 76,5%). (34, 47)

### **Magnetresonanztomographie (MRT)**

Die MRT spielt bei der Diagnostik des KTS eine eher untergeordnete Rolle und ist weitestgehend für spezielle Fragestellungen heran zu ziehen. Auszugsweise die wichtigsten Fragestellungen:

- etwaige sekundäre morphologische Veränderungen des Nervs
- Verdacht auf seltenere Krankheitsbilder, welche zusätzlich eine Operation beeinflussen könnten: Ganglion, Hämangiom, Knochendeformität
- Lageveränderungen des Nervs
- bei Tumorverdacht
- zur Diagnosefindung bei Kindern und Jugendlichen
- bei Verdacht auf muskuläre Pathologien innerhalb des Karpaltunnels

Hinzu kommt, dass zwar die Sensitivität mit etwa 96% gut erscheint, die Spezifität jedoch lediglich zwischen 33-38% beträgt. (17, 34, 48)

## **1.5.3 Behandlung des KTS**

Die beiden Behandlungsstrategien beim KTS umfassen sowohl die konservative als auch die chirurgische. Erstere Variante kommt meist dann in Frage, wenn zum einen die Symptome mild bis moderat sind und zum anderen eine frühe Diagnose stattgefunden hat.

### **1.5.3.1 Konservativ**

Die nicht chirurgische Behandlung ist zwar nach wie vor die in erster Linie angewandte, wird jedoch weiterhin kontrovers diskutiert, da es keine klaren Daten dazu gibt welche der konservativen Optionen zu bevorzugen wären. Diese umfassen im Übrigen zahlreiche Therapien von Pharmaka über Handgelenksschienen bis hin zu Yoga. Die folgende Tab. 3 soll einen Auszug der Möglichkeiten bieten:

<b>medikamentös</b>	<b>mechanisch/manuell</b>	<b>Sonstige</b>
Steroide (oral)	Handgelenksschienen/Immobilisation	Ultraschall
Steroide (i.v.)	Physikalische Therapie	Laser (low-level)
Corticosteroide (i.a.)	Karpalknochenmobilisation	Yoga
Vitamin B6, B12		
NSAR (z.B. Ibuprofen)		

**Tab. 3: Konservative Behandlungsmöglichkeiten, Überblick (Auswahl)**

Auch in der modernen Literatur scheint es keinen Konsens über den längerfristigen Erfolg der konservativen Behandlung zu geben. Insbesondere kurzfristig, bei vorzugsweise milden Formen des KTS, werden jedoch gute Erfolge beschrieben und können verschiedene konservative Methoden zumindest einen Aufschub des chirurgischen Eingriffs möglich machen. (34, 35, 49-51)

### **1.5.3.2 Operativ**

Die operative Versorgung des KTS wird meist in einem fortgeschrittenen Stadium angewandt. Mit einem guten bis exzellenten Ergebnis von 70-90% ist diese auch Behandlung der Wahl, wenn bereits schwere Schäden am N. medianus in Erscheinung treten - sensorisch oder motorisch.

Trotz der verschiedenen Techniken ist das Ziel immer dasselbe, das Lig. carpi transversum zu spalten und so eine Vergrößerung des Karpaltunnels und letztendlich eine Druckentlastung zu ermöglichen.(35, 52)

#### ***1.5.3.2.1 Indikation zur Operation***

Die verschiedenen Krankheitsbilder, Beeinträchtigungen oder Zustände können in Kombination oder für sich allein eine OP Indikation darstellen

- sensible und/oder motorische Ausfallserscheinungen, wie beispielsweise: Beeinträchtigung der Stereoästhesie
- Nachlassen der Abduktions- und Oppositionskraft des Daumens
- Thenaratrophy
- Beeinträchtigung der Patientinnen und Patienten oder wenn die konservative keinerlei Besserung aufwies - insbesondere schmerzhafte Parästhesien
- Bei Kombination von Komplexem Regionalem Schmerzsyndrom (CRPS) und KTS
- Überlagernder diabetischer Polyneuropathie

- Selbst Personen im hohen Alter profitieren von einem operativen Eingriff
- Ebenso ist, sofern Ausfallserscheinungen vorliegen, die Operation bei Schwangeren zu empfehlen, da in über der Hälfte der Fälle die Beschwerden und Einschränkungen postpartal anhalten oder sogar Wiederauftreten
- Selbst bei sehr fortgeschrittenen Fällen, ist eine operative Methode durchaus noch mit befriedigendem Ergebnis zu beobachten, wenngleich eine u.U. vorliegende Thenaratrophy keinen Rückgang zu erwarten lässt.

(53-60)

#### ***1.5.3.2.2 Setting***

Das operative Setting umfasst zumeist eine ambulante Behandlung, welche zumeist in lokaler Infiltrationsanästhesie durchgeführt wird. Ein stationärer Aufenthalt ist in den meisten Fällen auf Patientenwunsch oder andere z.B. anästhesiologische Gründe zurück zu führen. Andere Narkosearten wären eine i.v.-Regional- oder Plexusanästhesie, aber naturgemäß in seltenen Fällen auch eine Allgemeinnarkose.

#### ***1.5.3.2.3 Sonstiges***

Neben der Behandlung des KTS, werden in der gleichen Sitzung fallweise auch andere Erkrankungen am Handgelenk mitbehandelt, beispielsweise: Ringbandspaltung bei Tendovaginitis stenosans, oder diverse andere pathologische Veränderungen im Karpaltunnel. Ferner kann der Eingriff auch beidseits in einer Sitzung erfolgen, wird jedoch aufgrund praktischer Überlegungen meist zweizeitig durchgeführt.

### 1.5.3.2.4 Techniken

Im Grunde können die Operationsmethoden in zwei Gruppen unterteilt werden, auch wenn es in weiterer Folge zahlreiche, von den jeweiligen durchführenden Chirurgen präferierte, Varianten gibt.

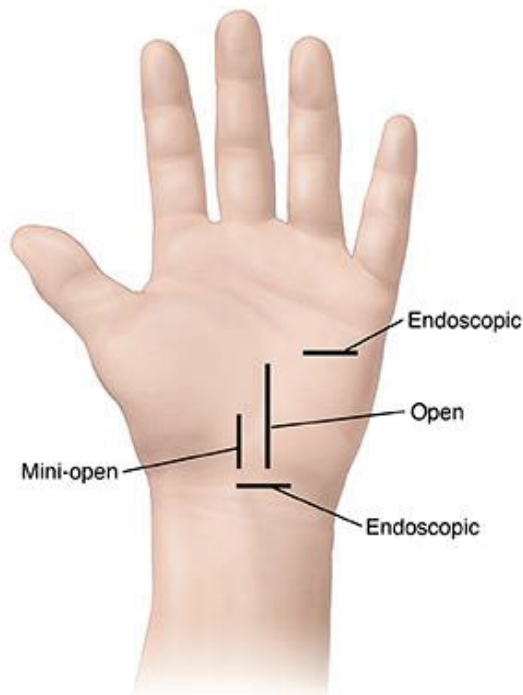


Abb. 11: Übersicht über die üblichen operativen Varianten

(61)

Einerseits die offene Technik, bei der eine durchgehende Inzision über dem Karpaltunnel erfolgt und unter direkter Sicht die Spaltung durchgeführt wird.

Und andererseits eine minimal invasive (endoskopische) Methode, bei welcher mittels ein bzw. zwei kleinerer Zugänge und endoskopischer Technik die Durchtrennung des Lig. carpi transversum erfolgt. Eine Übersicht der verschiedenen operativen Techniken wird anhand der Tab.4 erläutert:

offen	halboffen	endoskopisch
offene Spaltung (Normalinzision)	halboffen, endoskopisch assistiert (Preißler, Krishnan, Hoffmann)	endoskopisch monoportal Ein-Portal-Technik (Agee)
offene Spaltung (Mini-Inzision)		endoskopisch biportal Zwei-Portal-Technik (Chow)

Tab. 4: Chirurgische Techniken, Überblick

(62-65)

### 1.5.3.2.5 Offene Methoden

Im Jahr 1946, beschrieben Cannon und Love zum ersten Mal eine offene Karpaltunnelspaltung. (66) Seit diesem Zeitpunkt wurden zahlreiche Anpassungen und Variationen der Technik publiziert. So gibt es bei der offenen Variante verschiedene Möglichkeiten, welche sich im Grunde lediglich in Bezug auf den Verlauf der Schnittführung unterscheiden. Der größte Unterschied liegt zumeist hinsichtlich der Länge des Hautschnittes. Da zahlreiche Verlaufsvarianten des R. palmaris N. medianus und seiner Seitenäste bestehen, hat sich keine gesicherte Empfehlung zur Schnittführung ergeben. (67)

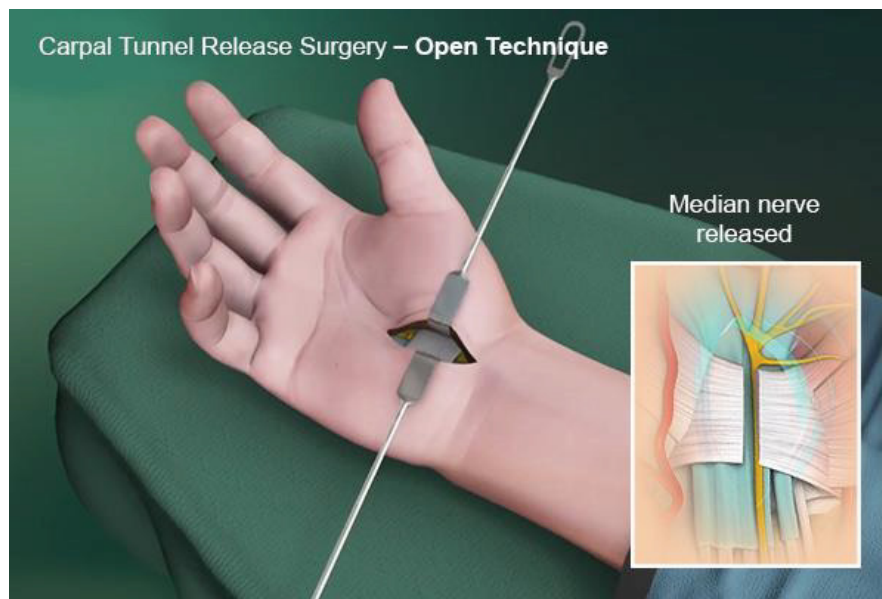


Abb. 12: Offene Technik, Schema

(68)

Die offenen Varianten werden in der Literatur als Schnitt im Bereich der Thenarfalte (Linea vitalis) beschrieben. Etabliert erscheint die oftmals als „Standard-Inzision“ bezeichnete Variante und die sogenannte Mini-Inzision.

Bei der Standard-Variante erfolgt der Zugang auf oder parallel zur Linea vitalis bis hin zur Beugefalte (Linea mensalis). Die Länge der Inzision beträgt zwischen 3 cm und erweiterten 6cm.

Alternativ dazu umfasst die sogenannte Mini-Inzision eine Schnittführung entweder gleich direkt distal der Linea mensalis oder ein wenig weiter distal derselben. Jedoch wieder auf oder parallel zur Linea vitalis. Diese wird üblicherweise auf einer Länge von 1,5 cm bis 3 cm. Eine durchaus seltene Variante wäre eine offene Doppelvariante.

In neuerer Literatur werden Inzisionen empfohlen, welche üblicherweise nicht mehr als 2-3 cm Länge aufweisen sollten. (69)

## ***Vorteile, Nachteile, Komplikationen***

### **Normalinzision**

Diese Methode ist nach wie vor die Standard Variante der chirurgischen Therapie. Zu den Vorteilen zählen der einfachere und sichere Zugang, da es die größtmögliche Sicht auf das Operationsgebiet bietet, und die kostengünstige Durchführung, da im Grunde neben Instrumentarium lediglich Skalpell und Nahtmaterial benötigt wird. Ein Nachteil ist die größere Narbe.

### **Mini Inzision**

Diese Methode ist der ersten sehr ähnlich, unterscheidet sich lediglich durch die Größe des Zugangs und wird hauptsächlich von Handchirurgen angewandt. Aufgrund des kleineren Zugangs sind die dementsprechend kleinere Narbe und eine evtl. frühere Belastungsmöglichkeit die Vorteile. Gleichermäßen entsteht dadurch aber auch der Umstand weniger Sicht zu haben, und es steigt das Risiko einer inkompletten Retinakulumspaltung respektive Nervenverletzung.

(62, 63, 67, 70, 71)

### ***1.5.3.2.6 Endoskopische Methoden***

Der endoskopische Zugang im Vergleich stellt eine eher neuere Variante dar und wurde vor bald 30 Jahren, zum ersten Mal 1989, von Okutsu et al. (monoportale Technik) und im selben Jahr von Chow (biportale Technik) beschrieben.

Dabei wird spezielles Instrumentarium benötigt. Neben dem Endoskop, der Optik und dem Monitor, werden auch spezielle Skalpell Ausführungen verwendet um die Durchtrennung durchführen zu können. (72, 73)

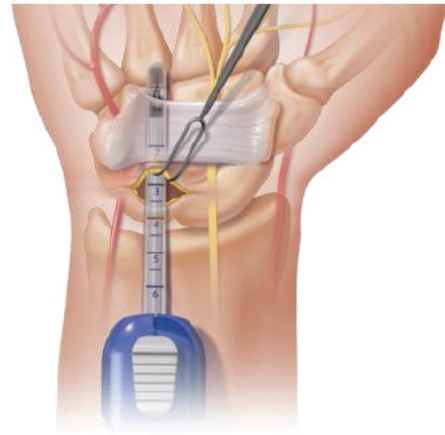
## ***Vorteile, Nachteile, Komplikationen***

### **halboffen, endoskopisch assistiert**

Diese Methode wird deutlich seltener angewandt, bietet weder klare Nachteile, noch wirkliche Vorteile. Lediglich die etwas kleinere Inzision wäre hier als relativer Vorteil zu nennen.

### **endoskopisch monoportal - (Agee)**

Die Vorteile dieser Variante liegen im einfachen Handling des pistolenartigen Geräts, welches allerdings sehr teuer ist. Das Risiko von Nerv- und Gefäßverletzungen sowie dass die Methode eines speziellen Trainings bedarf, welches wiederum einer Lernkurve unterliegt.



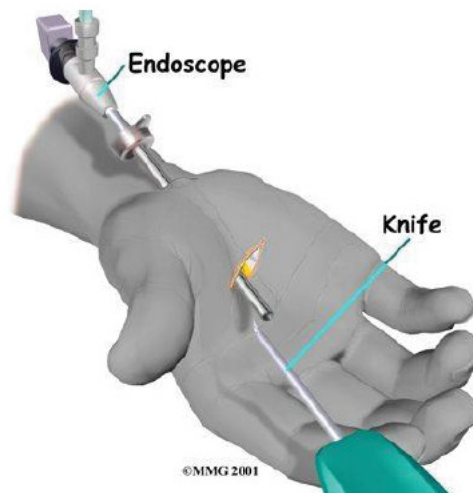
**Abb. 13: Monoportale Technik, Schema: Bsp. Centerline™**

(74)

### **endoskopisch biportal - (Chow)**

Hier kann eine gute Führung des Skalpellts erfolgen, wodurch die Einhaltung der Zielrichtung gewährleistet ist. Ferner ist die biportale Technik im Vergleich zur monoportalen preisgünstiger. Das Risiko der Nerv- und Gefäßverletzung bleibt bestehen und die Technik erfordert, ähnlich der monoportalen Variante, besonderes Training am Gerät.

(70, 73, 75, 76)



**Abb. 14: Biportale Technik, Schema**

(77)

## 2 Material und Methoden

In diesem Abschnitt möchte ich den Ablauf dieser Literatur-Recherche darstellen und genauer auf die Methodik derselben eingehen.

### 2.1 Aufbau

#### 2.1.1 Technischer Überblick

Für die wissenschaftliche Recherche-Arbeit nutzte ich einerseits einen Mini-Silent-PC, der für die Arbeiten mit einem großen Bildschirm vorteilhaft war, als auch einen portablen Convertible Windows10 Laptop der Marke Acer, Alpha Switch12. Dieser war für das mobile Arbeiten, die spontane Korrektur oder kleinere Anpassungen in mobiler Umgebung ideal. Als Zitierprogramm stand verschiedene Software zur Auswahl, wobei mir von Kollegen gute Erfahrungen mit Endnote, insbesondere betreffend Umfang und Stabilität berichtet wurden. Jedoch machte ich mir ebenso noch ein eigenes Bild und verglich letztendlich drei verschiedene Programme grob:

1. Endnote
2. Refworks
3. Mendeley

Nach einiger Recherche wurde dementsprechend das Programm Endnote ausgewählt, welches zusätzlich auch kostenlos über die Medizinische Universität bezogen werden konnte.

Sowohl aktuelle Literatur als auch wissenschaftliche Artikel aus gängigen wissenschaftlichen Journalen und Publikationen aus dem Internet dienten der Literaturrecherche zu meinem Thema im allgemeinen Teil.

Bei der Literatur griff ich zum Großteil auf den Bestand der Bibliothek der medizinischen Universität Graz zurück, verwendete aber ebenso Bücher aus meiner persönlichen Sammlung. Meine Bezugsquellen aus dem Internet, bezüglich allgemeiner Information zum Thema, setzten sich in absteigender Priorität und Quantität aus der englischsprachig textbasierten Meta-Datenbank „PubMed“, „Highwire“ und „Google Scholar“ zusammen.

Im speziellen Teil und die umfassende Recherche der Publikationen, den Aufbau dieses Reviews und dazugehörige Quellen werde ich in den folgenden Kapiteln genauer eingehen.

## 2.1.2 Organisation und Filter

Die Literaturrecherche erfolgte am 18. Mai 2018 und umfasste die Datenbanken von PubMed, Web of Science und CITHAL. Abhängig von der jeweiligen Plattform musste eine passende Strategie entwickelt werden um zu Beginn möglichst viele Einschlüsse zum Thema KTS und dessen chirurgischen Behandlung, insbesondere dem Vergleich der offenen gegenüber der minimal-invasiven Operationstechnik, zu generieren.

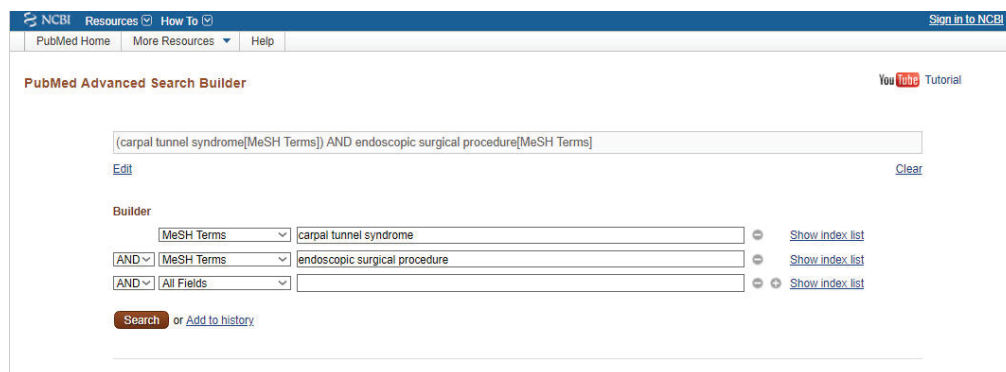
### 2.1.2.1 PubMed

Bei PubMed wurde im Punkt „advanced“ mittels Mesh-Terms und weiterer Filter operiert, und wurde die Datenbank, wie der Tab. 5 entnommen werden kann, dementsprechend durchsucht.

<p style="text-align: center;"><b>„carpal tunnel syndrome“</b></p> <p style="text-align: center;">AND</p> <p style="text-align: center;"><b>„endoscopic surgical procedure“</b></p> <p style="text-align: center;">zusätzliche Filter:</p> <p style="text-align: center;">„05/2008-05/2018“</p> <p style="text-align: center;">„human“</p> <p style="text-align: center;">„english“</p>
---

**Tab. 5: Suchterme, Filter Pubmed**

Sowohl die zeitliche Eingrenzung auf die vergangenen 10 Jahre, von 05/2008 bis 05/2018, der Filterung nach lediglich „humaner“ Literatur und Limitierung auf die englische Sprache erfolgte auf der Ergebnisseite im Seitenmenü.



**Abb. 15: Screenshot, PubMed Suche**

(78)

## 2.1.2.2 Web of Science (WoS)

Im Falle von WoS, musste zunächst ein Zugang über die Bibliothek der Medizinischen Universität Graz (via <http://han.medunigraz.at/han/isiwos>) sichergestellt werden. Hier

<p style="text-align: center;"><b>„carpal tunnel syndrome“</b> (<i>title</i>)</p> <p style="text-align: center;">AND</p> <p style="text-align: center;"><b>„endoscopic“</b> (<i>title</i>)</p> <p style="text-align: center;">AND</p> <p style="text-align: center;"><b>english</b> (<i>language</i>)</p> <p style="text-align: center;">zusätzliche Filter:</p> <p style="text-align: center;">„05/2008-05/2018“</p> <p style="text-align: center;">„human“</p>
--

Tab. 6: Suchterme, Filter WoS

wurde die Methode „Basic Search“ ausgewählt. Nachdem verschiedene Suchstrategien durchgespielt wurden, fiel die Entscheidung zugunsten jener, bei welcher primär die meisten Treffer zu erzielen waren. Dies war bei jener Suche per „Title“ im Dropdown-Menü und den in Tab. 6 aufgelisteten Suchbegriffen der Fall.

The screenshot shows the Web of Science search interface. At the top, there are navigation links for 'Web of Science', 'InCites', 'Journal Citation Reports', 'Essential Science Indicators', 'EndNote', and 'Publons'. The main header includes 'Web of Science' and 'Clarivate Analytics'. Below the header, there is a search bar with the text 'carpal tunnel syndrome' and a dropdown menu set to 'Title'. Below the search bar, there are three rows of search criteria, each with an 'And' dropdown and a search button. The first row has 'carpal tunnel syndrome' and 'Title'. The second row has 'english' and 'Title'. The third row has 'All languages' and 'Language'. Below the search criteria, there is a 'Timespan' section with a dropdown set to 'Custom year range' and a range of '2008' to '2018'. A 'Search' button is located to the right of the search criteria.

Abb. 16: Screenshot, WoS Suche

(79)

Die zusätzliche Filterung erfolgte sowohl per Dropdownmenü („english“) als auch unter der erweiterten Funktion „more settings“, wo auch die zeitliche Eingrenzung vorgenommen

werden konnte. Da es keinen implementierten „human“-Filter zu geben schien, wurde dies bei WoS in einem der nächsten Schritte manuell durchgeführt.

### 2.1.2.3 CITHAL

Die Datenbank CITHAL wurde primär mittels selbiger Suchtermen durchsucht. Bei CITHAL wurde die „advanced search“ verwendet. Nach mehreren vergleichenden Versuchen wurde entschieden, anstatt des Felds „title“ das Suchfeld „all text“ zu benutzen, um möglichst keine ungewollten Ausschlüsse zu generieren.

<p style="text-align: center;"><b>„carpal tunnel syndrome“ (TX all text)</b></p> <p style="text-align: center;">AND</p> <p style="text-align: center;"><b>„endoscopic“ (TX all text)</b></p> <p style="text-align: center;">zusätzliche Filter:</p> <p style="text-align: center;">„05/2008-05/2018“</p> <p style="text-align: center;">„human“</p> <p style="text-align: center;">„english“</p>
--

Tab. 7: Suchterme, Filter CITHAL

Hierbei wurde die weitere Eingrenzung unter dem Punkt „limit your results“ vorgenommen und wurde der „human“-, Sprach- sowie Zeitraumfilter eingegeben.

The screenshot shows the EBSCOhost search interface. At the top, there is a navigation bar with links for 'New Search', 'Publications', 'CINAHL Headings', 'Cited References', and 'More'. Below this, the search area is titled 'Searching: CINAHL | Choose Databases'. There is a checkbox for 'Suggest Subject Terms'. The search input field contains 'carpal tunnel syndrome' with a dropdown menu set to 'TX All Text'. Below this, there are two more search fields: 'AND endoscopic' with a dropdown set to 'TX All Text', and 'AND english' with a dropdown set to 'LA Language'. To the right of the search fields are buttons for 'Search', 'Create Alert', and 'Clear ?'. At the bottom of the search area, there are links for 'Basic Search', 'Advanced Search', and 'Search History'. Below the search area, there is a section for 'Search History/Alerts' with links for 'Print Search History', 'Retrieve Searches', 'Retrieve Alerts', and 'Save Searches / Alerts'.

Abb. 17: Screenshot, CITHAL Suche

(80)

### 2.1.3 Schema Suchstrategie

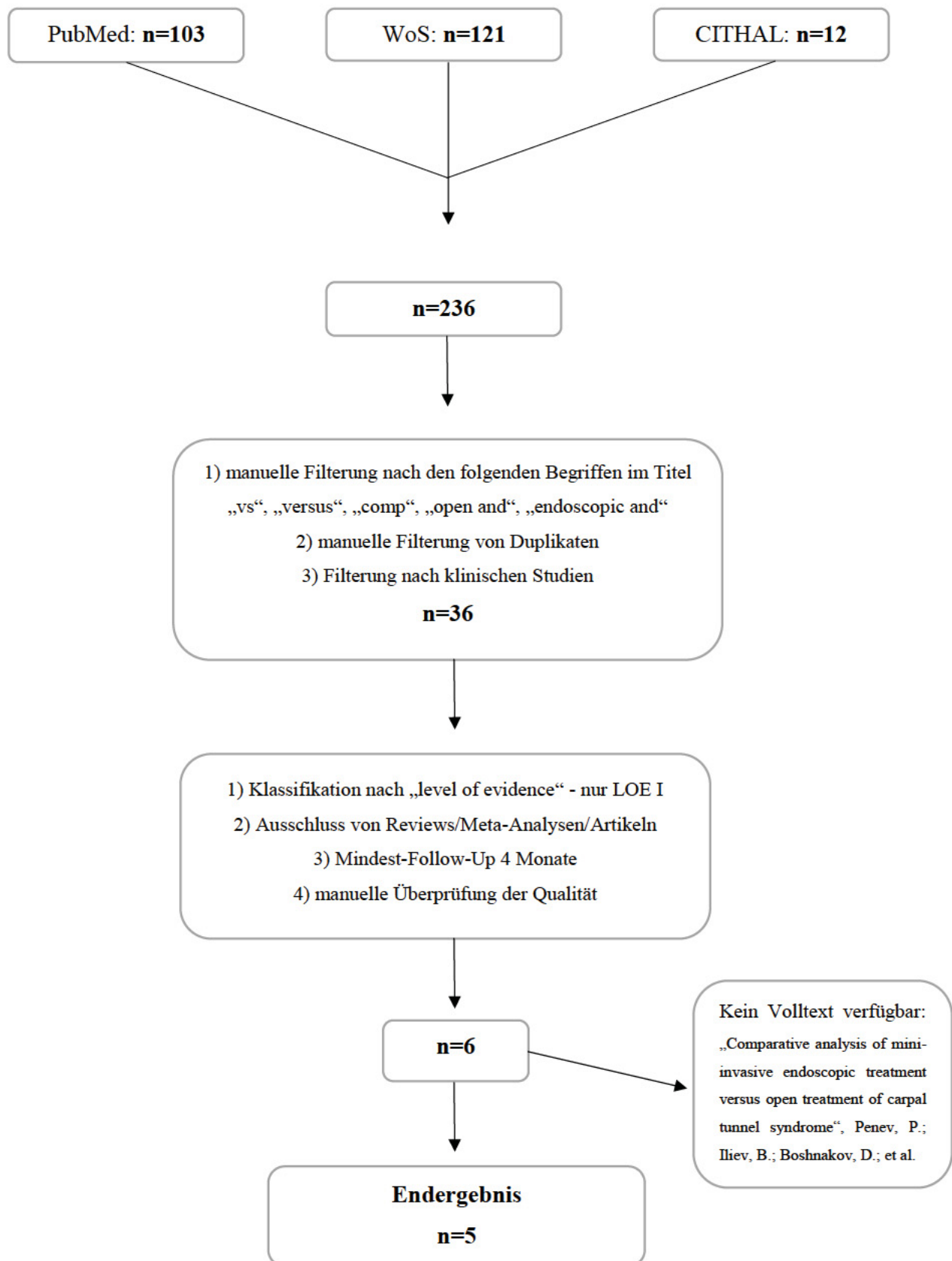


Abb. 18: Suchstrategie, Schema

### 3 Resultate

Zum Ende konnten 5 klinische Studien, welche den Einschlusskriterien entsprachen und ein LOE I aufwiesen, in die Bewertung eingeschlossen werden.

Eine Vielzahl, der ursprünglich 236 erhobenen Resultate aller drei Datenbanken, wurde beim ersten Schritt, dem Ausschluss von Duplikaten sowie der Filterung nach den 5 spezifischen Suchtermen, ausgeschlossen.

Schlussendlich ergaben sich 36 Arbeiten, welche einer weiteren Filterung nach lediglich klinischen Studien und Qualität, insbesondere LOE I, sowie dem Ausschluss von Reviews, Meta-Analysen und Artikeln unterzogen wurden. Demnach reduzierte sich die Anzahl auf 6 Studien. Abb. 18 veranschaulicht den Vorgang der Selektion in graphischer Art und Weise. Zum Ende musste eine Studie (Penev, 2009) (81) ausgeschlossen werden, da auch nach mehrwöchigen Versuchen, kein Volltext ausgehoben werden konnte.

Die folgenden fünf Arbeiten (Tab. 8) waren das Ergebnis sorgfältiger Recherche und Qualitätsprüfung, und wurden einer weiterführenden Analyse unterzogen und dem Review eingegliedert.

<b>Jahr</b> <i>Veröffentlichung</i>	<b>Autor</b>	<b>N</b> <i>gesamt</i>	<b>Technik</b>	<b>N</b> <i>pro Gr.</i>	<b>Alter</b> <i>Spanne</i>	<b>Zeitraum</b> <i>Erhebung</i>
2015	<b>Sreejith et al.</b>	71	OCR – kleiner Zugang ECR – 1-Portal-Technik	36 35	n.e.	2011-2013
2015	<b>Gümüştas et al.</b>	41	OCR – Standard ECR – 2-Portal-Technik	20 21	30-59 29-64	2009-2010
2014	<b>Michelotti et al.</b>	50	OCR – Standard ECR – 1-Portal-Technik	25 25	33-70	n.e.
2012	<b>Ejiri et al.</b>	101	OCR – Standard ECR – 2-Portal-Technik	50 51	28-78 41-82	n.e.
2012	<b>Aslani et al.</b>	96	OCR1 – Standard OCR2 – kleiner Zugang ECR – 1-Portal-Technik	36 28 32	30-65	2005-2007

**Tab. 8: Kurzer Überblick über die Resultate**

### **3.1.1 Überblick der einzelnen Studien**

In diesem Abschnitt möchte ich einen kurzen zusammenfassenden Überblick über die jeweilige Arbeit geben.

#### **3.1.1.1 Sreejith et al., 2015**

*Original-Titel: „A Prospective Randomized Study On The Clinico-electrophysiological Results Of Open And Endoscopic Carpal Tunnel Release Surgeries“*

##### **Studiendesign und Überblick**

Diese Studie umfasste ein prospektiv, randomisiertes Studiendesign. Die genaue Art der Randomisierung konnte nicht erhoben werden, jedoch lässt die genaue demographische Aufzeichnung, sowie die gleichmäßige Aufteilung der Gruppen, den Schluss auf eine gute Durchführung zu.

Präoperativ wurde die Diagnose zum KTS mittels allgemein üblicher Erhebung der Anamnese und des klinischen Status befundet. Dies umfasste Nachtschmerz, Störungen der Sensibilität im Medianus Gebiet, positiver Phalen Test, positives Tinel Zeichen. Zusätzlich wurden auch Nervenleitgeschwindigkeiten gemessen und der Fingerkuppen-Spitzgriff (Daumenkraft) sowie die Griffkraft präoperativ hinzugezogen, um die Spezifität und Sensitivität der Diagnostik zu erhöhen.

Der konservative Behandlungsversuch wurde auf etwa 3 Monate präoperativ gelegt. Die operativen Verfahren wurden in der offenen Gruppe mittels Mini-Inzision, bei der endoskopischen über die Ein-Portal-Technik durchgeführt.

Initial wurden insgesamt 91 Patienten und Patientinnen eingeschlossen und konnten am Ende davon 71 die gesamte Studie durchlaufen. 36 davon waren der offenen Behandlungsgruppe zugeteilt, 35 in der endoskopischen vertreten. Der Follow-Up Zeitraum wurde bei 1 Monat sowie 6 Monaten postoperativ festgelegt.

Der Vergleich zwischen der chirurgischen Behandlung im Sinne einer offenen und einer endoskopischen Technik auf der anderen Seite wurde im Zeitraum zwischen 2011 und 2013, am KMCT Medical College in Calicut, durchgeführt.

Die in Tab. 9 aufgeführten Endpunkte wurden bei den jeweiligen FU-Zeitpunkten, in der Woche 4 sowie 24 postoperativ, erhoben.

<b>symptomatisch</b>	<b>funktionell</b>
Schmerz des Zugangs	Kraft im Präzisionsgriff
Veränderung des Schmerzes	Kraft im Grobgriff
Kribbelparästhesien	
Taubheit (in der Nacht)	
Schwäche (der Hand)	

**Tab. 9: Endpunkte, Sreejith**

### **Ausschlüsse**

- Schwangerschaft
- Blutungs- oder Gerinnungsstörungen
- Medikation mit Antikoagulantien
- Behandlung durch Hämodialyse
- Traumata in der Patientenhistorie an betroffener Hand

### **Resultate und Kernaussage**

Es gab keine signifikanten Komplikationen innerhalb dieser Studie. Zusammenfassend kam diese Studie zum Schluss, dass das kurzfristige Ergebnis (wenige Wochen/Monate) bei der endoskopischen Gruppe besser war, da kein Narbenschmerz angegeben wurde und das kosmetische Ergebnis zufriedenstellender ausfiel.

Lokale Wundprobleme, Narbenbildung und damit verbundener Narbenschmerz wurden zu Beginn weitaus häufiger in der offenen Gruppe angegeben. Ebenso wurde die Wiederaufnahme der Alltagsaktivität von der offenen Gruppe als länger und somit negativer angegeben. Im Vergleich zu einer schnelleren Wiederaufnahme in der endoskopischen Gruppe.

Generell jedoch ergaben die Untersuchungen beim zweiten FU-Zeitpunkt (6 Monate) durchaus idente Ergebnisse. Somit wurde zusammenfassend lang- und mittelfristig kein signifikanter Unterschied im Vergleich der beiden Methoden festgestellt.

(82)

### **3.1.1.2 Gümüstas et al., 2015**

**Original-Titel:** „Similar effectiveness of the open versus endoscopic technique for carpal tunnel syndrome: a prospective randomized trial“

#### **Studiendesign und Überblick**

Es handelte sich hierbei um eine prospektive, randomisierte Studie, welche im Zeitraum zwischen 2009 und 2010 an einer Polyklinik („Bone Disease and Rehabilitation Hospital“, Trabzon, Türkei) durchgeführt wurde. Es wurde ein einfaches Kopf-Zahl-Verfahren zur Randomisierung angewandt.

Die Diagnostik des KTS umfasste ein nicht näher definiertes Standard Protokoll sowie die Einbindung von EMG Untersuchungen. Der Zeitraum, in welchem die konservative Behandlung stattfand, wurde nicht näher definiert. Lediglich das nach Versagen der konservativen Therapie, der Aufklärung der Patientinnen und Patienten und Zustimmung zur Teilnahme an der Studie, das chirurgische Procedere eingeleitet wurde.

Insgesamt wurden 41 Patientinnen und Patienten eingeschlossen, wobei 20 Personen der offenen und 21 der endoskopischen Gruppe zugeteilt wurden. Der Follow-Up-Zeitplan wurde auf 6 Monate postoperativ festgelegt.

Die beiden Gruppen waren hinsichtlich der Demographie, klinischen Befunde und symptomatischen Untersuchungen im Vorfeld der chirurgischen Eingriffe untereinander vergleichbar.

Bei der offenen Behandlung wurde eine nicht näher definierte „Standard“-Variante, beschrieben von Taleisnik (1973) angewandt, sowie für den endoskopischen Zugang eine Zwei-Portal-Technik (Ectra 2, Smith & Nephew), beschrieben von Chow (1993).

(83)

#### **Endpunkte**

In Tab. 10 ersichtlich, wurden verschiedene Endpunkte zu Beginn der Studie und zum FU-Zeitpunkt im sechsten Monat postoperativ im Rahmen der Erhebung durch die Boston-Skala herangezogen. Zwei Untergruppen wurden unterteilt, einerseits wurden Symptome bewertet (CTS-SSS) und andererseits funktionelle Scores (CTS-FSS) erhoben. Zusätzlich wurden elektrophysiologische Untersuchungen (EMG) durchgeführt. Subjektiv wurde noch die Dauer der Beschwerden in Monaten erhoben. Auf die Testung der Kraft sowohl Grob- als auch Präzisionskraft, musste aufgrund fehlender Gerätschaft in der durchführenden Klinik verzichtet werden.

<b>symptomatisch</b>	<b>funktionell</b>
CTS-SSS/Boston-Skala	CTS-FSS/Boston-Skala
Dauer der Beschwerden	EMG
	Neurophysiologisches Stadium

**Tab. 10: Endpunkte, Gümüştas**

### **Ausschlüsse**

- Motorische Defizite
- Pathologien der zervikalen Bandscheibenregion
- Metabolische Erkrankungen (als Prädispositionsfaktor für Neuropathien)
- Verletzungen oder Operationen der oberen Extremitäten
- Eingeschränkte Beweglichkeit des Handgelenks

### **Resultate und Kernaussage**

Es gab in Bezug auf den beiden Boston Scores (CTS-SSS und CTS-FSS) sowie auch die EMG-Untersuchungen keine signifikanten Unterschiede im Ergebnis. Es konnte aufgezeigt werden, dass beide Scores im Mittel, von prä- zu postoperativ, deutliche Verbesserungstendenz aufwiesen. Ebenso besserte sich das Leitsymptom (Nachtschmerz) bereits in der frühen postoperativen Phase. Die Komplikationsrate der ECTR war zwar höher (2/19) als die der OCTR (1/19), konnte jedoch keine statistische Signifikanz darstellen. Zu den Komplikationen wurde die Theorie dargelegt, dass es vermutlich auch um eine ausreichende Schulung und Weiterbildung insbesondere bei der endoskopischen Technik gehe. Gerade die minimal-invasiven Technik korreliert mit einer bestimmten Lernkurve. Inkomplette Spaltungen, Nerven- oder Sehnenverletzungen sind besonders zu Beginn dieser Kurve zu erwarten. Nichtsdestotrotz konnte sowohl durch klinische also auch symptomatische Erhebungen gezeigt werden, dass beide Methoden zur Behandlung des KTS ähnlich effektiv sind. (83)

### **3.1.1.3 Michelotti et al., 2014**

*Original-Titel: „Prospective, Randomized Evaluation of Endoscopic Versus Open Carpal Tunnel Release in Bilateral Carpal Tunnel Syndrome - An Interim Analysis“*

#### **Studiendesign und Überblick**

Es handelte sich um eine prospektive, randomisierte Studie welche in einem einzelnen Zentrum, dem „Penn State Hershey Medical Center-Bone and Joint Institute“ in den USA, erhoben wurde.

Die Operationen wurden an KTS diagnostizierten und primär konservativ behandelten Patientinnen und Patienten beidseits durchgeführt, wobei immer die subjektiv „stärker betroffene“ Seite in erster Linie behandelt wurde und etwa ein Monat darauf erfolgte die kontralaterale Versorgung. Die Randomisierung wurde mit einer Software sichergestellt, jedoch wurde die genaue Methode der Randomisierung nicht näher erläutert. Der Zeitraum, über den sich die Untersuchungen erstreckten, konnte nicht näher erhoben werden.

In Summe wurden 25 Patientinnen und Patienten in die Studie eingeschlossen, was bei diesem beidseitigen Studiendesign in Summe 50 operierte Handgelenken bedeutete. Jeweils 25 davon wurden randomisiert der offenen Gruppe sowie ebenso 25 der endoskopischen Gruppe zugeteilt. Die FU-Zeitpunkte waren präoperativ sowie nach 2, 4, 8, 12 und 24 Wochen postoperativ angesetzt. Die chirurgische Technik umfasste bei der OCTR einen nicht näher definierten „traditionellen“ Zugang, sowie bei der ECTR-Gruppe einen Ein-Portal-Zugang nach Agee (1995). Das Alter der Patienten reichte von 33 bis 70 Jahre und ergab einen Mittelwert von 53 Jahren. Die geschlechtliche Verteilung war stark Frauen lastig, 21 von 25 was einen Frauenanteil von 84 % ergibt.

#### **Endpunkte**

Wie in Tab. 11 ersichtlich, wurden verschiedene Scores und Tests durchgeführt um einen qualitativen sowie quantitativen Vergleich unter den beiden Gruppen durchführen zu können. Dazu wurde noch die allgemeine Patientenzufriedenheit erhoben, bei welcher die Angabe in Prozent erfolgte.

<b>symptomatisch</b>	<b>funktionell</b>	<b>subjektiv</b>
CTS-SSS/ Boston Scale (1-5)	CTS-FSS/ Boston Scale	Patientenzufriedenheit (0-100%)
Schmerz (VAS)	Monofilament	
	Kraft im Präzisionsgriff	
	Kraft im Grobgriff	
	Zwei-Punkt-Diskrimination	

**Tab. 11: Endpunkte, Michelotti**

### **Ausschlüsse**

- Rezidivierendes KTS
- entzündlicher Prozess (Arthropathie)
- periphere neuropathie
- Alter (>18 oder <75)
- Schwangerschaft

### **Resultate und Kernaussage**

Die beiden Techniken wurden durchaus als gleichwertig angesehen, nicht zuletzt deswegen da die verschiedenen Parameter keinerlei signifikante Unterschiede darstellen konnten.

Nichtsdestotrotz wurde die endoskopische Technik seitens der Patientinnen und Patienten bevorzugt, welche insgesamt eine größere Zufriedenheit (95.95%) gegenüber der offenen Variante (91.60%) angaben. (84)

#### **3.1.1.4 Ejiri et al., 2012**

*Original-Titel: „Short-term Results Of Endoscopic (okutsu Method) Versus Palmar Incision Open Carpal Tunnel Release : A Prospective Randomized Controlled Trial“*

#### **Studiendesign und Überblick**

Eine japanische Studie, welche prospektiv randomisiert den kurzzeitigen Erfolg der offenen und endoskopischen KTS Behandlung vergleicht. Kurzzeitig daher, dass lediglich in der vierten sowie zwölften Woche postoperativ Datenerhebungen stattgefunden hatten. Der Zeitraum der Datenerhebung konnte aus den vorliegenden Unterlagen leider nicht erhoben werden. Die Diagnose und Behandlung wurde über die subjektive Symptomerhebung,

Einschränkungen in der Alltagsaktivität, einer eingeschränkten Abductor pollicis brevis - Distalen Latenz (APB-DL) und mehr als 3 Monate erfolgloser konservativer Therapie mit z.B. VitB12 oder Ruhigstellung des Handgelenks.

Letztendlich wurden 101 Operationen in die Studie eingeschlossen, wovon nach Randomisierung mittels einer Zufallszuteilung zur Operation 50 davon der offenen Gruppe sowie 51 der endoskopischen zugeteilt wurden. Die chirurgische Technik umfasste bei ersterer einen vertikalen 3 cm langen vertikalen Schnitt und wurde die endoskopische Gruppe mittels einer Zwei-Portal-Technik (nach Okutsu, 1989) durchgeführt.

Die FU-Zeitpunkte wurden hier mit 4 sowie 12 Wochen postoperativ vergleichsweise kurz angesetzt und umfassten, wie in Tab. 12 angeführt, sowohl symptomatisch subjektive, wie der Effekt auf die persönliche alltägliche Aktivität, als auch funktionelle Erhebungen, wie z.B. die Monofilament- oder Kraftüberprüfung.

### Endpunkte

Die folgenden Endpunkte wurden in der 4. sowie 12. postoperativen Woche überprüft und ausgewertet:

<b>symptomatisch und subjektiv</b>	<b>funktionell</b>
Effekte auf tägliche Aktivität	APB-DL (abduct. poll. brevis – distale Latenz)
Subjektive Symptomatik	Monofilament, Semmes-Weinstein
	Zwei-Punkt-Diskrimination
	Kraft im Präzisionsgriff
	Kraft im Präzisionsgriff (seitlich)
	Kraft im Grobgriff

Tab. 12: Endpunkte, Ejiri

### Ausschlüsse

- Traumata in der Patientenhistorie an betroffener Hand
- Entzündliche Erkrankungen
- Diabetes
- Zervikale Radikulopathie
- Thoracic Outlet Syndrome
- Neuropathien
- Dialysepatienten

## **Resultate und Kernaussage**

Beim Vergleich der beiden Varianten, ist die ECTR speziell in der frühen postoperativen Phase der OCTR, betreffend Muskelkraft, überlegen. Umgekehrt muss bei der ECTR das Risiko einer transienten neurologischen Dysfunktion in der frühen postoperativen Phase kalkuliert werden - steigender Druckgradient durch Endoskopie Technik zusätzlich zum bereits erhöhten Druck - und sollte daher mit Vorsicht vorgegangen werden, sofern bei potentiellen Patientinnen und Patienten starke elektrophysiologische Auffälligkeiten vorliegen. Diesbezüglich sollte vermieden werden, lediglich nach der „minimal invasiveren Methode“ zu trachten, ohne die zusätzliche Schädigung, des bereits in Mitleidenschaft gezogenen Nerven, zu beachten. (85)

### **3.1.1.5 Aslani et al., 2012**

**Original-Titel:** „*Comparison of carpal tunnel release with three different techniques*“

#### **Studiendesign und Überblick**

Eine prospektiv randomisierte Studie aus dem Iran, welche im Zeitraum zwischen 2005 und 2007 drei verschiedene Techniken der operativen Behandlung des KTS untersuchte. Diese umfassten zwei offene – „Standard lang“ die linea mensalis überschreitend und die „Mid-Palmar-Mini-Inzision“ – sowie eine endoskopische Zwei-Portal-Technik.

Die Diagnose erfolgte klinisch, und wurde als positiv betrachtet, sobald mindestens drei oder mehr der folgenden Symptome auftraten:

- wiederkehrende oder persistierende Parästhesien im Medianus Gebiet
- Verschlechterung der Symptomatik bei Aktivität
- nächtliche Durchschlafstörungen mit Parästhesien
- positives Phalen und/oder Tinel-Zeichen

Die Länge des präoperativen konservativen Behandlungszeitraums konnte nicht definitiv eruiert werden, jedoch waren die Symptome bereits seit mindestens 6 Monaten bestehend. Zu Beginn wurden insgesamt 105 Personen nach den o.g. Kriterien und elektrodiagnostischen Untersuchungen mit KTS diagnostiziert.

Nach Anwendung der folgenden Ausschlusskriterien haben letztendlich 96 Personen den ganzen Zeitraum durchlaufen und die Studie beendet. Jene Personen wurden randomisiert folgendermaßen zugeteilt:

- 36 Personen der OCR – Standard lang
- 28 Personen der OCR – Mini Inzision
- 32 Personen der endoskopischen Technik

Die FU-Zeitpunkte wurden auf 2 und 4 Wochen sowie 4 Monate festgelegt und wurden an diesen die Endpunkte von Tab. 13 abgefragt respektive klinisch untersucht.

### Endpunkte

Es wurden die folgenden Endpunkte nach Symptomatik, funktionellem klinischen Bild oder dem subjektiven Empfinden der Patientinnen und Patienten eingeteilt und überprüft.

<b>symptomatisch</b>	<b>funktionell</b>	<b>subjektiv</b>
Wiederaufnahme von persönlicher Tätigkeit im Alltag <small>Haarpflege, Zähneputzen, Schreibtätigkeit</small>	Kraft im Präzisionsgriff	Zufriedenheit mit dem Eingriff  Quintett Symptome, Narbenschmerz, Narbenoptik, Quantifizierung
Taubheit	Tinel	
Nachtschmerz	Phalen	
Handgelenksschmerz	Kompressionstest	
Schwäche	EMG	
Steifigkeit	NCV	

**Tab. 13: Endpunkte, Aslani**

### Ausschlüsse

- Thenar Atrophie
- Schwangerschaft
- Raumfordernde Erkrankungen im Handgelenk
- Sulcus-Ulnaris-Syndrom
- Anamnestisch positiv: Operation von KTS oder Handgelenk
- Anamnestisch positiv: Handgelenksfrakturen
- Anamnestisch positiv: Sehnenverletzungen
- Kontraindikationen zum endoskopischen Eingriff

## **Resultate und Kernaussage**

Alle drei verschiedenen chirurgischen Techniken zeigten in dieser Studie zufriedenstellende Ergebnisse und niedrige Komplikationsraten. Zusammenfassend haben die endoskopische als auch die Variante „Mini-Inzision“ den Vorteil des geringeren postoperativen Schmerzes innerhalb der ersten Wochen. Nach diesem frühen postoperativen Zeitraum und im Gesamtüberblick werden dieselben Resultate und vergleichbare Zufriedenheit über alle drei Gruppen beschrieben.

## **Kritik**

Die demographischen Daten liegen lediglich für die 102 primär eingeschlossenen Personen vor, nicht jedoch für die letztendlich untersuchten 96 Personen, welche die Studie vollends durchlaufen hatten.

Weiters muss das Konzept der hier angewandten Randomisierung bei dieser Aufteilung (n=36;28;32), ersichtlich in Tab. 14, etwas hinterfragt werden, da die gleichmäßige Aufteilung von 32 Personen auf eine der jeweiligen Gruppen rechnerisch ohne weiteres möglich gewesen wäre. (86)

### 3.1.2 Resultate – Details

Studie	IKA (1)	N	Kompl. (Details)	Technik	N (pro Gr.)	Alter (MW)	Alter (Spanne)	Zeitraum Erhebung	FU (max)	FU Punkte (Wochen)
2015, Sreejith et al.	ja	71	2/36 (Hämatom) 0/36	OCR – kleiner Zugang ECR – 1-Portal-Technik	36 35	45,1 45,6	n.e.	2011-2013	24	4;24
2015, Gümüstas et al.	ja	41	1/19 (2) 2/19 (3)	OCR – Standard ECR – 2-Portal-Technik	20 21	42,7 48,1	30-59 29-64	2009-2010	24	24
2014, Michelotti et al.	n.e.	50	0/50 0/50	OCR – Standard ECR – 1-Portal-Technik	25 25	53	33-70	n.e.	24	2;4;8;12;24
2012, Ejiri et al.	n.e.	101	n.e.	OCR – Standard ECR – 2-Portal-Technik	50 51	58 59	28-78 41-82	n.e.	12	4;12
2012, Aslani et al.	ja	96	0/96	OCR1 – Standard OCR2 – Mini Inzision ECR – 1-Portal-Technik	36 28 32	54,2	30-65	2005-2007	16	2;4;16

**Tab. 14: Resultate – Details**

(1) Interessenskonflikt Ausschluss

(2) oberflächliche Infektion, erfolgreiche antibiotische Behandlung

(3) Sehnenverletzung und rezidivierende Schmerz- und Taubheitssymptomatik

### 3.1.2.1 Funktionelle und symptomatische Auswertung

		FU1 FU2	RTW (1)	Funktionelle Parameter (Auswahl)		
Studie	T			Methodik	FU1	FU2
2015, Sreejith et al.	OCR ECR	präop, 24w	20 14	Kraft Grobgriff / EMG Kraft Grobgriff / EMG	19.2kg / 4.8ms (40m/s) 19.6kg / 4.7ms (40m/s)	22.2kg (+3.0) / 4.0ms (48m/s) 22.7kg (+3.1) / 3.7ms (50m/s)
2015, Gümüstas et al.	OCR ECR	präop, 24w	n.e.	CTS-FSS/Boston Scale (1-5) / EMG CTS-FSS/Boston Scale (1-5) / EMG	3.43 ± 0.63 / 96.51 3.11 ± 0.82 / 90.14	1.56 ± 0.48 / 119.09 119.85 / 1.9 ± 0.85
2014, Michelotti et al.	OCR ECR	präop, 24w	n.e.	Kraft Grobgriff / CTS-FSS/Boston Scale Kraft Grobgriff / CTS-FSS/Boston Scale	16.56 / 2.18 15.2 / 2.27	15.81 / 1.14 15.79 / 1.13
2012, Ejiri et al.	OCR ECR	4w, 12w	n.e.	Kraft Präzisionsgriff / Grobgriff (2) Kraft Präzisionsgriff / Grobgriff (2)	-8.1 / -0.8 -4.6 / 0.3	-3.6 / -0.2 -1.2 / 0.7
2012, Aslani et al.	OCR1 OCR2 ECR	präop, 16w	21.1 ± 5.2 12.7 ± 3.2 12.1 ± 2.1	n.e.	n.e.	n.e.

Tab. 15: Resultate – Funktionelle Parameter / Auswertung

(1) Return to work = Krankenstandstage

(2) Verbesserungsdaten, kg, postoperativ-präoperativ

		FU1 FU2	Schmerz			Zufriedenheit		
Studie	T		FU1	FU2	Methodik	FU1	FU2	Methodik
2015, Sreejith et al.	OCR ECR	präop, 24w	0 / 15 / 21 0 / 23 / 12	33 / 3 / 0 31 / 4 / 0	Schmerz (1-10) 0-3 / 3-6 / 7-10	11/16/9 13/15/17	n.e.	Effekt auf tägl. Aktivität (mild/moderat/stark)
2015, Gümüstas et al.	OCR ECR	präop, 24w	3.51 ± 0.54 3.35 ± 0.65	1.41 ± 0.46 1.26 ± 0.48	CTS-SSS/Boston Scale (1-5) ± SD	-	-	-
2014, Michelotti et al.	OCR ECR	präop, 24w	1.06 1.33	0.23 1.21	VAS (nicht näher beschrieben)	-	91.60% 95.95%	Patientenzufriedenheit (0-100%)
2012, Ejiri et al.	OCR ECR	4w, 12w	44/6/0 39/9/2	50/0/0 47/2/1	Symptome (Taubheit, Nachtschmerz) verbessert/unverändert/verschlechtert	11.18 14.94	20.94 20.80	Effekt auf tägl. Aktivität (VAS100) (1)
2012, Aslani et al.	OCR1 OCR2 ECR	präop, 16w	121.44 121.44 121.44	0 4 4	Nacht- / Handgelenksschmerz Methode: ja/nein	-	-	-

Tab. 16: Resultate – Symptomatische Parameter / Auswertung

(1) 4w/12w=Diff.; VAS100 (0=keine Einschränkung, 100=max. Einschränkung)

## 4 Diskussion

### 4.1 Ausschlussgründe – Meta-Analyse

Zu Beginn war eine Meta-Analyse geplant. Mit fortschreitender Durchsicht der Recherche-Ergebnisse deren Methoden, Fragestellungen und Inhalte wurden jedoch folgende Gegenargumente deutlich. Nicht nur die FU-Zeitpunkte variierten stark, sondern auch die Endpunkte selbst, sowohl betreffend deren Qualität als auch Quantität. Einen Überblick dazu geben dabei die Tab. 14-16.

Selbst ein nahezu immer verwendeter Endpunkt „Schmerz“ wurde in der einen Studie als VAS10, in einer anderen als „Nachtschmerz“ (0-100%) und in einer Dritten als Kombinationssymptom „Taubheit/Nachtschmerz“ (verbessert/unverändert/verschlechtert) abgefragt. Dies ermöglicht zwar durchaus eine Tendenz bei einzelnen Endpunkten zu bewerten, nicht jedoch eine exakte Vergleichbarkeit wie es für eine Meta-Analyse notwendig gewesen wäre.

### 4.2 Signifikanz, Unterschiede

#### **Sreejith, 2015**

Es wurde festgestellt, dass in den ersten Monaten der postoperativen Phase die Patienten in der ECTR Gruppe einen besseren Outcome aufwiesen als in der OCTR Gruppe, betreffend sowohl funktionelle als auch symptomatische Werte. Dies betraf allgemein lokale Symptome sowie Wund- und/oder Narbenschmerz. Zusätzlich dazu wurde eine frühere Aufnahme der täglichen Aktivität in der ECTR Gruppe verzeichnet. Im Durchschnitt ergab dies eine um 6 Tage kürzere Krankenstandszeit.

Nichtsdestotrotz konnte letztendlich kein signifikanter Unterschied zum abschließenden FU Zeitpunkt (6 Monate) festgestellt werden. Weder in Hinblick auf Symptomatik oder Elektrodiagnostik noch auf Komplikationsraten.

#### **Gümüştas, 2015**

In diesem Fall gab es eine leichte Einschränkung bezüglich der FU-Zeitpunkte. Es gab ein FU präoperativ und eines 6 Monate postoperativ. Die Einschränkung ergibt sich demnach in der Analyse der kurzfristigen postoperativen Phase innerhalb der ersten Wochen und Monate. Ungeachtet dieser Tatsache ergaben sich nach 6 Monaten keinerlei signifikante Unterschiede beim Vergleich der beiden Gruppen. Weder bezüglich der EMG- noch der Boston-Score-Ergebnisse. Ebenso gab es keine signifikanten Unterschiede bezüglich der

Komplikationsrate, wenngleich diese bei der ECTR Gruppe höher ausfiel – ECTR: 2, OCTR: 1.

#### **Michelotti, 2014**

Bei genannter Studie gab es in den klinisch objektiv erhebbaren Resultaten keinerlei signifikante Unterschiede innerhalb der beiden Gruppen. Zu keinem der Zeitpunkte gab es bei den verschiedenen Endpunkten (Schmerz (VAS), CTS-SSS/Boston Scale (1-5), Zwei-Punkt-Diskrimination, Monofilament, Kraft im Präzisionsgriff, Kraft im Grobgriff, CTS-FSS/Boston Scale) signifikante Unterschiede.

Als einzig herausstechendes Merkmal ergab sich die Befragung zur Zufriedenheit der Behandelten. Hier ergab sich eine signifikante Verlagerung zu Gunsten der ECTR Methode. Die Zufriedenheit wurde von 0 (= unzufrieden) bis 100 (= zufrieden) abgefragt und ergab bei der OCTR Gruppe 91,60% vs. ECTR 95,95% (P-Wert: 0,04). Es wurden folgende Gründe für eine höhere Zufriedenheit bei der ECTR angegeben: weniger Schmerz, besseres Narbenergebnis und eine raschere Rückkehr zur täglichen Aktivität.

#### **Ejiri, 2012**

Hier gab es, in der vierten postoperativen Woche, einen signifikanten Unterschied zu verzeichnen: das Wiedererlangen der Kraft im Grobgriff war signifikant besser/früher in der OCTR Gruppe. Dennoch war im zweiten FU-Zeitpunkt in der zwölften postoperativen Woche kein Unterschied mehr zu erkennen. Weiters konnte in der ECTR Gruppe eine Verschlechterung der subjektiven Symptomatik in 3 Fällen (2 Fälle: im FU 4 Wochen; 1 Fall: FU 12 Wochen) und eine Verlangsamung der APB-DL (abductor pollicis brevis – distale Latenz) in 3 Fällen festgestellt werden. Die Kombination dieser beiden Ergebnisse lässt laut den Autoren den Schluss zu, dass die jeweiligen Verschlechterungen in der ECTR Gruppe auf die dabei verwendete spezielle Technik (u.a. Druck auf das Gewebe) zurück zu führen sein könnte.

#### **Aslani, 2012**

Innerhalb des ersten Monats gab es bessere Ergebnisse bezüglich Schmerzlinderung und Zufriedenheit in der ECTR und OCTR (Mini-Inzision) Gruppe verglichen mit der OCTR (Standard) Gruppe. Allerdings ergaben sich im finalen FU (4 Monate) absolut vergleichbare Ergebnisse über alle drei Gruppen verteilt. Nachtschmerz sowie Parästhesien verbesserten sich ähnlich gut über alle drei Gruppen, einzig wurde Schwäche als signifikant schlechter in

der OCTR (Standard) verzeichnet. Als Korrelat kann erwähnt werden: je länger die Inzision erfolgte, desto länger waren die Krankenstandstage.

### **4.3 Kritikpunkte und Qualität der Studien**

Ganz grundsätzlich wurden die allgemeinen Kriterien zur Qualität, wie Randomisierung oder ein prospektives Studiendesign, bereits mit der Eingrenzung auf LOE I Studien festgelegt. Zu den weiteren qualitativen Merkmalen wird im Folgenden noch Bezug genommen:

#### **Zeiträume der Durchführung der Studien**

Der Durchschnitt der Erhebungen betrug 1,6 Jahre (Sreejith, 2015; Gümüstas, 2015; Aslani, 2012) (82, 83, 86). Wobei bei zwei Studien, (Michelotti, 2014; Ejiri, 2012) keinerlei konkreter Zeitraum eruiert werden konnte, was die Qualität einschränkt.

#### **Kostenanalyse**

Die höheren Kosten der endoskopischen Technik sind, neben dem erhöhten Risiko einer inkompletten Spaltung des Lig. carpi transversum, einer der wesentlichen Argumente gegen diese Technik. (65)

Sowohl das Einweg-Material (u.a. Spezial-Klinge) als auch die „einmalig“ teurere Anschaffung der endoskopischen Geräte (Monitor, Optiken, etc.) müssen in einen Vergleich einfließen.

Insbesondere im Vergleich mit der offenen Technik, bei der grundsätzlich außer einer herkömmlichen Klinge, welche vergleichsweise kostengünstig ist, und dem chirurgischen Nahtmaterial kaum Materialkosten anfallen.

Da in zahlreichen Arbeiten eben dieser Kostenfaktor im Vergleich der verschiedenen operativen Techniken eine erhebliche Rolle zu spielen scheint, war ursprünglich anzunehmen, dass zumindest eine gewisse Form der Kostenanalyse immer einen Punkt einer vergleichenden Studie ausmachen würde. Dies wurde bei diesen Arbeiten, sofern überhaupt, nur minimal betrachtet.

#### **Komplikationsraten**

Diskutiert werden höhere Komplikationsraten bei der endoskopischen Technik, da die freie Sicht auf das Operationsgebiet fehle und einige technisch-chirurgische Nachteile wie z.B.

hervorquellendes Fettgewebe während der Endoskopie die Sicht und Durchführung des Eingriffs zusätzlich behindern können.

Es werden u.a. inkomplette Spaltungen oder iatrogene Gefäß- / Nervenläsionen beschrieben. Umso verwunderlicher erscheint es, dass die Dokumentation der Komplikationsraten an sich, aber insbesondere die Qualität der jeweiligen Komplikationen nur wenig bis kaum beschrieben wurde.

Eine Arbeit (Ejiri, 2012) hatte keinerlei Erhebung zu Komplikationen (Tab. 14). Zwei weitere (Michelotti 2014, Aslani 2012) geben keinerlei Komplikationen auf insgesamt 197 Operationen an. Bei Gümüstas, 2015 werden 3 Komplikationen innerhalb beider Gruppen angegeben. Dies umfasste eine Patientin bzw. einen Patienten in der OCTR Gruppe mit einer oberflächlichen Infektion, welche antibiotisch behandelt wurde. Sowie zwei Komplikationen in der ECTR Gruppe (Sehnenverletzung und rezidivierende Schmerz- und Taubheitssymptomatik).

Sreejith, 2015 beschreibt 2 leichte Komplikationen, in Form von „leichter Hämatabildung“, in der offenen Gruppe.

Zusammenfassend sind bei 4 der insgesamt 5 untersuchten Studien Komplikationen überhaupt als Kategorie erfasst. Innerhalb all dieser 4 Arbeiten, und der Summe von 258 Fällen, werden 5 Komplikationen (1,94%) beschrieben. Daraus können 3 Fälle (1,16%) der offenen Operationstechnik und 2 (0,78%) der endoskopischen zugeordnet werden.

### **Verblindung, Randomisierung**

Die Randomisierung wurde grundsätzlich bereits in Form der Eingrenzung auf LOE I überprüft, jedoch könnte entweder die Qualität selbst oder zumindest die Beschreibung der Art und Weise der Randomisierung verbessert werden.

Beginnend am Beispiel Sreejith 2015, wo keinerlei Aufzeichnung zum genauen Procedere der Randomisierung erhebbar sind, und man lediglich vom Titel her auf eine Randomisierung schließen kann. Als etwas detaillierteres Beispiel, Gümüstas 2015, bei dem „Kopf oder Zahl“ Randomisierung verwendet wurde. Sehr viel genauere Informationen, wie spezielle Randomisierungssoftware o.ä. wurde in keiner der Studien erwähnt oder näher beschrieben.

## 5 Conclusio

Gleichwohl, dass die Datenlage zur Frage der überlegenen Technik nach wie vor nicht eindeutig geklärt erscheint, dies konnte auch in dieser Arbeit bestätigt werden, lässt sich die Literatur und wissenschaftliche Meinung zu Vor- und Nachteilen der jeweiligen Technik, folgendermaßen subsumieren.

Die Vorteile einer endoskopischen Technik, wie etwa frühere Aufnahme der täglichen Aktivität oder bessere Ergebnisse in Bezug auf Kraft in den frühen postoperativen Phasen, stehen dem höheren Risiko einer Revisionsoperation oder einer – meist vorübergehenden – Nervenläsion gegenüber.

Ganz allgemein wäre es meiner Meinung nach sinnvoll einheitlichere Vorgaben zum Setting einer vergleichenden KTS Studie zu erstellen, um eine bessere Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Arbeiten zu gewährleisten.

Beispiele für derartig einheitlichere Kriterien wären u.a.:

- Zeiträume für den konservativen Behandlungszeitraum präoperativ (z.B. mind. 3 Monate)
- Mindestanforderung an die Randomisierung und Dokumentation darüber
- Mindestanzahl von FU-Zeitpunkten und im Besonderen Mindestdauer von FU-Zeiträumen (z.B. präoperativ, kurzfristig postoperativ, mittel- und/oder langfristig postoperativ)

Abseits der rein medizinisch-technischen Komponente stellt die Kostenanalyse einen meiner Meinung nach wichtigen aber häufig unzulänglich untersuchter Faktor dar. Sofern das ökonomische Kriterium überhaupt miteinbezogen wird, beläuft sich die Analyse in den allermeisten Fällen auf den reinen Vergleich des Eingriffs selbst. Interessant wäre es jedoch u.a. bei früherem Wiedereinstieg in das Berufsleben oder auch eine höhere Grundinvestition, z.B. der Technik für die Endoskopie, zu analysieren.

Die Ergebnisse zahlreicher Untersuchungen in den Jahren vor 2008 sowie die hier behandelten Studien der vergangenen 10 Jahre deuten auf die schnellere Rehabilitation und bessere Kraftsituation in der frühen postoperativen Phase der endoskopischen Methoden hin. Jedoch sind diese Unterschiede, nach spätestens sechs Monaten postoperativ, in den allermeisten Erhebungen nicht mehr erkennbar.

Sowohl die endoskopischen Verfahren als auch die offenen Varianten haben ihre jeweiligen Vor- und Nachteile. Es scheint nach wie vor keine eindeutig überlegene Variante zu geben. Vielmehr müssen die Faktoren der jeweiligen Technik individuell abgewogen und in die Aufklärung der Patientinnen und Patienten dementsprechend einbezogen werden.

Zusammenfassend scheint klar zu sein, dass hier Platz für weitergehende Studien besteht. Diese sollten möglichst einheitlichen Kriterien entsprechen, genauere Kostenanalysen sowie detaillierte Komplikationsdaten enthalten und den Einfluss der persönlichen Fertigkeit des durchführenden Chirurgen oder der Chirurgin miteinbeziehen.

## Literaturverzeichnis

1. Surgeons AAoO. Management of Carpal Tunnel Syndrome Evidence-Based Clinical Practice Guideline. [www.aaos.org/ctsguideline](http://www.aaos.org/ctsguideline). Published February 29, 2016. 2016:982.
2. [wellcomecollection.org](http://wellcomecollection.org). Sir James Paget by Jerrard [cited 2018 10.08.2018]. Available from: [https://wellcomecollection.org/works/tgt3vgsa?query=V0026959&wellcomeImageUrl=/in\\_dexplus/image/V0026959.html](https://wellcomecollection.org/works/tgt3vgsa?query=V0026959&wellcomeImageUrl=/in_dexplus/image/V0026959.html).
3. Paget J. The first description of carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Eur Vol.* 2007;32(2):195-7.
4. Phalen GS. The carpal-tunnel syndrome. Seventeen years' experience in diagnosis and treatment of six hundred fifty-four hands. *J Bone Joint Surg Am.* 1966;48(2):211-28.
5. Taylor CL, Schwarz RJ. The anatomy and mechanics of the human hand. *Artif Limbs.* 1955;2(2):22-35.
6. Aumüller G, Aust G, Doll A, Engele J, Kirsch J, Mense S, et al. *Duale Reihe Anatomie.* Stuttgart: Alexander and Konstatin Bob p. 2007:67-75.
7. Sobotta J, Paulsen F. *Allgemeine Anatomie und Bewegungsapparat.* München: Elsevier, Urban & Fischer; 2010.
8. Waldeyer A, Anderhuber F. *Waldeyer Anatomie des Menschen : Lehrbuch und Atlas in einem Band ; [44 Tabellen] ; Anatomie des Menschen: Berlin [u.a.] : de Gruyter , 2012. - XIX, 1176 S.; 2012.*
9. KG GT. *Handgelenke 2018* [cited 2018 21.04.2018]. Available from: <https://viamedici.thieme.de/lernmodule/anatomie/handgelenke>.
10. Aumüller G. *Duale Reihe, Anatomie. 3., aktualisierte Aufl. ed.* Stuttgart: Thieme; 2014. 1332 S. p.
11. Drake RL, Vogl W, Mitchell AWM, Gray H. *Gray's anatomy for students. 3. ed.* Philadelphia, Pa. u.a.: Churchill Livingstone Elsevier; 2015. XXV, 1161 S. p.
12. Schmidt H-M, Kohnle G, Lanz U. *Chirurgische Anatomie der Hand.* Stuttgart [u.a.]: Thieme; 2003.
13. Waldeyer A, Anderhuber F. *Abbildung, Palma manus und Regio carpalis anterior: Berlin [u.a.] : de Gruyter , 2012. - XIX, 1176 S.; 2012.*
14. *Medicine WUSo. Median Nerve* [cited 2018 10.08.2018]. Available from: <https://nervesurgery.wustl.edu/ap/upperextremity/median/Pages/default.aspx>.
15. Michael Schünke US, Erik Schulte. *Tiefer Hohlhandbogen und abzweigende Äste 2018* [Available from: <https://eref.thieme.de/cockpits/clAna0001/0/coAna00089/4-10616>].
16. Body. HGAotH. *Karpalkanal, Schnitt transversal* [cited 2018 05.06.2018]. Available from: <https://www.bartleby.com/107/illus422.html>.
17. Chammass M, Boretto J, Burmann LM, Ramos RM, Dos Santos Neto FC, Silva JB. Carpal tunnel syndrome - Part I (anatomy, physiology, etiology and diagnosis). *Rev Bras Ortop.* 2014;49(5):429-36.
18. Schmidt HM. [Surgical anatomy of the carpal tunnel]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2006;38(5):283-95.
19. Denman EE. The anatomy of the incision for carpal tunnel decompression. *Hand.* 1981;13(1):17-28.
20. Fuss FK, Wagner TF. Biomechanical alterations in the carpal arch and hand muscles after carpal tunnel release: a further approach toward understanding the function of the flexor retinaculum and the cause of postoperative grip weakness. *Clin Anat.* 1996;9(2):100-8.
21. Henle J. *Handbuch der Bänderlehre des Menschen: 2. Auflage.* Braunschweig : F. Vieweg, 1872.; 1872.

22. Assmus H. Das Karpaltunnelsyndrom: eine Übersicht für Ärzte aller Fachgebiete. Berlin u.a.: Springer; 2015. X, 51 S. p.
23. Wirth CJ, Mutschler W-E, Kohn D, Pohlemann T. Praxis der Orthopädie und Unfallchirurgie: Georg Thieme Verlag; 2013.
24. Geoghegan JM, Clark DI, Bainbridge LC, Smith C, Hubbard R. Risk factors in carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Br.* 2004;29(4):315-20.
25. Rosenbaum RB, Ochoa JL. Carpal tunnel syndrome and other disorders of the median nerve. 2nd ed. Woburn, MA: Butterworth/Heinemann; 2002. xix, 372 p. p.
26. Gillig JD, White SD, Rachel JN. Acute Carpal Tunnel Syndrome: A Review of Current Literature. *Orthop Clin North Am.* 2016;47(3):599-607.
27. Akgun AS, Ertan G, Ulus S. Acute carpal tunnel syndrome caused by thrombosed persistent median artery associated with bifurcated median nerve in a pregnant woman. *BMJ Case Rep.* 2017;2017.
28. Andersen JH, Fallentin N, Thomsen JF, Mikkelsen S. Risk factors for neck and upper extremity disorders among computers users and the effect of interventions: an overview of systematic reviews. *PLoS One.* 2011;6(5):e19691.
29. O'Connor D, Page MJ, Marshall SC, Massy-Westropp N. Ergonomic positioning or equipment for treating carpal tunnel syndrome. *Cochrane Database Syst Rev.* 2012;1:CD009600.
30. Elstner M, Bettecken T, Wasner M, Anneser F, Dichgans M, Meitinger T, et al. Familial carpal tunnel syndrome: further evidence for a genetic contribution. *Clin Genet.* 2006;69(2):179-82.
31. Assmus H, Antoniadis G, Bischoff C, Haussmann P, Martini AK, Mascharka Z, et al. [Diagnosis and therapy of carpal tunnel syndrome--guideline of the German Societies of Handsurgery, Neurosurgery, Neurology, Orthopaedics, Clinical Neurophysiology and Functional Imaging, Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery, and Surgery for Traumatology]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2007;39(4):276-88.
32. Assmus H, Schwerdtfeger K, Wustner-Hofmann M, Selbmann HK. [Development and implementation of the guideline "Diagnosis of and Therapy for Carpal Tunnel Syndrome"]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2007;39(4):289-92.
33. Lundborg Gr. Nerve injury and repair. Edinburgh ; New York: Churchill Livingstone; 1988. 222 p., 4 p. of plates p.
34. Ibrahim I, Khan WS, Goddard N, Smitham P. Carpal tunnel syndrome: a review of the recent literature. *Open Orthop J.* 2012;6:69-76.
35. Duncan SFM, Kakinoki R. Carpal tunnel syndrome and related median neuropathies : challenges and complications. Cham, Switzerland: Springer; 2017. xvi, 315 pages p.
36. Luchetti R, Amadio PC. Carpal tunnel syndrome. Berlin ; New York: Springer; 2007. xxiv, 405 p. p.
37. Hermiz SJ, Kalliainen LK. Evidence-Based Medicine: Current Evidence in the Diagnosis and Management of Carpal Tunnel Syndrome. *Plast Reconstr Surg.* 2017;140(1):120e-9e.
38. Ma H, Kim I. The diagnostic assessment of hand elevation test in carpal tunnel syndrome. *J Korean Neurosurg Soc.* 2012;52(5):472-5.
39. Geronguide. Tinel Zeichen [Available from: <http://www.geronguide.com/gallery/index.php/Carpal-Tunnel-Syndrome/carpal-tunnel-syndrome-diagnosis-01>.
40. Sansone JM, Gatzke AM, Aslinia F, Rolak LA, Yale SH. Jules Tinel (1879-1952) and Paul Hoffman (1884-1962). *Clin Med Res.* 2006;4(1):85-9.
41. DPT F. Phalen Test [Available from: <https://freedpt.wordpress.com/2016/10/07/phalens-test-phalens-maneuver/>.

42. Sawaya RA, Sakr C. When is the Phalen's test of diagnostic value: an electrophysiologic analysis? *J Clin Neurophysiol.* 2009;26(2):132-3.
43. Durkan JA. A new diagnostic test for carpal tunnel syndrome. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73(4):535-8.
44. Williams TM, Mackinnon SE, Novak CB, McCabe S, Kelly L. Verification of the pressure provocative test in carpal tunnel syndrome. *Ann Plast Surg.* 1992;29(1):8-11.
45. mycarpaltunnel.com. Beispiel des Aufbaus einer elektrophysiologischen Diagnostik [cited 2018 20.06.2018]. Available from: <https://www.mycarpaltunnel.com/testing-carpal-tunnel.shtml>.
46. Buchberger W. Radiologic imaging of the carpal tunnel. *Eur J Radiol.* 1997;25(2):112-7.
47. Karadag YS, Karadag O, Cicekli E, Ozturk S, Kiraz S, Ozbakir S, et al. Severity of Carpal tunnel syndrome assessed with high frequency ultrasonography. *Rheumatol Int.* 2010;30(6):761-5.
48. Jarvik JG, Yuen E, Haynor DR, Bradley CM, Fulton-Kehoe D, Smith-Weller T, et al. MR nerve imaging in a prospective cohort of patients with suspected carpal tunnel syndrome. *Neurology.* 2002;58(11):1597-602.
49. O'Connor D, Marshall S, Massy-Westropp N. Non-surgical treatment (other than steroid injection) for carpal tunnel syndrome. *Cochrane Database Syst Rev.* 2003(1):CD003219.
50. Martins RS, Siqueira MG. Conservative therapeutic management of carpal tunnel syndrome. *Arq Neuropsiquiatr.* 2017;75(11):819-24.
51. Wiperman J, Goerl K. Carpal Tunnel Syndrome: Diagnosis and Management. *Am Fam Physician.* 2016;94(12):993-9.
52. Turner A, Kimble F, Gulyas K, Ball J. Can the outcome of open carpal tunnel release be predicted?: a review of the literature. *ANZ J Surg.* 2010;80(1-2):50-4.
53. Gerritsen AA, Korthals-de Bos IB, Laboyrie PM, de Vet HC, Scholten RJ, Bouter LM. Splinting for carpal tunnel syndrome: prognostic indicators of success. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2003;74(9):1342-4.
54. Scholten RJ, Gerritsen AA, Uitdehaag BM, van Geldere D, de Vet HC, Bouter LM. Surgical treatment options for carpal tunnel syndrome. *Cochrane Database Syst Rev.* 2004(4):CD003905.
55. Aszmann OC, Kress KM, Dellon AL. Results of decompression of peripheral nerves in diabetics: a prospective, blinded study. *Plast Reconstr Surg.* 2000;106(4):816-22.
56. Assmus H, Hashemi B. [Surgical treatment of carpal tunnel syndrome in pregnancy: results from 314 cases]. *Nervenarzt.* 2000;71(6):470-3.
57. Padua L, Di Pasquale A, Pazzaglia C, Liotta GA, Librante A, Mondelli M. Systematic review of pregnancy-related carpal tunnel syndrome. *Muscle Nerve.* 2010;42(5):697-702.
58. Grundberg AB, Reagan DS. Compression syndromes in reflex sympathetic dystrophy. *J Hand Surg Am.* 1991;16(4):731-6.
59. Hobby JL, Venkatesh R, Motkur P. The effect of age and gender upon symptoms and surgical outcomes in carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg Br.* 2005;30(6):599-604.
60. Capasso M, Manzoli C, Uncini A. Management of extreme carpal tunnel syndrome: evidence from a long-term follow-up study. *Muscle Nerve.* 2009;40(1):86-93.
61. Lukes S. Die drei operativen Methoden im Überblick, Schema [Available from: <https://www.saintlukeskc.org/health-library/carpal-tunnel-release-surgery>].
62. Bromley GS. Minimal-incision open carpal tunnel decompression. *J Hand Surg Am.* 1994;19(1):119-20.
63. Huang JH, Zager EL. Mini-open carpal tunnel decompression. *Neurosurgery.* 2004;54(2):397-9; discussion 9-400.

64. Wnorowski DC, Mosher JF. Carpal collapse and Sudeck's atrophy. *J Hand Surg Am.* 1992;17(4):773-6.
65. Richter VM, Bruser P. [Surgical treatment of carpal tunnel syndrome: a comparison between long and short incision and endoscopic release]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 1996;28(3):160-6.
66. Cannon BW, Love JG. Tardy median palsy; median neuritis; median thenar neuritis amenable to surgery. *Surgery.* 1946;20:210-6.
67. Watchmaker GP, Weber D, Mackinnon SE. Avoidance of transection of the palmar cutaneous branch of the median nerve in carpal tunnel release. *J Hand Surg Am.* 1996;21(4):644-50.
68. Cosmecto. Carpal Tunnel Release Surgery – Procedure, Treatment, and Recovery 2018 [cited 2018 20.08.2018]. Available from: <http://www.cosmecto.com/blog/carpal-tunnel-release-surgery-procedure-treatment-recovery/>.
69. Higgins JP, Graham TJ. Carpal tunnel release via limited palmar incision. *Hand Clin.* 2002;18(2):299-306.
70. Schmidt W, Gruber AA, Hammer R. [Results of different incisions in treatment of carpal tunnel syndrome]. *Handchir Mikrochir Plast Chir.* 2000;32(1):67-9.
71. Wilson KM. Double incision open technique for carpal tunnel release: an alternative to endoscopic release. *J Hand Surg Am.* 1994;19(6):907-12.
72. Okutsu I, Ninomiya S, Takatori Y, Ugawa Y. Endoscopic management of carpal tunnel syndrome. *Arthroscopy.* 1989;5(1):11-8.
73. Chow JC. Endoscopic release of the carpal ligament: a new technique for carpal tunnel syndrome. *Arthroscopy.* 1989;5(1):19-24.
74. Arthrex. Centerline™ Endoscopic Carpal Tunnel Release Technique [cited 2018 10.08.2018]. Available from: <https://www.arthrex.com/hand-wrist/centerline-endoscopic-carpal-tunnel-release-technique>.
75. Agee JM, McCarroll HR, Jr., Tortosa RD, Berry DA, Szabo RM, Peimer CA. Endoscopic release of the carpal tunnel: a randomized prospective multicenter study. *J Hand Surg Am.* 1992;17(6):987-95.
76. Chow JC. The Chow technique of endoscopic release of the carpal ligament for carpal tunnel syndrome: four years of clinical results. *Arthroscopy.* 1993;9(3):301-14.
77. loptonline.com. Dividing Transverse Carpal Ligament [cited 2018 20.08.2018]. Available from: <https://loptonline.com/patient-education/injuries-conditions/hand-issues/carpal-tunnel-syndrome/>.
78. PubMed. Suchstrategie PubMed, Screenshot [Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>].
79. WoS. Suchstrategie WoS, Screenshot [Available from: [http://apps-1webofknowledge-1com-100138d052ed9.han.medunigraz.at/WOS\\_GeneralSearch\\_input.do?product=WOS&search\\_mode=GeneralSearch&SID=D3WS77lvaCGvnWq76D6&preferencesSaved=](http://apps-1webofknowledge-1com-100138d052ed9.han.medunigraz.at/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=D3WS77lvaCGvnWq76D6&preferencesSaved=)].
80. CITHAL. Suchstrategie CITHAL, Screenshot [Available from: <http://web-1b-1ebsohost-1com-1001372052ed7.han.medunigraz.at/ehost/search/advanced?vid=8&sid=b8cbc413-716f-4404-82dd-d9fbd27fb38b%40pdc-v-sessmgr03>].
81. Penev P, Iliev B, Boshnakov D, Ganchev G, Tabakov A, editors. Comparative analysis of mini-invasive endoscopic treatment versus open treatment of carpal tunnel syndrome. *European Journal of Medical Research*; 2009.
82. Sreejith TG, H. MA. A Prospective Randomized Study On The Clinico - Electrophysiological Results Of Open And Endoscopic Carpal Tunnel Release Surgeries 2015. 13680-7 p.

83. Gumustas SA, Ekmekci B, Tosun HB, Orak MM, Bekler HI. Similar effectiveness of the open versus endoscopic technique for carpal tunnel syndrome: a prospective randomized trial. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2015;25(8):1253-60.
84. Michelotti B, Romanowsky D, Hauck RM. Prospective, randomized evaluation of endoscopic versus open carpal tunnel release in bilateral carpal tunnel syndrome: an interim analysis. *Ann Plast Surg.* 2014;73 Suppl 2:S157-60.
85. Ejiri S, Kikuchi S, Maruya M, Sekiguchi Y, Kawakami R, Konno S. Short-term results of endoscopic (Okutsu method) versus palmar incision open carpal tunnel release: a prospective randomized controlled trial. *Fukushima J Med Sci.* 2012;58(1):49-59.
86. Aslani HR, Alizadeh K, Eajazi A, Karimi A, Karimi MH, Zaferani Z, et al. Comparison of carpal tunnel release with three different techniques. *Clin Neurol Neurosurg.* 2012;114(7):965-8.

