

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
-Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Michael J. Raschke-

Langzeitergebnisse der primären Nervennaht nach Durchtrennung des Nervus
medianus und Nervus ulnaris – ein Vergleich gemeinsamer Score-Systeme

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des doctor medicinae
der medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Kruse, Katrin

aus Herford

2006

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-
Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Heribert Jürgens

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Marc Schult

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. med. Christian Götze

Tag der mündlichen Prüfung: 11.01.2006

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie
-Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Michael J. Raschke-
Referent: Priv.-Doz. Dr. med. Marc Schult
Koreferent: Priv.-Doz. Dr. med. Christian Götze

Zusammenfassung

Langzeitergebnisse der primären Nervennaht nach Durchtrennung des Nervus medianus und Nervus ulnaris – ein Vergleich gemeinsamer Score-Systeme
Kruse, Katrin

Das Ziel der retrospektiven Studie war die Analyse der Langzeitergebnisse von primären Nervennahten des Nervus medianus und Nervus ulnaris mit einer Kombination aus Score-Systemen, die sowohl die Sensomotorik als auch die Patientenzufriedenheit berücksichtigt. Weiterhin wurde nach klinischen Faktoren recherchiert, die Einfluß auf die Nervenregeneration haben. Dazu wurden 65 Patienten mit insgesamt 71 Nervendurchtrennungen des Nervus medianus und Nervus ulnaris, die zwischen 1990 und 2001 in der Handchirurgie der Universitätsklinik Münster behandelt wurden, im Durchschnitt 8,2 Jahre nach primärer Nervennaht nachuntersucht. Das Patientenalter lag zum Zeitpunkt der Verletzung im Mittel bei 28,4 Jahren. Der DASH-Score, das Rosén Handprotokoll und die Highet-Skala bildeten die Grundlage der klinischen Untersuchung. Die Patienten erlangten im Durchschnitt 70% der normalen Handfunktion zurück. Obwohl die motorische Nervenregeneration nach Durchtrennung des Nervus ulnaris schlechter war, wurden keine signifikanten Unterschiede in den Gesamtergebnissen zwischen den beiden Nerven beobachtet. Weder begleitende Arterien- und Beugesehnenverletzungen noch die Nervennahttechnik beeinflussten die Nervenregeneration. Das Patientenalter bestätigte sich als der wichtigste beeinflussende Faktor auf die Nervenregeneration.

Die Ergebnisse des DASH-Score, des Rosén-Score und der Highet-Skala korrelieren signifikant ($p < 0,01$). Der Rosén-Score war eine Ergänzung zum DASH – Score. Die 3 Faktorenanalyse der Kombination erklärte 83,5% der Varianz der Ergebnisse. Zur Beurteilung des Operationserfolges möchten wir die Wichtigkeit der Patienteneinschätzung zu den Aktivitäten des täglichen Lebens hervorheben und empfehlen zu diesem Zweck eine Kombination aus DASH-Score und Rosén-Score.

Tag der mündlichen Prüfung: 11.01.2006

Inhaltsverzeichnis

| | Seite |
|--|-------|
| Kapitel 1: Einleitung | |
| 1.1 Darstellung der Anatomie | 1 |
| 1.2 Historische Entwicklung | 2 |
| 1.3 Zelluläre Regenerationsmechanismen | 4 |
| 1.4 Fragestellung und Zielsetzung | 6 |
| | |
| Kapitel 2: Patienten und Methode | |
| 2.1 Patienten | 7 |
| 2.2 Umfang der Operation | 8 |
| 2.3 Scoring-Systeme | |
| 2.3.1 DASH-Score Version 2.0 | 13 |
| 2.3.2 Protokoll zur Dokumentation der Handfunktion nach Nervenverletzungen Rosén B, Lundborg G et al. | 15 |
| 2.3.3 Modifizierte Highet-Skala nach Dellon et al. | 27 |
| 2.4 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse | 27 |
| | |
| Kapitel 3: Ergebnisse | |
| 3.1 Patienten | 29 |
| 3.2 Art der Nervenverletzung | 31 |
| 3.3 Operationsverfahren | 40 |
| 3.4 Höhe der Nervenverletzung | 44 |

| | | |
|------------------------------|---|-----------|
| 3.5 | Seite der Nervenverletzung | 47 |
| 3.6 | Zeit von der Operation bis zur Nachuntersuchung | 48 |
| 3.7 | Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Nervendurchtrennung | 50 |
| 3.8 | Sensibilität | 57 |
| 3.9 | Motorik | 61 |
| 3.10 | Lebensqualität/ Patientenzufriedenheit | 66 |
| 3.11 | Gesamtergebnisse im Handprotokoll nach Rosén et al. | 70 |
| Kapitel 4: Diskussion | | 73 |
| Literaturverzeichnis | | 89 |
| Abbildungsverzeichnis | | 110 |
| Lebenslauf | | 111 |
| Danksagung | | 114 |
| Anhang | | I |

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Darstellung der Anatomie

Der Plexus brachialis wird von den Rami anteriores der Spinalnerven aus den Segmenten C5 bis Th1, sowie mit kleineren Bündeln aus C4 und Th2 gebildet und innerviert die Schulter und den Arm. Topographisch lässt sich der Plexus brachialis in einen supraklavikulären Teil, der sich von der Wirbelsäule bis zur unteren Fläche der Klavikula erstreckt und in einen infraklavikulären Teil, der sich von der unteren Fläche der Klavikula bis in die Achselhöhle erstreckt, gliedern. Die Pars infraclavicularis beginnt mit drei Faszikeln für den Arm und für einen Teil der Schulter: Fasciculus lateralis, Fasciculus medialis und Fasciculus posterior. (87)

Der Nervus medianus entsteht mit der lateralen Wurzel aus dem Fasciculus lateralis und mit der medialen Wurzel aus dem Fasciculus medialis. Beide Wurzeln des Nervus medianus vereinigen sich in der Medianusgabel. Der Nervus medianus verläuft gemeinsam mit der Arteria brachialis im Bindegewebe am Septum intermusculare brachii mediale entlang in die Ellenbeuge; dann unter der Aponeurosis muscoli bicipitis brachii zum Unterarm, wo er den Musculus pronator teres durchbohrt. Anschließend verläuft er zwischen den oberflächlichen und tiefen Flexoren, unter dem Retinaculum flexorum durch den Canalis carpi zur Hohlhand. Der Nervus medianus versorgt am Unterarm alle Flexoren mit Ausnahme des Musculus flexor carpi ulnaris und dem

ulnaren Teil des Musculus flexor digitorum profundus; an der Hand die Musculi lumbricales I und II sowie von den Thenarmuskeln den Musculus abductor pollicis brevis, Musculus opponens pollicis und den oberflächlichen Kopf des Musculus flexor pollicis brevis. Sensibel versorgt der Nervus medianus palmar die Haut der radialen 3 1/2 Finger und dorsal die Haut der Endglieder dieser Finger. (87)

Der Nervus ulnaris entsteht aus dem Fasciculus medialis. Am Oberarm verläuft der Nervus ulnaris auf der medialen Seite hinter dem Septum intermusculare brachii mediale zum Sulcus nervus ularis an der Unterseite des Epicondylus medialis. Dann dringt er zwischen Caput humorale und Caput ulnare des Musculus flexor carpi ulnaris zur Beugeseite des Unterarms vor und zieht unter diesem Muskel mit der Arteria ulnaris über Retinaculum flexorum hinweg zur Hand. Der Nervus ulnaris versorgt motorisch den Musculus flexor carpi ulnaris , den ulnaren Teil des Musculus flexor digitorum , alle Hypothenarmuskeln, einen Teil der Thenarmuskeln, alle Musculi interossei und die Musculi lumbricales III und IV. Sensibel versorgt der Nervus ulnaris palmar die Haut der ulnaren 1 1/2 und dorsal 2 1/2 Finger. (87)

1.2 Historische Entwicklung

Die Behandlung peripherer Nervendurchtrennung durch primäre Nervennaht gewann in den letzten 2 Jahrhunderten an Bedeutung. Während des Bürgerkrieges leitete Mitchell die ersten klinischen Beobachtungen von Nervenverletzungen (105). Im 1. Weltkrieg beschäftigte sich Tinel mit dem Thema Nervenverletzungen. Tinel unterschied

„Kribbeln“ als ein Zeichen der Axonregeneration von Schmerz, als Zeichen der Nervenirritation (98). Seddon und Woodhall erklärten in ihrer Arbeit die Standards der modernen Nervennaht und Transplantation und sicherten bestehende Prinzipien der sekundären Nervennaht (89,107). 1952 klassifizierte Seddon die Nervenläsionen anhand anatomischer Leitstrukturen in Neuropraxie, Axonotmesis und Neurotmesis (88). Sunderland erweiterte die Klassifikation von Seddon (94):

Grad I:

Unterbrechung der axonalen Leitung auf der verletzten Seite. Die axonale Kontinuität bleibt erhalten. Es kann zur segmentalen Demyelinisierung ohne Wallersche Degeneration kommen. Der Zustand ist komplett reversibel.

Grad II:

Das Axon ist durchtrennt und schwindet unter die Verletzungshöhe. Das Endoneurium bleibt erhalten. Die komplette Wiederherstellung wird erwartet.

Grad III:

Das Axon ist durchtrennt und zerfällt in die Wallersche Degeneration. Das Endoneurium verliert seine Kontinuität und die Organisation der internen Strukturen der Faszikel geht verloren.

Grad IV:

Totale Zerstörung der inneren Architektur des Nerven, aber mit Erhaltung der Kontinuität des Nervenstammes durch das Epineurium. Ein Neurom gestaltet die Verletzung. Eine spontane Wiederherstellung kann erreicht werden, jedoch selten ein brauchbarer Grad der Wiederherstellung.

Grad V:

Der Nervenstamm verliert seine Kontinuität.

Die Arbeit von Sunderland führte zu modernen Konzepten der Gruppenfaszikelnaht und zu deren Wiederherstellung (105). Jacobson zeigte 1963, dass durch den Gebrauch des Mikroskops das Trauma der peripheren Nerven Chirurgie reduziert und exaktere Adaptationen der Nervenstümpfe ermöglicht werden konnte (41). Ein Jahr später berichteten Smith (92), Kurtze (49), Michon und Masse (62) von mikroskopischen Nerven nähten. In den folgenden Jahren wurden Zweifel laut über den Wert der mikrochirurgischen Technik (9,25).

1.3 Zelluläre Regenerationsmechanismen

Nach einer Nervendurchtrennung durchlaufen die Zellkörper charakteristische strukturelle und funktionelle Veränderungen (33,34,52).

Distales Nervensegment:

Am distalen Ende des Nerven kommt es zur Waller Degeneration. Das axoplasmatische Zytoskelett zerfällt. Das Myelin wird von den Schwann-Zellen und Makrophagen phagozytiert. Durch die Kontinuitätsunterbrechung des Axons kommt es zur starken Proliferation der Schwann-Zellen. Die Schwann-Zellen bilden Säulen (Büngner Band). Es kommt ebenfalls zu einer progressiven Zunahme des Kollagengehaltes des distalen Segmentes mit der daraus resultierenden Reduzierung des Endoneuralrohres. (55)

Proximales Nervensegment:

Das Volumen des Zellkörpers nimmt zu, der Zellkern wird in die Peripherie gedrängt, das Zytoplasma verändert seine Struktur (Chromatolyse). Die Reaktion der Zellkörper kann variieren: proximale Läsionen veranlassen eventuell den Tod des Zellkörpers (55). Die intrazellulären Veränderungen erreichen ihren Höhepunkt in der 2. und 3. Woche nach der Verletzung (21,48). Innerhalb der ersten Tage nach der Nervendurchtrennung kommt es im proximalen Nervenende zur Produktion von Kollateralen und terminalen Knospen, die nach distal vordringen (55). Die durchschnittliche Wachstumsrate des Nerven wird mit 1 bis 2 Millimeter pro Tag geschätzt (10,89). Es kommt zur zeitlichen Reduktion der Knospenzahl, wenn einige Knospen periphere Verbindungen hergestellt haben und heranreifen auf Kosten der verschwindenden Knospen (85).

Chemotaxis oder Neurotropismus sind wichtige Mechanismen zur Regulation des Wachstums des regenerierenden Nerven (14,23,50,54).

1.4 Fragestellung und Zielsetzung

Standard nach einer kompletten Nervendurchtrennung des Nervus medianus und des Nervus ulnaris ist die primäre mikrochirurgische Nervennaht (7). Obwohl sich die Operationstechniken immer wieder verbessert haben, wird eine Restitutio ad integrum nur in den seltensten Fällen erreicht.

In vielen Studien wurde der Operationserfolg anhand der Wiedererlangung der sensomotorischen Funktionen erhoben. Dieses ist nicht aussagekräftig genug, weil das Ergebnis der Nervennaht von der Patienteneinschätzung in den Aktivitäten des täglichen Lebens beeinflusst wird.

Das Ziel unserer Studie war es deshalb, Langzeitergebnisse nach Nervendurchtrennungen mit einer Kombination von Score-Systemen zu untersuchen, das sowohl die Sensomotorik als auch die Patientenzufriedenheit berücksichtigt. Außerdem sollten weitere beeinflussende Faktoren identifiziert werden: das Patientenalter, die Höhe der Nervenverletzung, das Operationsverfahren, der Nerventyp und die Art der Begleitverletzungen.

Kapitel 2

Patienten und Methode

2.1 Patienten

In der retrospektiven Studie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster über das Thema „Langzeitergebnisse der primären Nervennaht nach Durchtrennung des Nervus medianus und des Nervus ulnaris – ein Vergleich gemeinsamer Score Systeme“ wurden 64 Patienten, 24 (37,5%) weibliche und 40 (62,5%) männliche Patienten, untersucht. Alle Patienten hatten eine Nervenverletzung am Unterarm oder im Bereich des Handgelenkes. Die Nervendurchtrennungen wurden in der Zeit vom 01.01.1990 bis zum 31.12.2002 mikrochirurgisch mit einer primären Nervennaht in der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Universität Münster versorgt.

Mit Hilfe der Operationsbücher von 1990 bis 1997 und 2002, sowie der Stationsbücher von 1998 bis 2001 der Klinik und Poliklinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster wurden die Patienten ermittelt, die sich eine Durchtrennung des Nervus medianus und des Nervus ulnaris zugezogen hatten und mit einer primären Nervennaht mikrochirurgisch versorgt wurden. 79 Nervendurchtrennungen wurden mit Hilfe dieser Methode ermittelt und schriftlich zu einer Nachuntersuchung in die Klinik und Poliklinik für Unfall-,

Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Universität Münster eingeladen. 64 Patienten mit 71 (89,9%) Nervendurchtrennungen konnten nachuntersucht werden.

Die 71 Nervendurchtrennungen verteilten sich folgendermaßen auf die einzelnen Nerven: Es gab insgesamt 43 (60,6%) Durchtrennungen des Nervus medianus, darunter 35 (49,3%) komplette und 8 (11,3%) Teildurchtrennungen. Der Nervus ulnaris war 28 (39,4%) mal komplett durchtrennt. Eine Teildurchtrennung des Nervus ulnaris gab es in dieser Studie nicht. Die 3 Gruppen wurde getrennt betrachtet.

57 Patienten (89,1%) hatten eine einzelne Nervendurchtrennung und 7 (10,9%) Patienten eine Durchtrennung beider Nerven.

Die Altersverteilung zum Zeitpunkt der Nervenläsion lag zwischen 2,3 und 69,3 Jahren. Der Median lag bei 28,4 Jahren.

Die Nachuntersuchung erfolgte in einem Zeitraum von 1 bis 12,9 Jahren nach der Nervennaht. Im Durchschnitt fand die Nachuntersuchung nach 8,1 +/- 3,3 Jahren statt.

2.2 Umfang der Operation

Die Versorgung der Nervenverletzungen erfolgte mikrochirurgisch mit einer 10-0 Nylon Naht. Es wurden ausschließlich Patienten mit einer primären Nervennaht untersucht.

Zwei Operationstechniken wurden angewendet: die epineurale und die interfaszikuläre Nervennaht.

Epineurale Nervennaht

Bei dieser Technik wird nur das Epineurium genäht. Eine Adaptation einzelner Faszikel findet nicht statt (68). Zuerst werden der distale und proximale Nervenstumpf vom umgebenden Gewebe isoliert (105). Der Nervenstumpf wird im gesunden Gewebe reseziert und danach fixiert. Durch einzelne Nähte im Epineurium werden beide Nervenstümpfe miteinander verbunden (64).

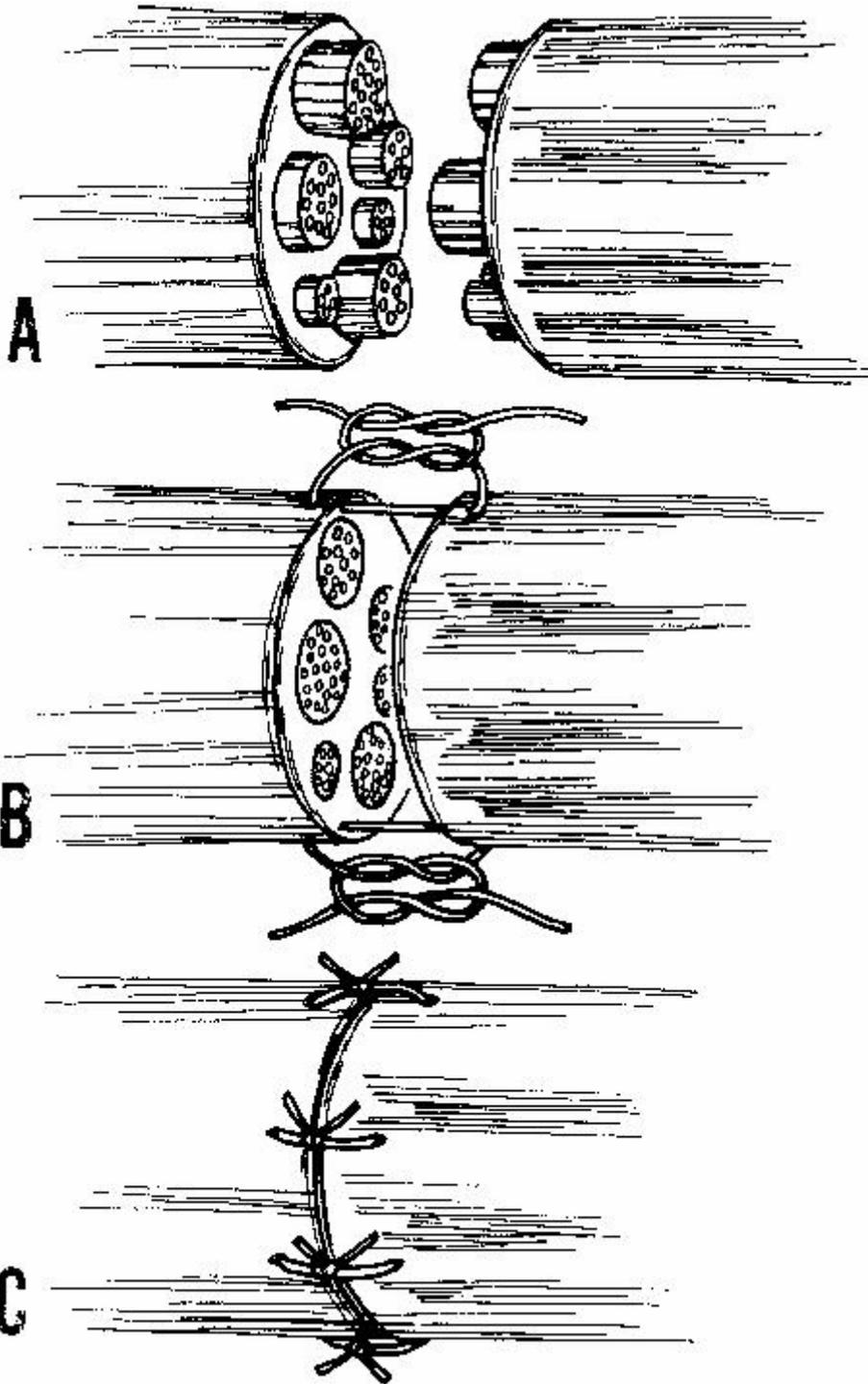


Abbildung 1: Epineurale Nervennaht

(Quelle: Wilgis EFS, Brunshart TM. Nerve repair and grafting.

In: Greens Operative Hand Surgery pp.1315 – 1340 3rd ED

Churchill Livingstone,1993)

Interfaszikuläre Nervennaht

Bei dieser Nahttechnik werden die einzelnen Faszikel adaptiert (68). Das epifaszikuläre Epineurium wird am proximalen und distalen Nervenstumpf eingeschnitten. Einzelne Faszikelgruppen werden isoliert. Die einzelnen Faszikel werden im gesunden Gewebe reseziert. Danach werden einzelne Faszikel oder Faszikelgruppen durch Nähte im interfaszikulären Gewebe verbunden (64).

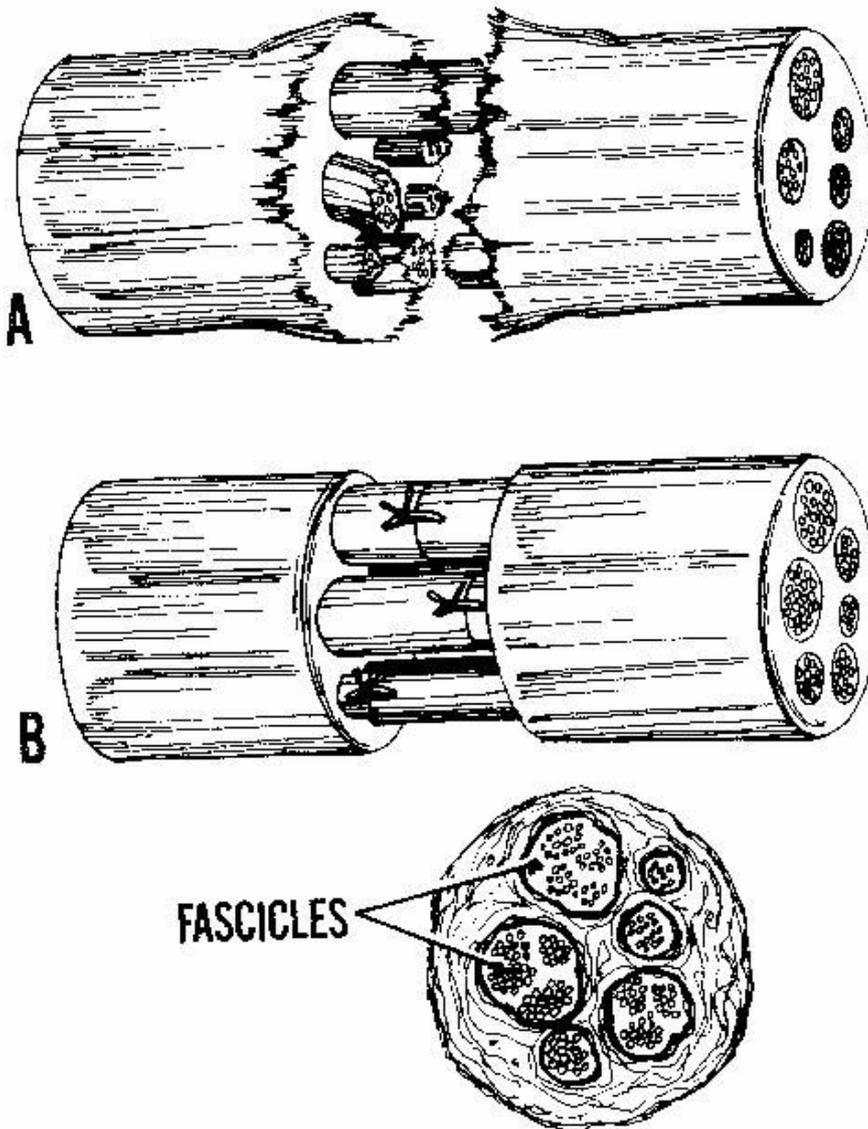


Abbildung 2: Faszikuläre Nervennaht

(Quelle: Wilgis EFS, Brunshart TM. Nerve repair and grafting.

In: Greens Operative Hand Surgery pp.1315 – 1340 3rd ED

Churchill Livingstone,1993)

Begleitende Zusatzverletzungen bei Nervendurchtrennungen waren Arterien- und Sehnenverletzungen. 62% der Patienten hatten zusätzlich eine Sehrendurchtrennung

und 35,2% eine Arterienverletzung. Komplexe Verletzungen mit Durchtrennung aller Strukturen hatten 31% der Patienten.

Beugesehnenverletzungen wurden operativ mit der Nahttechnik nach Kirchmayr/Kessler versorgt.

Eine isolierte Nervenverletzung und Nervenverletzungen mit begleitender Arterienverletzung wurden 3 Wochen mit einem Unterarmgips zur Ruhigstellung des Handgelenkes behandelt.

Nervenverletzungen mit begleitender Sehnenverletzung wurden mit einem Kleinert-Gips behandelt.

2.3 Scoring Systeme

2.3.1 DASH-Score Version 2.0

Die Abkürzung DASH steht für Disabilities of Arm, Shoulder and Hand (31,91), und ist eine Möglichkeit zur Evaluation der Handfunktion nach Nervenverletzungen des Nervus medianus und des Nervus ulnaris. Der Patient trifft die Einschätzung hinsichtlich der Schwierigkeiten mit dem Arm oder der Hand bezüglich der Aktivitäten und Symptome selber. Der DASH-Score gibt die subjektive Meinung des Patienten über

die Zufriedenheit des Ergebnisses der Hand- oder Armfunktion nach Nervendurchtrennung wieder.

Der DASH-Score besteht aus 30 Fragen und beinhaltet die Bereiche Aktivitäten des täglichen Lebens, Freizeitaktivitäten, Schmerzen im Arm oder Hand, Rollenverhalten und soziale Kontakte. Dem Patienten stehen 5 Antwortmöglichkeiten zur Verfügung. Die Skala reicht von „keine Schwierigkeiten“ oder „keine Symptome“ bis „Aktivität ist nicht möglich“ oder „sehr starke Symptome“ (Tabelle 1) (31). Das Mindestergebnis pro Frage beträgt 1 Punkt, das Höchstergebnis 5 Punkte. Ein niedriger Wert bedeutet keine oder nur sehr geringe Einschränkungen, ein hoher Wert erhebliche Schwierigkeiten.

Die Punkte der einzelnen Fragen werden addiert und ergeben den Rohwert. Der niedrigste Rohwert beträgt 30 Punkte und der höchste 150 Punkte (91).

Das Ergebnis errechnet sich nach der Formel:

$$\frac{\text{Rohwert} - \text{niedrigst möglicher Rohwert}}{\text{mögliche Spanne des Rohwerts} / 100} = \text{DASH-Score (31)}$$

Die mögliche Spanne ist der erreichte Rohwert minus dem niedrigsten Rohwert und liegt zwischen 0 und 120.

Das Ergebnis aus der Rechnung Rohwert minus niedrigst möglicher Rohwert dividiert durch die mögliche Spanne wird mit 100 multipliziert.

Das Endergebnis liegt zwischen 0 Punkten und 100 Punkten (31,91).

Ein niedriger DASH-Score bedeutet, dass der Patient keine oder geringe Einschränkungen hat; ein hoher DASH-Score weist hingegen auf erhebliche Einschränkungen hin.

Der DASH-Score wurde dem Patienten als Postfragebogen zugesandt.

2.3.2 Protokoll zur Dokumentation der Handfunktion nach Nervenverletzungen nach Rosén B, Lundborg G et al.

Das Protokoll ist eine Möglichkeit zur Dokumentation und Quantifikation des funktionellen Ergebnisses der Handfunktion nach einer Nervenverletzung des Nervus medianus oder des Nervus ulnaris (Tabelle 2) (82). Der Inhalt besteht aus objektiven Tests zur Untersuchung der Handfunktion und der subjektiven Einschätzung des Patienten hinsichtlich Kälteintoleranz und Hyperästhesie. Das Protokoll beinhaltet ein Score System.

Insgesamt besteht das Protokoll aus 3 Teilen: einem sensorischen und einem motorischen Teil, sowie dem Bereich Schmerz/ Discomfort.

Sensorischer – Teil:

Die Inhalte des sensorischen Teils sind die Innervation, die Zwei-Punkte-Diskrimination und die Fingergeschicklichkeit.

a) Innervation:

Die sensorische Innervation wurde mit Hilfe der Semmes–Weinstein Monofilamente (Touch Test Sensory Evaluator, North Coast Medical Inc. USA), bestehend aus 5 Proben der Stärke 2,83 bis 6,65, getestet.

Der Test wird bei Patienten mit einer Verletzung des Nervus medianus am Digiti II distal des Articulationis interphalangeales und distal des Articulationis metacarpophalangeales sowie am Digiti I distal des Articulationis interphalangeales durchgeführt.

Bei Patienten mit einer Verletzung des Nervus ulnaris wird der Test am Digiti V distal des Articulationis interphalangeales und distal des Articulationis metacarpophalangeales sowie an der Hypothenarmuskulatur durchgeführt.



Abbildung 3: Testpunkte der sensorischen Funktion mit den Semmes–Weinstein Monofilamenten nach Verletzung des Nervus medianus und des Nervus ulnaris

(Quelle: Rosén B, Lundborg G. A model instrument for the documentation of outcome after Nerve repair. J Hand surgery 2000; 25A: 535 – 543)

Der Test wird von distal nach proximal an der verletzten Hand durchgeführt. Es wird mit der Probe der Stärke 2,83 begonnen. Nimmt der Patient keinen Reiz wahr, wird der Test mit der Probe der nächst höheren Stärke fortgesetzt.

Der Score der Proben liegt zwischen 0 und 5. Die Probe der Stärke 2,83 hat einen Score von 5 (82), der jeweils an den 3 Teststellen bei Wahrnehmung des Reizes vergeben wird. Das normale Ergebnis liegt bei Verletzung eines Nerven bei 15 und bei Verletzung beider Nerven bei 30 (82). Der Score 0 wird vergeben, wenn der Patient keinen Reiz bei der Testung der Probe der Stärke 6,65 wahrnimmt. Das Ergebnis an der

verletzten Hand liegt zwischen 0 und 15 bei Verletzung eines Nerven und zwischen 0 und 30 bei Verletzung beider Nerven.

Patientenwert

----- = Ergebnis

maximaler Wert



Abbildung 4: Semmes-Weinstein Monofilamante

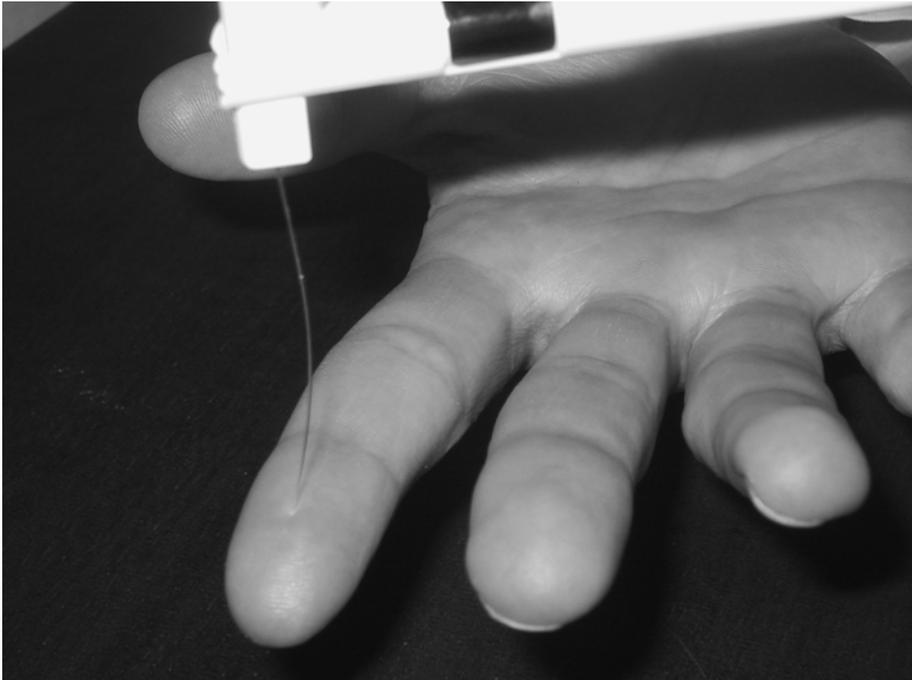


Abbildung 5: Anwendung der Monofilamente zur Diagnostik

b)Taktile Empfindung:

Dieser Bereich beinhaltet die Zwei-Punkte-Diskrimination und die Oberflächenerkennung.

Zwei – Punkte – Diskrimination:

In diesem Test wird die statische Zwei-Punkte-Diskrimination nach Moberg (67) angewendet mit Hilfe des Dellon Discriminator (Sensory Management Services LLC, Lutherville, MD USA). Die Abstände der Nadeln, die bei der Untersuchung zur Anwendung kommen, betragen weniger als 5 Millimeter, 6–10 Millimeter, 11–15 Millimeter und mehr als 16 Millimeter.

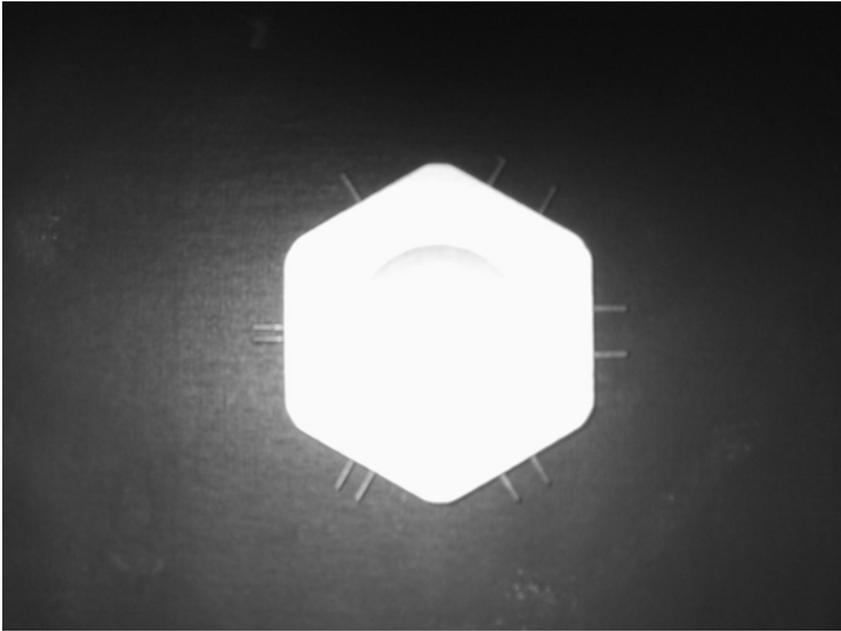


Abbildung 6: Dellon Diskriminator

Die zu testenden Punkte liegen sowohl bei Verletzung des Nervus medianus als auch bei Verletzung des Nervus ulnaris am Digiti II und am Digiti V distal des Articulationis interphalangeales.

Der Test wird bei geschlossenen Augen durchgeführt und beginnt mit einem Abstand der Nadel von weniger als 5 Millimeter. Nimmt der Patient statt 2 Punkte nur einen oder gar keinen Punkt wahr, wird der Test mit dem nächst größeren Abstand der Nadeln fortgesetzt.

Der Score in diesem Test liegt zwischen 0 und 3 (82). Das normale Ergebnis liegt bei 3, wenn bei einem Abstand der Nadeln von weniger als 5 Millimeter zwei Punkte getrennt voneinander wahrgenommen werden (11,73).

Form/ Oberflächenidentifikation (shape / texture identifikation):

In diesem Test soll der Patient 3 Formen und 3 Oberflächen mit steigendem Schwierigkeitsgrad (82) und bei geschlossenen Augen erkennen. Bei Patienten mit einer Verletzung des Nervus medianus wird der Test am Digiti II und bei Verletzung des Nervus ulnaris am Digiti V der betroffenen Hand durchgeführt. Sind beide Nerven verletzt, wird der Test nur am Digiti II durchgeführt.

Die 3 Formen waren in der Studie ein Würfel, eine Kugel und ein 2 Euro Geldstück.

Die 3 Oberflächen waren in der Studie glatt, feinkörnig und grobkörnig beschaffen.

Der Score in diesem Test liegt zwischen 0 und 6. Für jede richtig erkannte Form und Oberfläche wird jeweils der Wert 1 vergeben. Der normale Score ist 6 (81), wenn alle 3 Formen und alle 3 Oberflächen richtig erkannt werden.

c) Fingergeschicklichkeit:

Dieser Bereich beinhaltet die Aufgaben 4, 8 und 10 aus dem Sollerman hand function test (93).

Aufgabe 4:

Der Patient soll 4 unterschiedlich große Geldstücke aus einem Portemonnaie holen und in einen Kasten legen. Der Patient soll zur Ausführung der Aufgabe den Pinzettengriff, die Benutzung des Digiti I, Digiti II und Digiti III, verwenden.

In der Studie wurden ein 2 Euro, ein 1 Euro, ein 2 Cent und ein 1 Cent Geldstück verwendet.

Aufgabe 8:

In dieser Aufgabe soll der Patient 4 Nüsse unterschiedlicher Größe aus einem Kasten nehmen und auf den passenden Bolzen legen. Zur Ausführung der Aufgabe soll der Patient den Pinzettengriff, den Schlüsselgriff und den Stativgriff verwenden. Beim Schlüsselgriff werden der Digniti I und die radiale Seite des Digniti II benutzt; beim Stativgriff werden der Digniti I, der Digniti II und die radiale Seite des Digniti III gebraucht.

Statt der 4 Nüsse wurden in der Studie 4 unterschiedlich große Kugeln verwendet.



Abbildung 7: Kugeln unterschiedlicher Größe

Aufgabe 10:

In dieser Aufgabe soll der Patient an unterschiedlichen Kleidungsstücken 4 Knöpfe verschiedener Größe schließen. Der Pinzettengriff und der Schlüssel-Griff sollen in dieser Aufgabe angewendet werden.

Bewertung der Aufgaben:

Für jede Aufgabe ist ein Zeitlimit von 20 Sekunden gesetzt. Innerhalb dieser Zeit soll die Aufgabe komplett mit den dafür vorgesehenen Handgriffen ausgeführt sein. Der Score liegt in diesem Test zwischen 0 und 12. Der normale Score ist 12, wenn jede der 3 Aufgaben in höchstens 20 Sekunden mit den vorgesehenen Handgriffen komplett ausgeführt werden kann. In diesem Fall wird 3 mal der Score 4 vergeben. Kann die Aufgabe nicht innerhalb von 20 Sekunden, aber komplett innerhalb von 40 Sekunden ausgeführt werden, oder verwendet der Patient bei der Ausführung der Aufgabe innerhalb des vorgeschriebenen Zeitlimits nicht die vorgegebenen Handgriffe, wird der Score 3 vergeben. Ist die Aufgabe innerhalb von 60 Sekunden komplett ausgeführt oder innerhalb von 40 Sekunden ohne die vorgesehenen Handgriffe, wird der Score 2 vergeben. Kann die Aufgabe nur teilweise innerhalb von 60 Sekunden ausgeführt werden, wird der Score 1 vergeben. Wenn die Aufgabe gar nicht ausgeführt werden kann ist der Score 0.

Motorischer – Teil:

Der Inhalt des motorischen Teils besteht aus den Bereichen Innervation und Griffstärke.

a) Innervation:

Zur Untersuchung der muskulären Stärke wird die modifizierten Medical Research Council (MRC) mit dem Grad 0 bis 5 angewendet (7,59,61).

Bei einer Verletzung des Nervus medianus soll der Patient eine Palmarabduction, eine Berührung des Digiti I mit dem Digiti V, ausführen.

Patienten mit einer Verletzung des Nervus ulnaris sollen eine Abduktion des Digiti II, Abspreizung des Digiti II vom Digiti III, eine Abduktion des Kleinfingers, Abspreizung des Digiti V und eine Adduktion des Digiti V, Heranführung des Digiti V an den Digiti IV ausführen.

Bewertung:

Der Score liegt in dieser Aufgabe für Verletzungen des Nervus medianus zwischen 0 und 5 und für Verletzungen des Nervus ulnaris zwischen 0 und 15. Der normale Score jeder Bewegung ist 5, wenn die Bewegung gegen einen Widerstand ausgeführt werden kann. Der Score 4 wird vergeben, wenn die Bewegung nur gegen einen leichten Widerstand ausgeführt werden kann. Kann die Bewegung nur gegen die Schwerkraft ohne zusätzlichen Widerstand ausgeführt werden, ist der Score 3. Ist die Bewegung nur mit der Schwerkraft ausführbar, beträgt der Score 2. Entsteht nur ein Muskelbauch, aber keine Gelenkbewegung, ist der Score 1 und ohne Muskelbauch 0.

Das normale Ergebnis bei einer Verletzung des Nervus medianus ist 5 und bei Verletzung des Nervus ulnaris 15.

b) Griffstärke:

Zur Untersuchung der Griffstärke wird das Jamar-Dynamometer (Smith and Nephew Inc. USA) eingesetzt. Es werden sowohl die verletzte als auch die unverletzte Hand untersucht, um einen Vergleichswert zu erhalten. Der Patient soll mit jeder Hand 3 mal die Griffstärke testen.



Abbildung 8: Jamar-Dynamometer (Smith & Nephew Inc. USA)

Bewertung:

Das mittlere Ergebnis der verletzten Hand wird in den Zähler des Quotienten geschrieben und das der unverletzten Hand in den Nenner. Der Score liegt zwischen 0 und 1. Der normale Score lautet 1, wenn beide Hände die gleiche Griffstärke besitzen.

Schmerz/ Discomfort:

Der Inhalt des Teils Schmerz/ Discomfort besteht aus den Bereichen Kälteintoleranz (13) und Hyperästhesie (32). Anhand einer Skala mit 4 Graden (80), von hinderlich bis unbedeutend oder nicht vorhanden, soll der Patient selbst die Probleme Kälteintoleranz und Hyperästhesie bezüglich seiner verletzten Hand einschätzen.

Bewertung:

Der Score liegt für jeden der beiden Bereiche zwischen 0 und 3. Der normale Score für jeden Bereich beträgt 3, wenn keine Kälteintoleranz und keine Hyperästhesie bestehen. Der Score 2 besagt, dass mäßige Probleme in diesem Bereich bestehen. Wird das Problem als störend empfunden, wird der Score 1 vergeben, und wenn es als hinderlich empfunden wird, der Score 0.

Berechnung des Endergebnisses:

Die einzelnen Ergebnisse werden als Quotient aufgeschrieben, das erzielte Ergebnis im Zähler und maximal zu erreichende Ergebnis im Nenner. Die Scores eines jeden Teils werden addiert und durch die Anzahl der Tests in dem jeweiligen Teil dividiert. In jedem der 3 Teile liegt der Score zwischen 0 und 1. Zur Berechnung des Gesamtscores

werden die Scores der 3 Teile addiert. Der Gesamtscore liegt zwischen 0 und 3. Der normale Gesamtscore ist 3.

2.3.3 Modifizierte Hight-Skala nach Dellon et al.

Die modifizierte Hight-Skala nach Dellon et al. ist eine Möglichkeit zur Evaluation der motorischen und sensorischen Funktion nach Nervenverletzungen (Tabelle 3) (15).

Der motorische Teil besteht aus 6 Graden: M0 keine Muskelkontraktion bis M5 komplette Wiedererlangung der motorischen Funktion.

Der sensorische Teil besteht ebenfalls aus 6 Graden, S0 keine Sensibilität in den autonomen Gebieten bis S4 volle Wiedererlangung der Sensibilität. Die statische Zwei-Punkte-Diskrimination fließt in die modifizierte Hight-Skala nach Dellon et al. mit ein. Die Zwei-Punkte-Diskrimination beträgt bei S3 mehr als 15 Millimeter, bei S3+ liegt sie zwischen 7 Millimeter und 15 Millimeter und bei S4 zwischen 2 Millimeter und 6 Millimeter.

2.4 Auswertung und Darstellung der Ergebnisse

Die statistische Datenanalyse wurde mit Hilfe von SPSS Programm Version 10.0.7 für Microsoft Windows (SPSS Inc. 1989 – 1999) durchgeführt. Eine Korrelation nach

Pearson zwischen den durchgeführten Evaluationen und Dokumentationen der Handfunktion wurde für jede der 3 Patientengruppen erstellt, um festzustellen, ob eine Übereinstimmung in den Ergebnissen der einzelnen Evaluationen zu finden ist. Die Korrelation ist auf dem Niveau von $\leq 0,05$ signifikant und auf dem Niveau von $\leq 0,01$ hoch signifikant. Für jede Patientengruppe und jede durchgeführte Evaluation und Dokumentation der Handfunktion wurden Mittelwerte, Standardabweichungen und die Varianz berechnet. Zur Erklärung der Varianz wurde eine Faktorenanalyse (Mann-Whitney-Wilcoxon-Test) durchgeführt.

Die Graphiken wurden mit Hilfe von SPSS Programm Version 10.0.7 für Microsoft Windows (SPSS Inc. 1989 – 1999) erstellt.

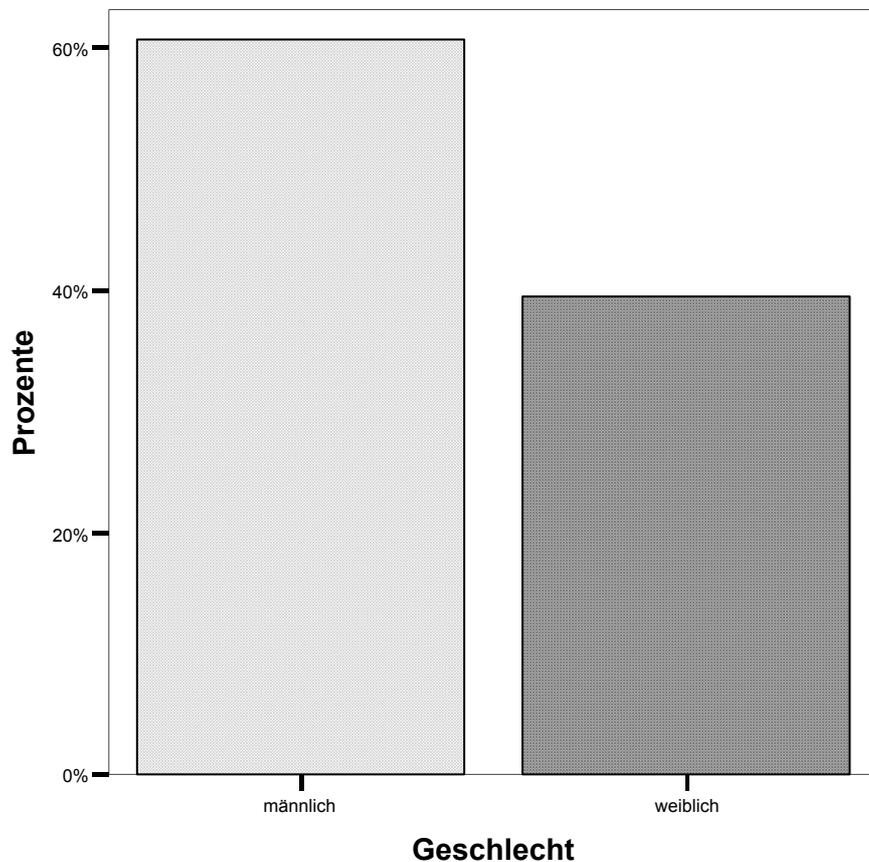
Die Tabellen wurden mit Hilfe von Excel für Microsoft Windows 2000 und Word für Microsoft Windows 2000 erstellt.

Kapitel 3

Ergebnisse

3.1 Patienten

Bezüglich der Geschlechtsverteilung konnte festgestellt werden, dass Nervendurchtrennungen bei Männern häufiger vorkamen als bei Frauen. In der Studie wurden 64 Patienten untersucht, davon 40 Männer (62,5%) und 24 Frauen (37,5%).
(Graphik 1)



Graphik 1: Patientenverteilung

Beim Vergleich der Ergebnisse konnten Unterschiede zwischen Männern und Frauen festgestellt werden. Das Ergebnis im DASH-Score fiel bei Männern im Durchschnitt besser aus als bei Frauen. Der Bereich Schmerz/ Discomfort und auch das Gesamtergebnis des Protokolls nach Rosén et al. waren bei Frauen besser. Geringere Unterschiede gab es in den Bereichen Sensibilität und Motorik. (Tabelle 5)

Tabelle 5: Vergleich der Ergebnisse zwischen Männer und Frauen

| Untersuchungen (Range) | Frauen | Männer |
|-------------------------------|------------------|--------------------|
| DASH-Score | 26,10 (0–81,67) | 19,43 (1,67–80,83) |
| Sensorischer Score | 0,66 (0,27–0,98) | 0,59 (0,05–0,97) |
| Motorischer Score | 0,79 (0,23–1,0) | 0,71 (0,14–1,0) |
| Schmerz/ Discomfort | 0,88 (0,33–1,0) | 0,72 (0,33–1,0) |
| Gesamt Score | 2,33 (1,54–2,89) | 2,02 (0,77–2,93) |

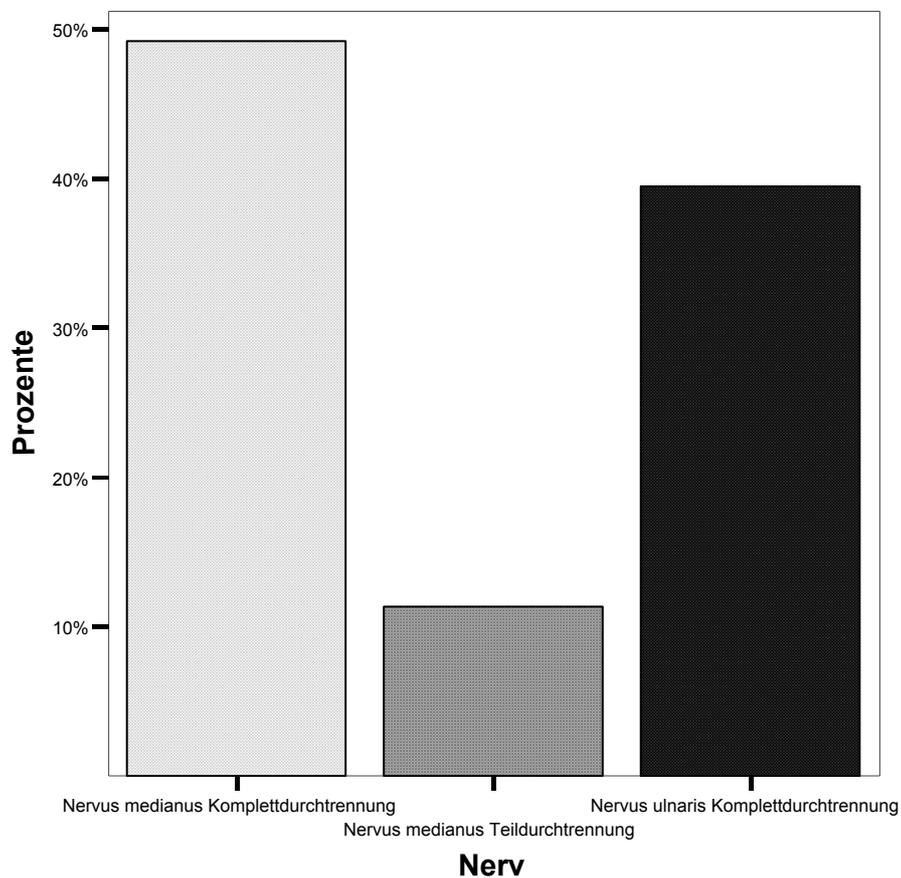
3.2 Art der Nervenverletzung

In der Studie wurden insgesamt 71 Nerven an 64 Patienten untersucht. Darunter gab es Patienten mit solitärer Nervenverletzung, bei denen entweder der Nervus medianus oder der Nervus ulnaris verletzt war und Patienten mit Verletzung beider Nerven. Die meisten Fälle waren solitäre Verletzungen, 57 Patienten (89,1%) und 7 Patienten (10,9%) hatten eine Verletzung beider Nerven. (Tabelle 6)

Tabelle 6: Art der Nervenverletzung

| Nervenverletzung | Anzahl | Prozente |
|-------------------------|---------------|-----------------|
| Solitäre | 57 | 89,1% |
| Beide Nerven | 7 | 10,9% |

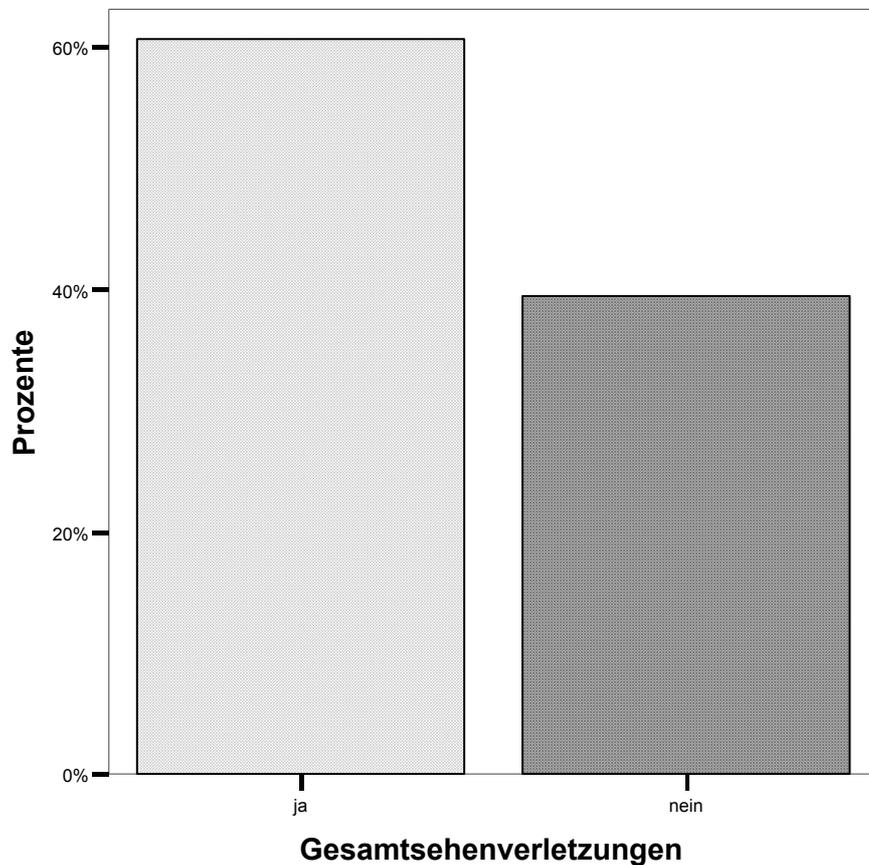
Es gab Unterschiede in der Häufigkeit der Verletzung einzelner Nerven. Der Nervus medianus war im Vergleich zum Nervus ulnaris häufiger verletzt. Insgesamt gab es 43 Durchtrennungen (60,6%) des Nervus medianus, darunter 35 Fälle (49,3%) mit kompletter Durchtrennung und 8 Fälle (11,3%) mit Teildurchtrennung. Der Nervus ulnaris war bei 28 Patienten (39,4%) komplett durchtrennt. Eine Teildurchtrennung des Nervus ulnaris kam in der untersuchten Patientengruppe nicht vor. (Graphik 2)



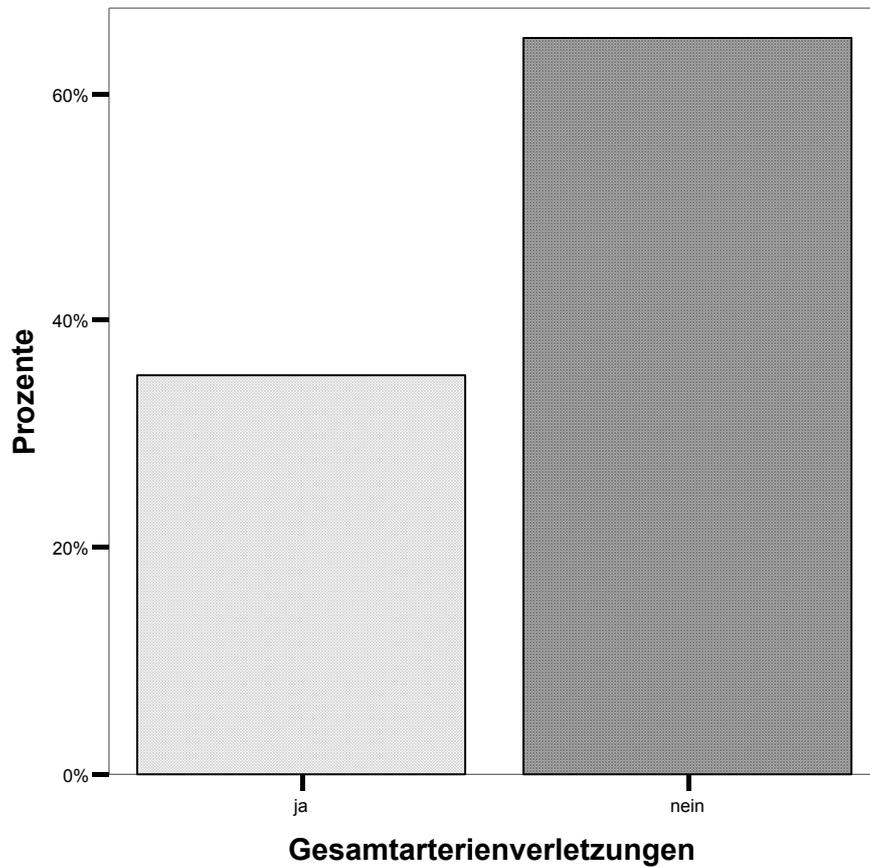
Graphik 2: Häufigkeit der betroffenen Nerven

Die meisten Patienten hatten sich außer einer Nervenverletzung noch weitere Verletzungen bei dem Unfall zugezogen. 24 Patienten (37,5%) hatten nur eine

Nervenverletzung und 40 Patienten (62,5%) zusätzlich eine Begleitverletzung. Als Begleitverletzungen kamen Arterien- und Beugesehnenverletzungen vor. Den größten Anteil bildeten die Beugesehnenverletzungen. In 44 Fällen (62%) war mindestens eine Beugesehne mit verletzt und in 25 Fällen (35,2%) eine Arterie. 22 Patienten (34,4%) hatten eine komplexe Verletzung mit Durchtrennung von Arterie und Beugesehne. (Graphik 3 und 4)



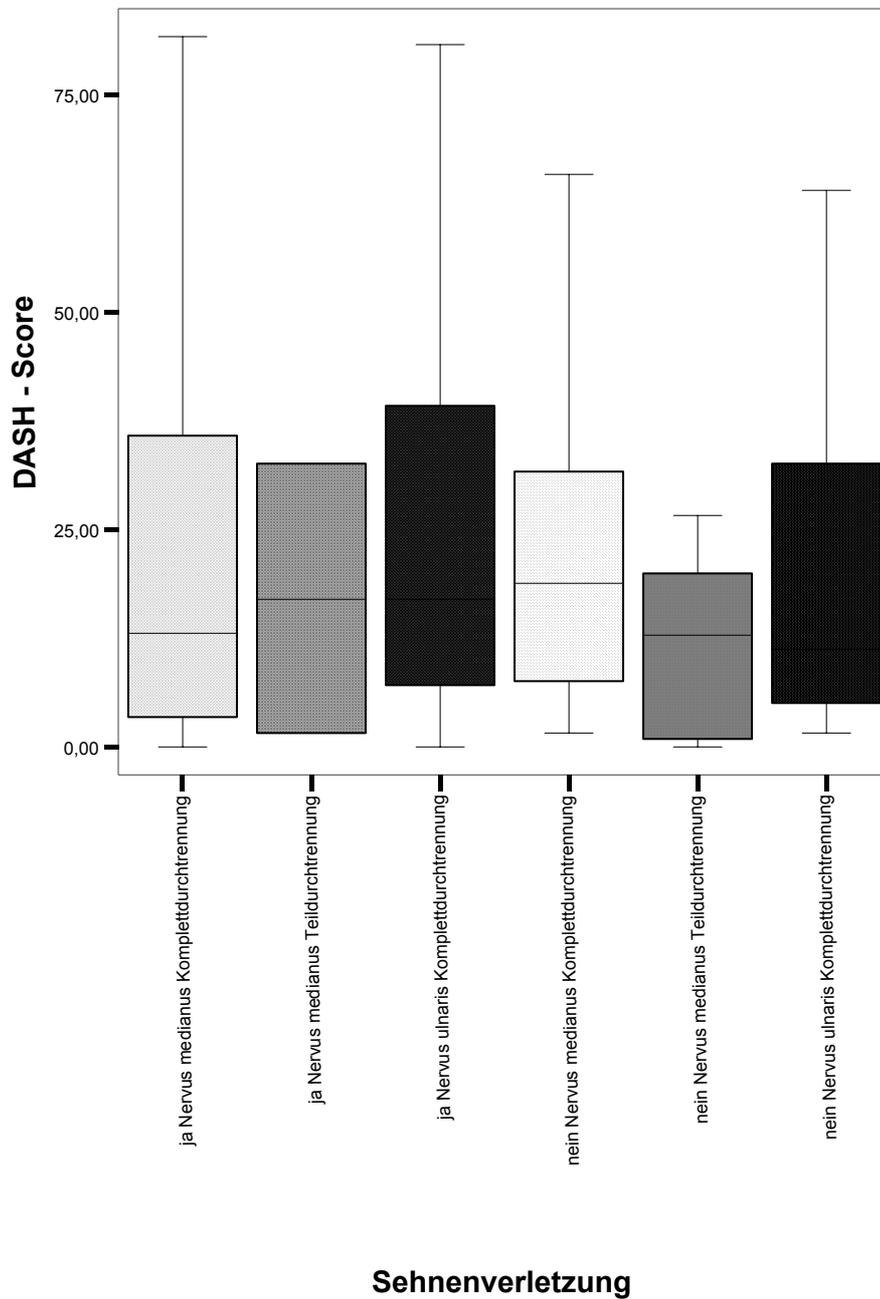
Graphik 3: Häufigkeit der begleitenden Sehnenverletzung



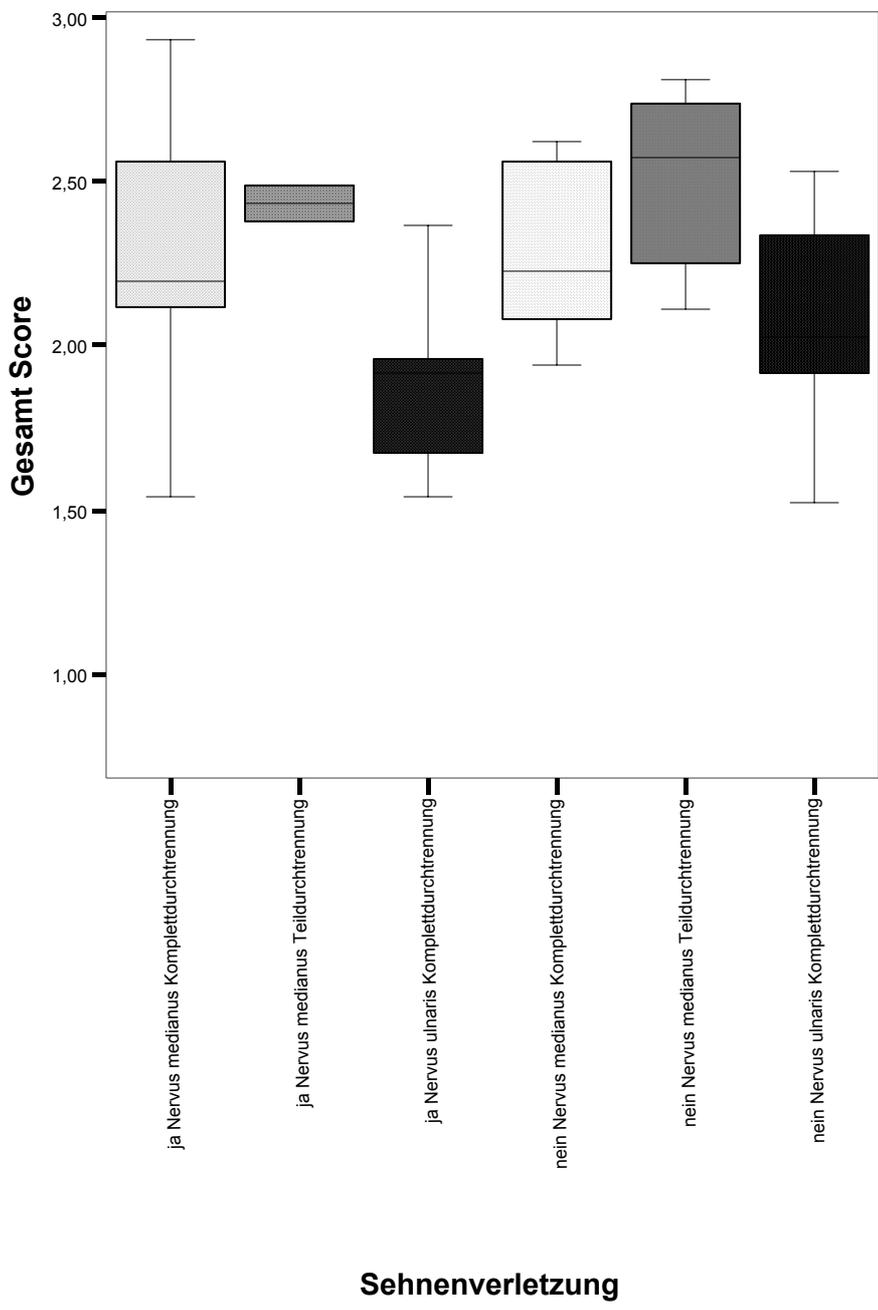
Graphik 4: Häufigkeit der begleitenden Arterienverletzung

Begleitende Sehnen- und Arterienverletzungen hatten keinen negativen Einfluss auf die Sensibilität, Motorik, Schmerz/ Discomfort und der Lebensqualität bei kompletter Durchtrennung und Teildurchtrennung des Nervus medianus. Ein negativer Einfluss einer begleitenden Sehnenverletzung konnte bei kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris festgestellt werden. Die Ergebnisse in den Bereichen Sensibilität, Motorik, Schmerz/ Discomfort und Lebensqualität waren alle schlechter als bei Patienten mit kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris ohne zusätzliche Sehnenverletzung.

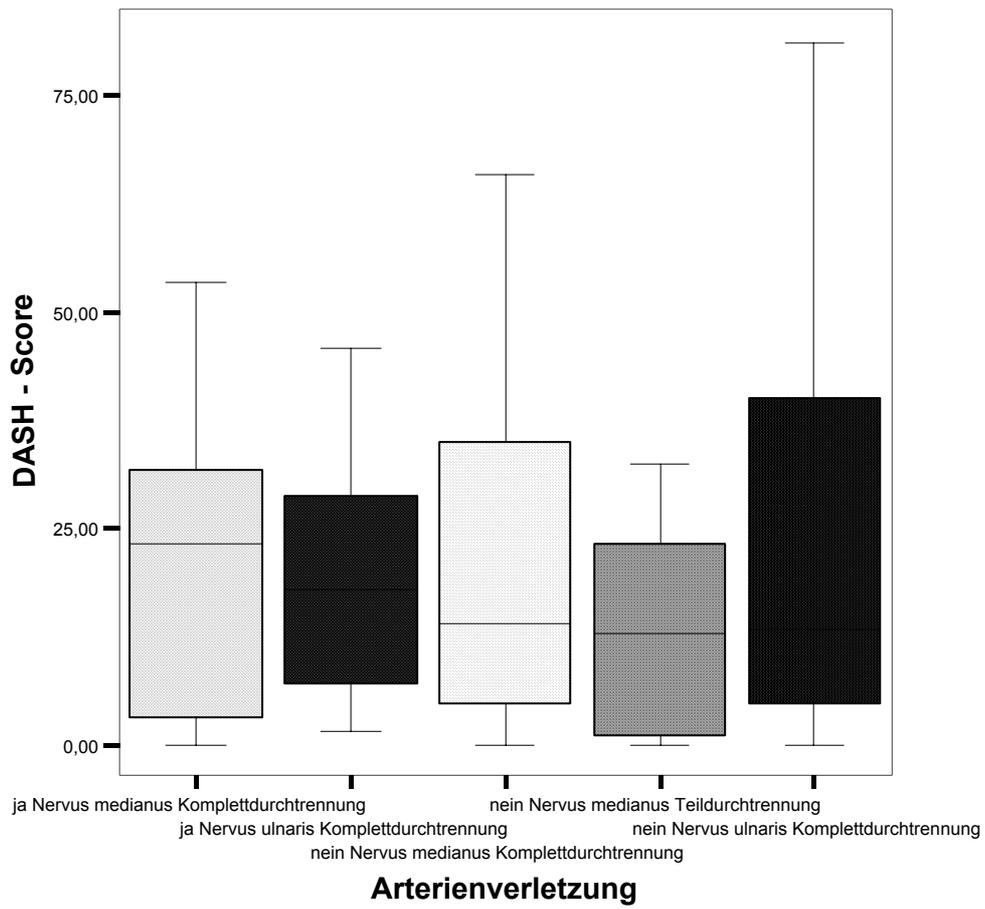
Begleitende Arterienverletzungen bei kompletter Durchtrennung wirkten sich weniger negativ auf das Ergebnis aus. (Graphik 5,6,7,8)



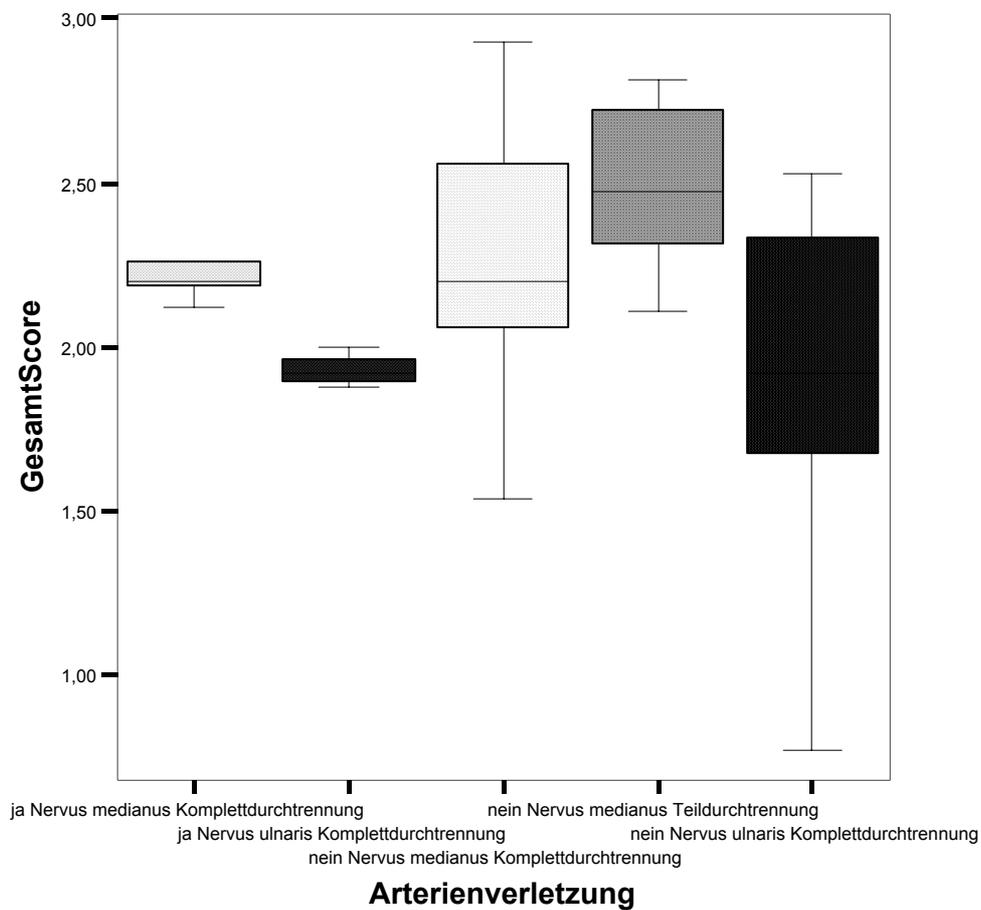
Graphik 5: Vergleich der Ergebnisse des DASH-Scores der Nerven mit und ohne Sehnenverletzung



Graphik 6: Vergleich der Ergebnisse des Gesamtscores des Handprotokolls nach Rosén et al. der Nerven mit und ohne Sehnenverletzung

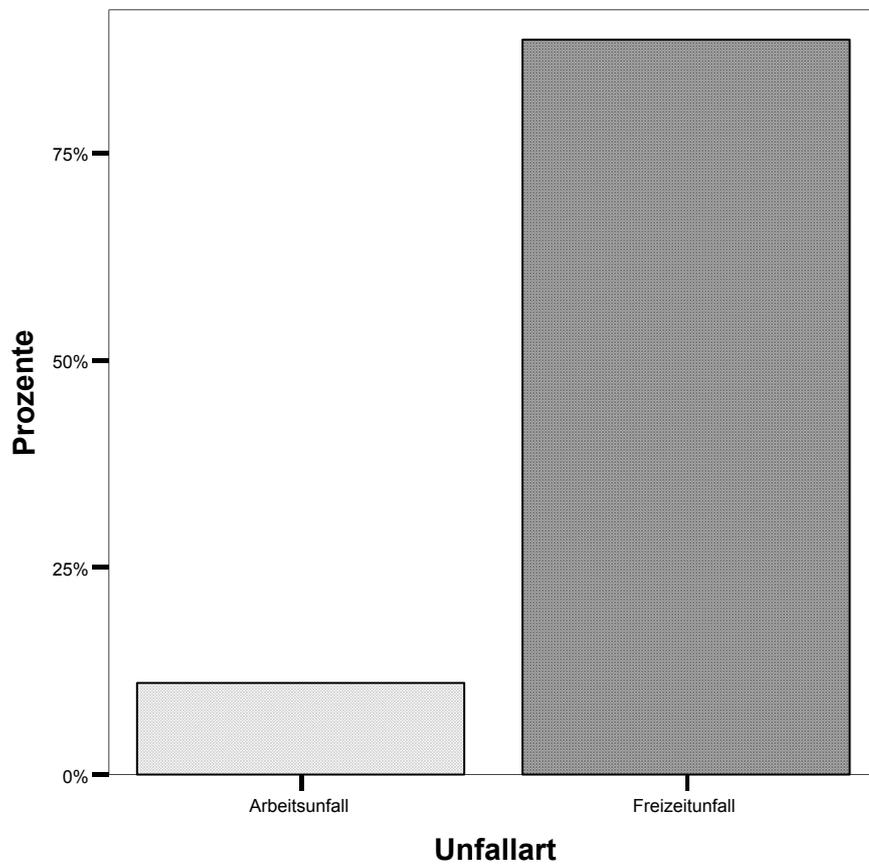


Graphik 7: Vergleich der Ergebnisse des DASH-Scores der Nerven mit und ohne Arterienverletzung



Graphik 8: Vergleich der Ergebnisse des Gesamtscores des Handprotokolls nach Rosén et al. der Nerven mit und ohne Arterienverletzung

Bezüglich der Unfallart konnten Freizeitunfälle und Arbeitsunfälle unterschieden werden. Es wurde festgestellt, dass sich die meisten Nervenverletzungen in der Freizeit ereignet hatten. In 63 Fällen (88,7%) war die Nervenverletzung ein Freizeitunfall und in 8 Fällen (11,3%) ein Arbeitsunfall. (Graphik 9)



Graphik 9:Unfallart

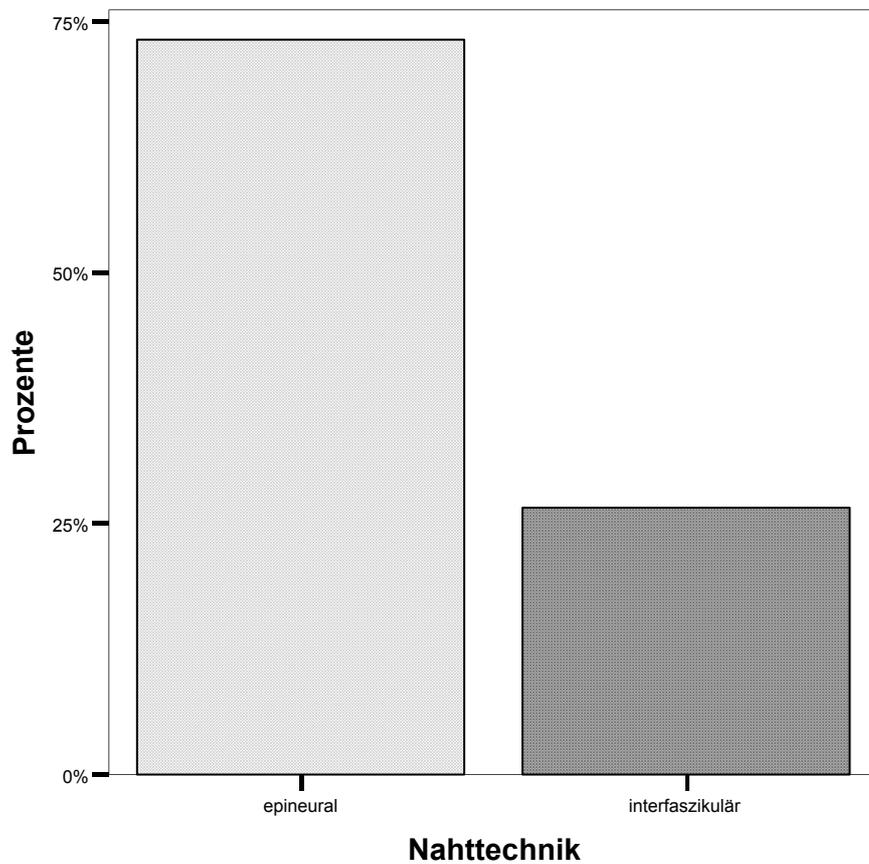
In 69 Fällen (97,2%) war eine Schnittverletzung die Ursache, in einem Fall (1,4%) eine dislozierte Ellenbogenfraktur, und in einem Fall (1,4%) war die Nervenverletzung iatrogen bedingt. In 2 Fällen (2,9%) geschah die Nervendurchtrennung in suizidaler Absicht. (Tabelle 7)

Tabelle 7: Ursache der Nervendurchtrennung

| Ursache | Anzahl | Prozente |
|--|---------------|-----------------|
| Schnittverletzung | 69 | 97,2% |
| Dislozierte Ellenbogenfraktur | 1 | 1,4% |
| Iatrogen bedingt | 1 | 1,4% |

3.3 Operationsverfahren

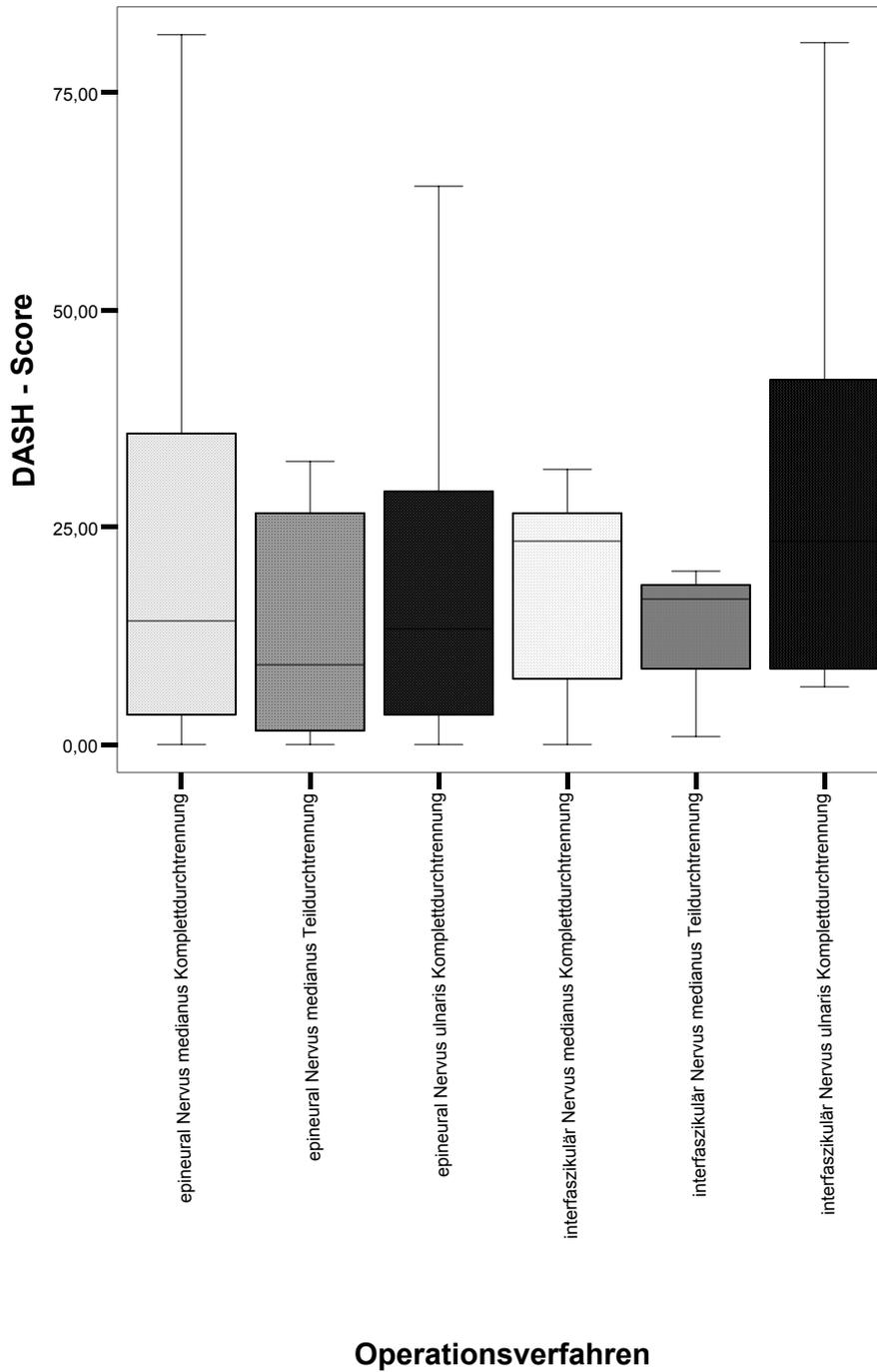
Zwei Operationsverfahren bezüglich der Technik der Nervennaht konnten in der Studie unterschieden werden: die epineurale Nervennaht und die interfaszikuläre Nervennaht. Die häufigere dieser beiden Techniken war die epineurale Nervennaht. In 52 Fällen (73,2%) wurde die epineurale Nervennaht angewandt und in 19 Fällen (26,8%) die interfaszikuläre Nervennaht. (Graphik 10)



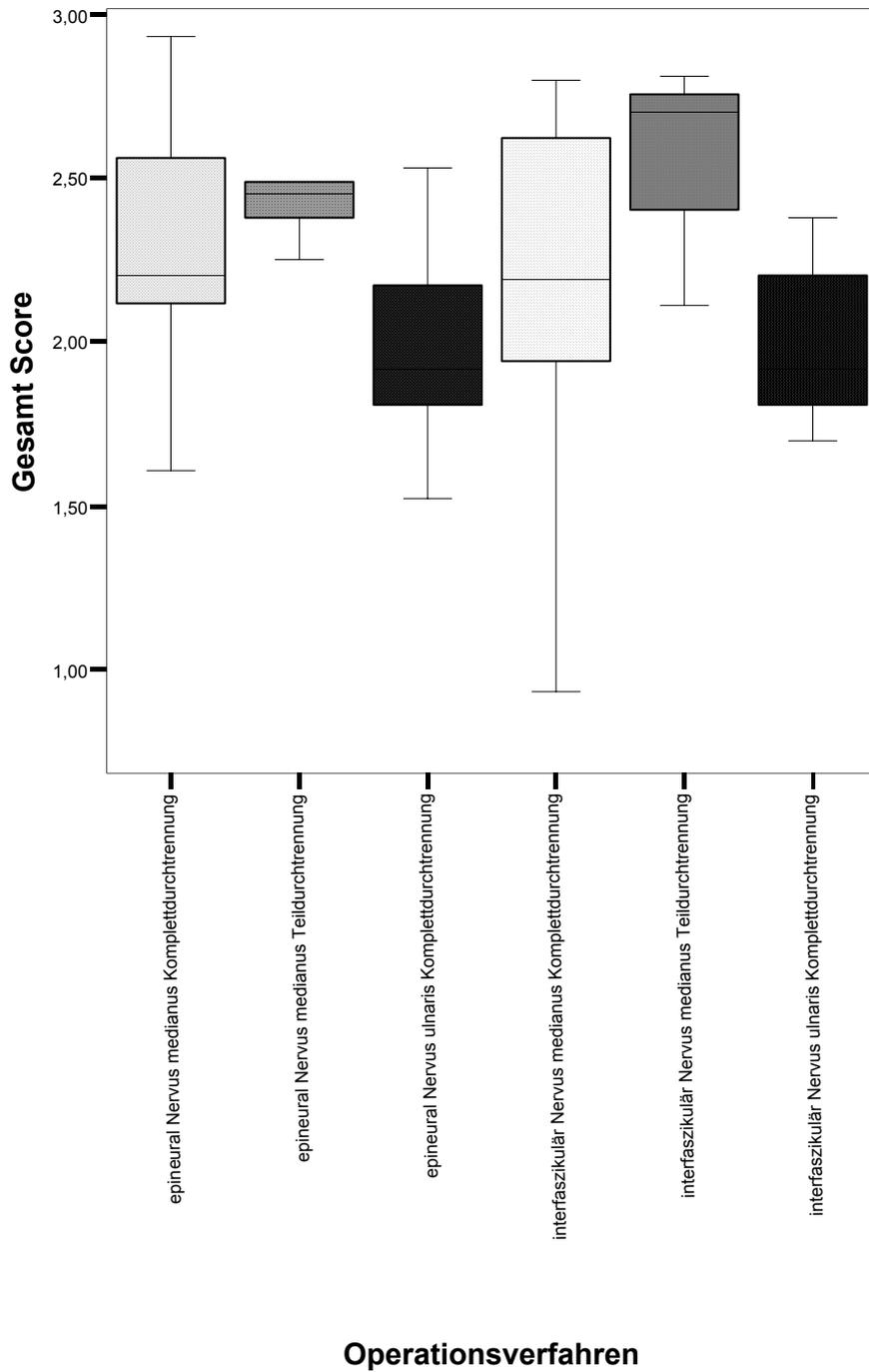
Graphik 10: Häufigkeit der Operationsverfahren

Unterschiede in den Ergebnissen des DASH-Scores oder im Handprotokoll nach Rosén konnten nicht festgestellt werden. Beide Nervennahttechniken sind bezüglich der Sensibilität, Motorik, Schmerz/ Discomfort und der Lebensqualität gleich gut.

(Graphik 11 und 12)



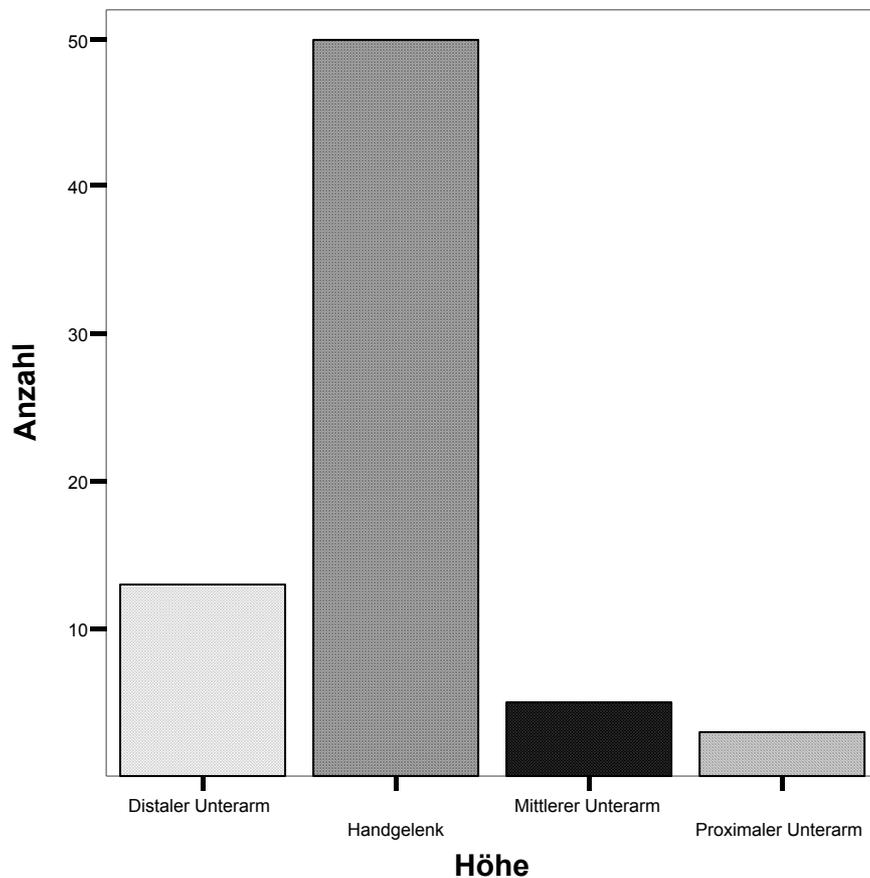
Graphik 11: Vergleich der Ergebnisse des DASH-Scores der Nerven bei epineuraler und interfaszikulärer Nervennaht



Graphik 12: Vergleich der Ergebnisse des Gesamtscores des Handprotokolls nach Rosén et al. der Nerven bei epineuraler und interfaszikulärer Nervennaht.

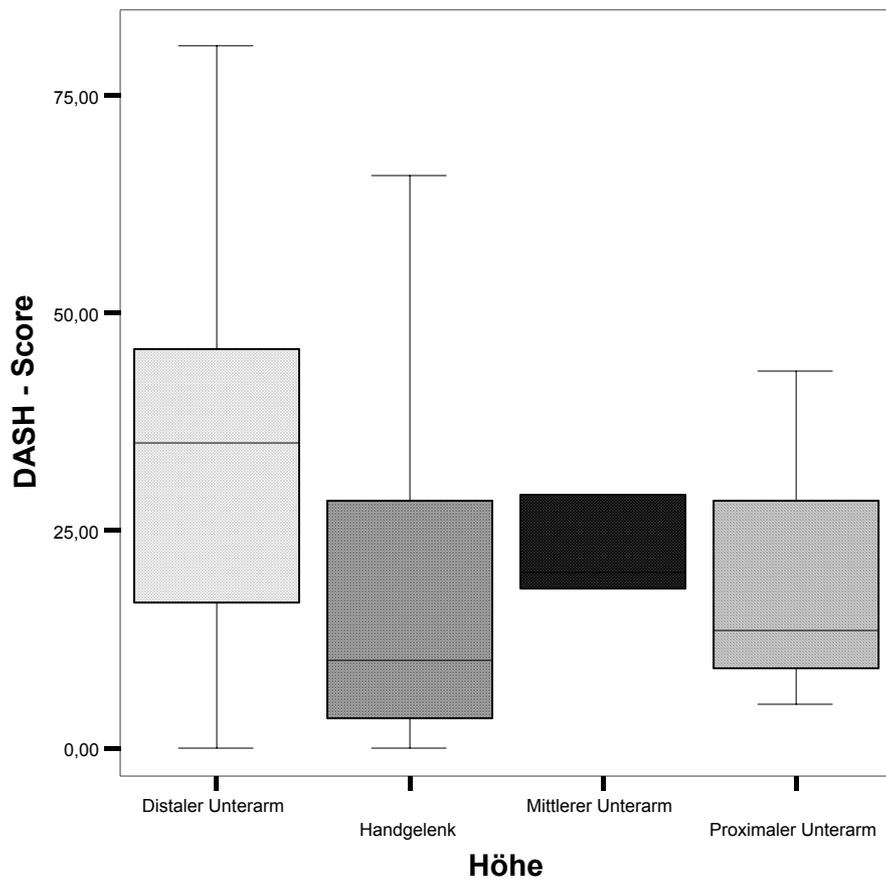
3.4 Höhe der Nervenverletzung

In der Studie konnten an Handgelenk und Unterarm insgesamt zwischen 4 Verletzungshöhen unterschieden werden: proximales Unterarmdrittel, mittleres Unterarmdrittel, distales Unterarmdrittel und Handgelenksbereich. Die Häufigkeit der Nervenverletzungen nahm bezüglich der Höhe von distal nach proximal ab. Im Bereich des Handgelenkes waren die meisten Nervenverletzungen lokalisiert und im proximalen Unterarmdrittel die wenigsten. In 50 Fällen (70,4%) war die Nervendurchtrennung im Bereich des Handgelenkes lokalisiert, in 13 Fällen (18,3%) im Bereich des distalen Unterarmdrittels, in 5 Fällen (7%) im Bereich des mittleren Unterarmdrittels und in 3 Fällen (4,2%) im Bereich des proximalen Unterarmdrittels. (Graphik 13)

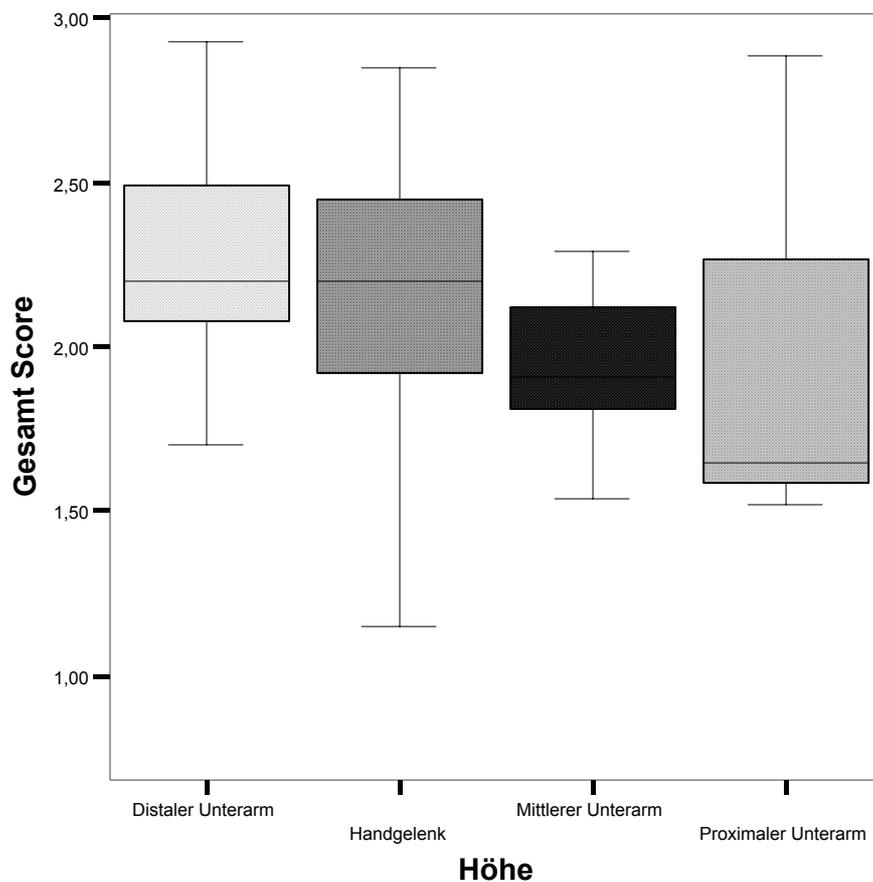


Graphik 13: Verteilung der Nervendurchtrennungen auf die Verletzungshöhen

Einen Einfluss Nervendurchtrennung auf das Langzeitergebnis konnte festgestellt werden. Die Ergebnisse im Handprotokoll nach Rosén et al. waren bei Verletzungen im Bereich des Handgelenkes und des distalen Unterarmes im Durchschnitt besser als bei Verletzungen im mittleren und proximalen Unterarmbereich. Eine Ausnahmen bildete der höhere DASH-Score bei Verletzungen im distalen Unterarmdrittel. (Graphik 14 und 15)



Graphik 14: Vergleich der Ergebnisse des DASH-Scores der Verletzungshöhen der Nerven



Graphik 15: Vergleich der Ergebnisse des Gesamtscores des Handprotokolls nach Rosén et al. der Verletzungshöhen der Nerven

3.5 Seite der Nervenverletzung

Bezüglich der Häufigkeit der betroffenen Seite konnten in der Studie keine Unterschiede festgestellt werden. Beide Seiten waren bei Rechtshändern gleich häufig betroffen. Bei Linkshändern war die rechte Seite häufiger verletzt. Es gab 71 Nervendurchtrennungen (93%) unter 59 Rechtshändern (92,2%) und 5

Nervendurchtrennungen (7%) unter 5 Linkshändern (7,8%). Die rechte Seite war bei Rechtshändern in 35 Fällen (53%) und die linke Seite in 31 Fällen (47%) betroffen. Bei Linkshändern war die Nervendurchtrennung in 4 (80%) Fällen rechts lokalisiert und in einem Fall (20%) links.

Bessere Ergebnisse im DASH-Score konnten bei Verletzung der Gegenseite (Rechtshänder → linke Hand, Linkshänder → rechte Hand) festgestellt werden. Die Bereiche Sensibilität, Motorik und Schmerz/ Discomfort bei Verletzung der Gegenseite und der gleichen Seite waren gleich. (Tabelle 8)

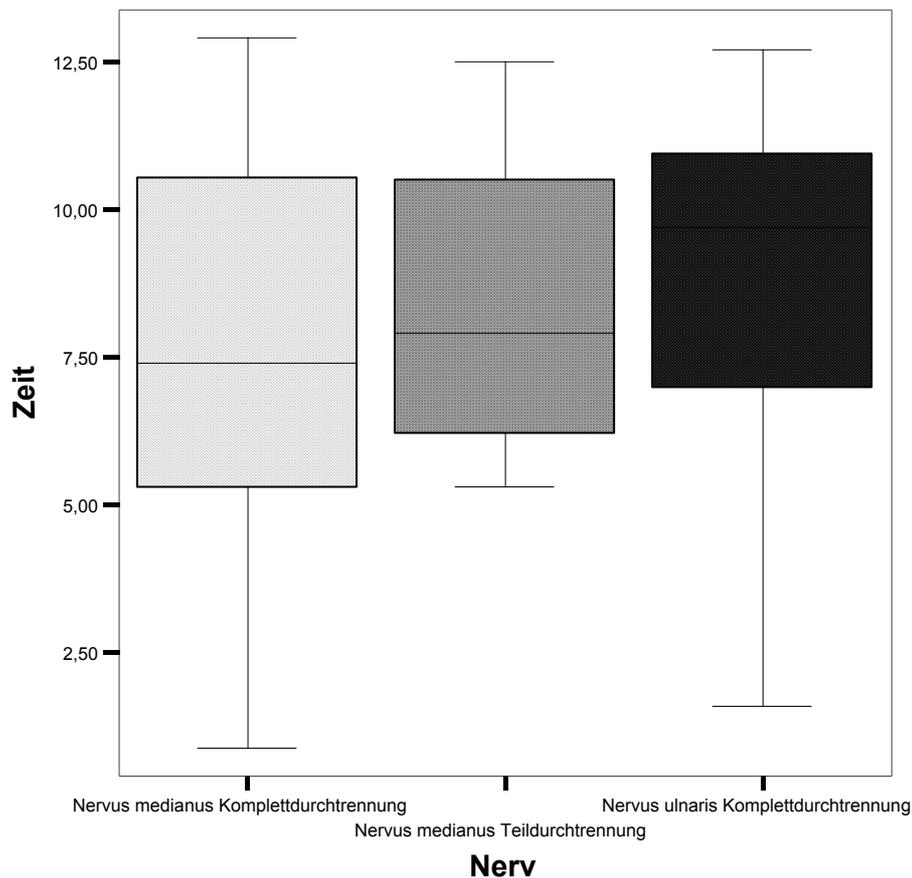
Tabelle 8: Vergleich der Ergebnisse bei Verletzung der gleichen und der Gegenseite

| Untersuchungen (Range) | Gleiche Seite verletzt | Gegenseite verletzt |
|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| DASH-Score | 26,61 (0–80,83) | 16,94 (0–81,67) |
| Sensorischer Score | 0,53 (0,05–0,98) | 0,63 (0,23–0,98) |
| Motorischer Score | 0,69 (0,14–1) | 0,69 (0,44–1) |
| Schmerz/ Discomfort | 0,8 (0,33–1) | 0,67 (0,33–1) |
| Gesamt Score | 2,02 (0,77–2,89) | 1,9 (1,15–2,93) |

3.6 Zeit von der Operation bis zur Nachuntersuchung

Die Nervendurchtrennungen der Patienten wurden alle in der Zeit vom 01.01.1990 bis 31.12.2002 mikrochirurgisch mit einer 10-0 Nylon Naht versorgt. Der Zeitraum erstreckte sich über 12 Jahre, die Zeiträume zwischen der Operation und der

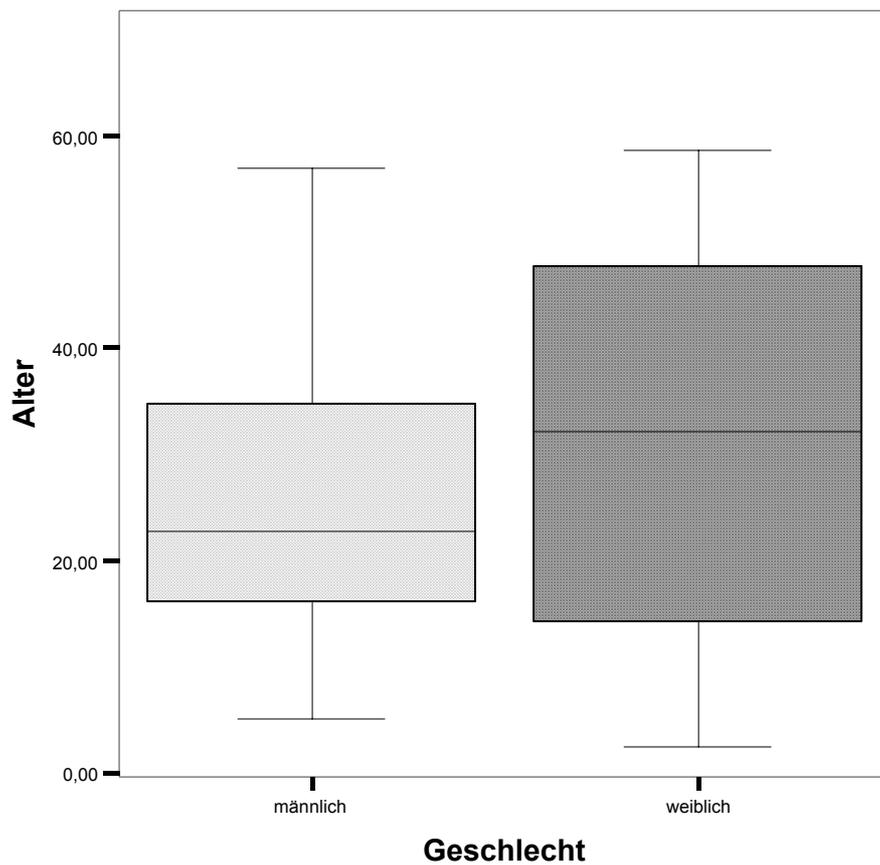
Nachuntersuchung lagen zwischen 12,9 und 0,9 Jahren. Insgesamt fand die Nachuntersuchung im Mittel nach 8,1 +/- 3,3 Jahren statt. Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus medianus wurden im Mittel nach 7,6 Jahren (Range 0,9–12,9 Jahre), Patienten mit einer Teildurchtrennung nach 8,4 Jahren (Range 5,3 – 12,5 Jahre) und Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus ulnaris nach 8,8 Jahren (Range 2,6 – 12,6 Jahre) nachuntersucht. (Graphik 16)



Graphik 16: Zeitraum zwischen Operation und Nachuntersuchung in Jahren

3.7 Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Nervendurchtrennung

Die Altersverteilung der untersuchten Patienten in der Studie lag zwischen 2,3 und 69,3 Jahren zum Zeitpunkt der Nervenverletzung.. Im Mittel lag das Alter bei 28,3 +/- 16,8 Jahren. Es wurden altersabhängige Subgruppen gebildet: Patienten über 18 Jahre und Patienten unter 18 Jahre zum Unfallzeitpunkt. (Graphik 17)



Graphik 17: Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Nervenverletzung in Jahren

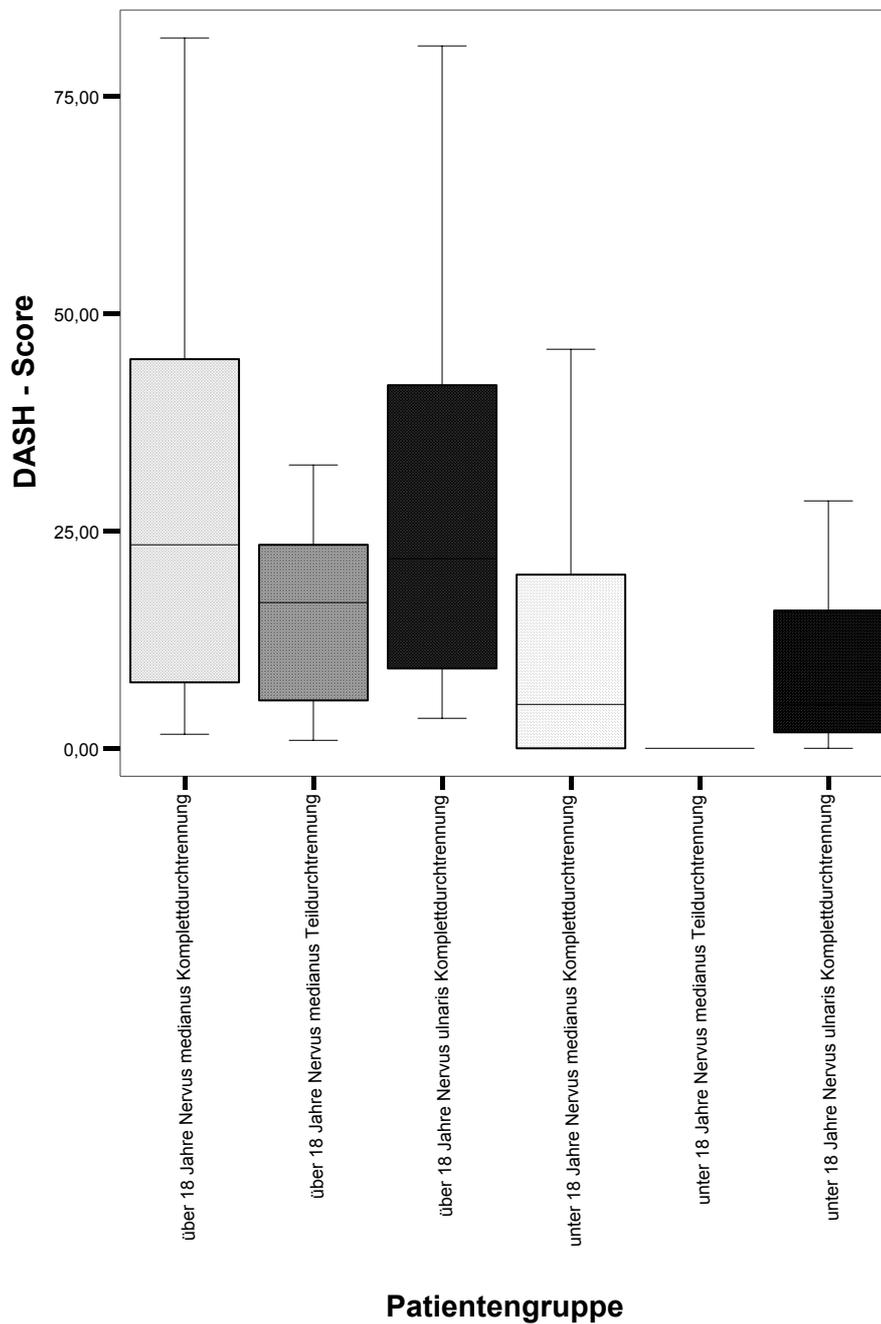
Patienten über 18 Jahre:

Die Subgruppe bestand aus 44 Patienten. Das durchschnittliche Alter lag bei 36,8 Jahre (Range 18,8 – 69,3 Jahre).

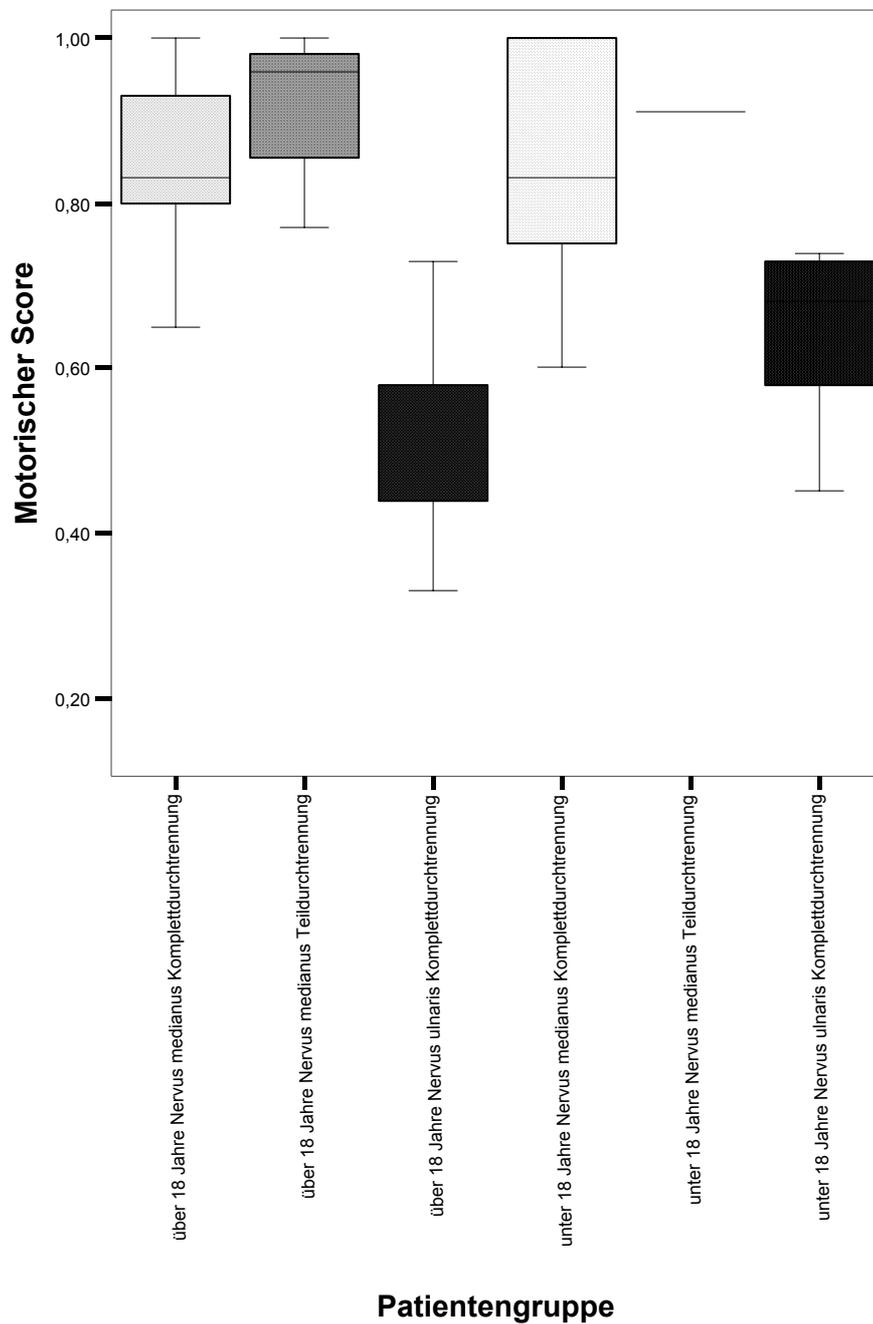
Patienten unter 18 Jahre:

Diese Subgruppe bestand aus 20 Patienten. Das durchschnittliche Alter betrug 10,7 Jahre (2,3 – 17,9 Jahre).

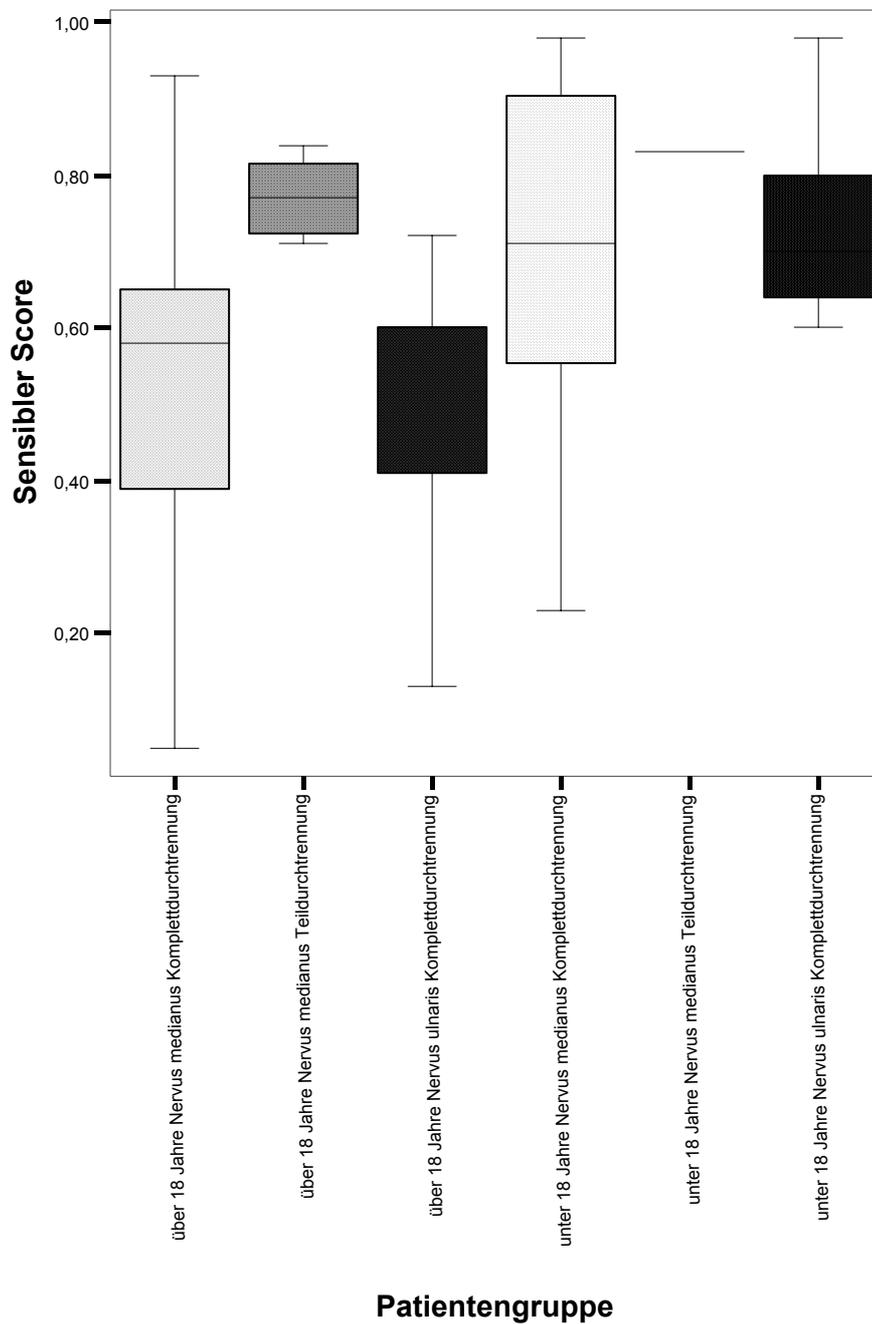
Die Ergebnisse in der Gruppe mit Patienten unter 18 Jahre waren in den Bereichen Sensibilität, Motorik, Schmerz/ Discomfort und Lebensqualität besser als die der Patienten über 18 Jahre. Die besten Ergebnisse erzielten Patienten, die zum Zeitpunkt der Nervendurchtrennung 8 Jahre oder jünger waren. Die mittleren Ergebnisse in der Gruppe Patienten unter 18 Jahre lagen für den DASH-Score bei 11,3 (Range 0 – 45,83), im sensorischen Bereich bei 0,72 (Range 0,27 – 0,98), im motorischen Bereich bei 0,86 (Range 0,33 – 1), im Bereich Schmerz/ Discomfort bei 0,78 (Range 0,33 – 1) und im Gesamtscore bei 2,26 (Range 1,54 – 2,85). Für Patienten über 18 Jahre lagen die mittleren Ergebnisse im DASH-Score bei 27,2 (Range 0,83 – 81,67), im sensorischen Bereich bei 0,55 (Range 0,05 – 0,98), im motorischen Bereich bei 0,74 (Range 0,14 – 1), im Bereich Schmerz/ Discomfort bei 0,78 (Range 0,33 – 1) und im Gesamtscore bei 2,10 (Range 0,77 – 2,93). (Graphik 18 bis 22) Es konnte festgestellt werden, dass das Alter einen prognostisch wichtigen Faktor bezüglich der Nervenregeneration darstellt.



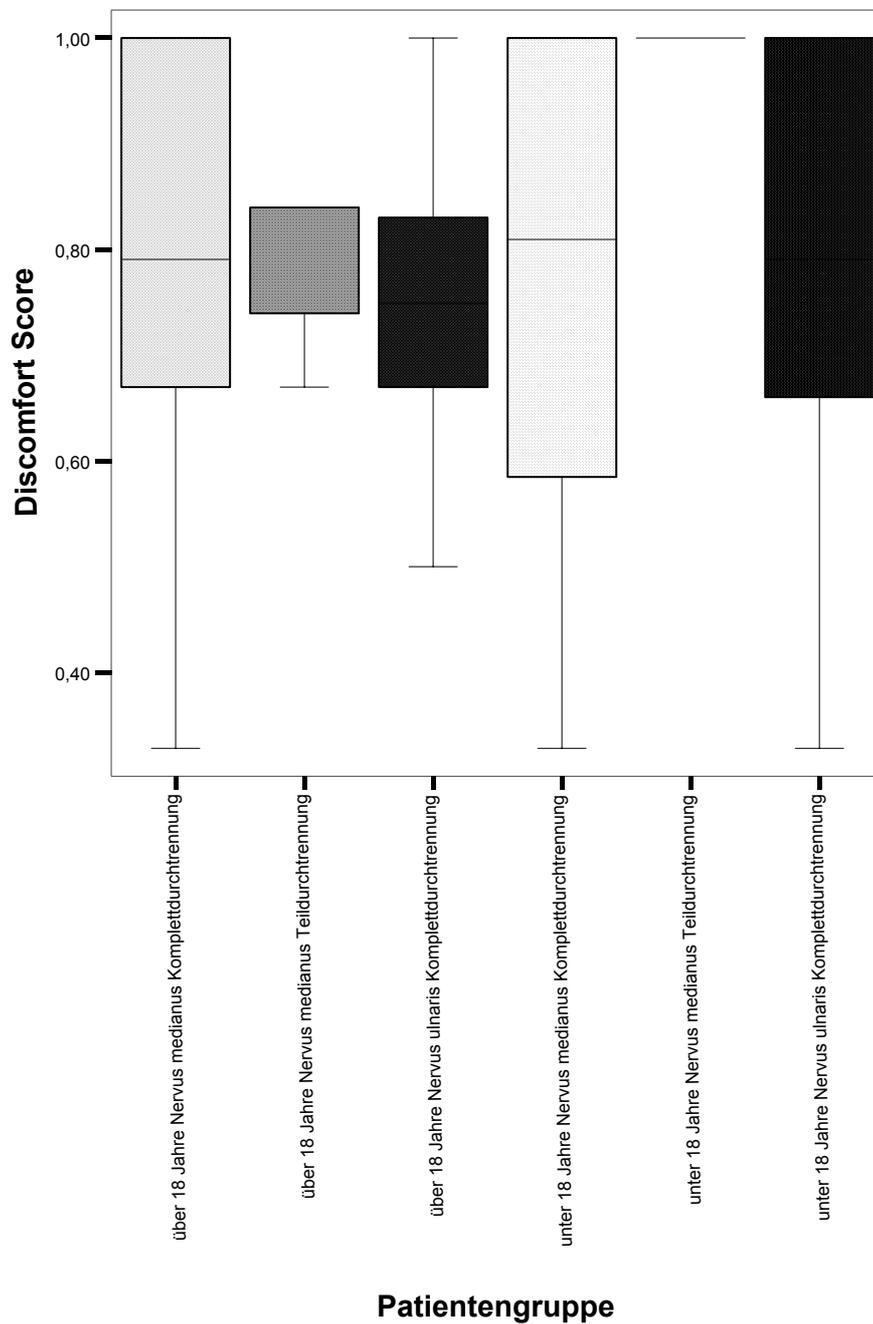
Graphik 18: Vergleich der Ergebnisse des DASH-Scores der Patientengruppen



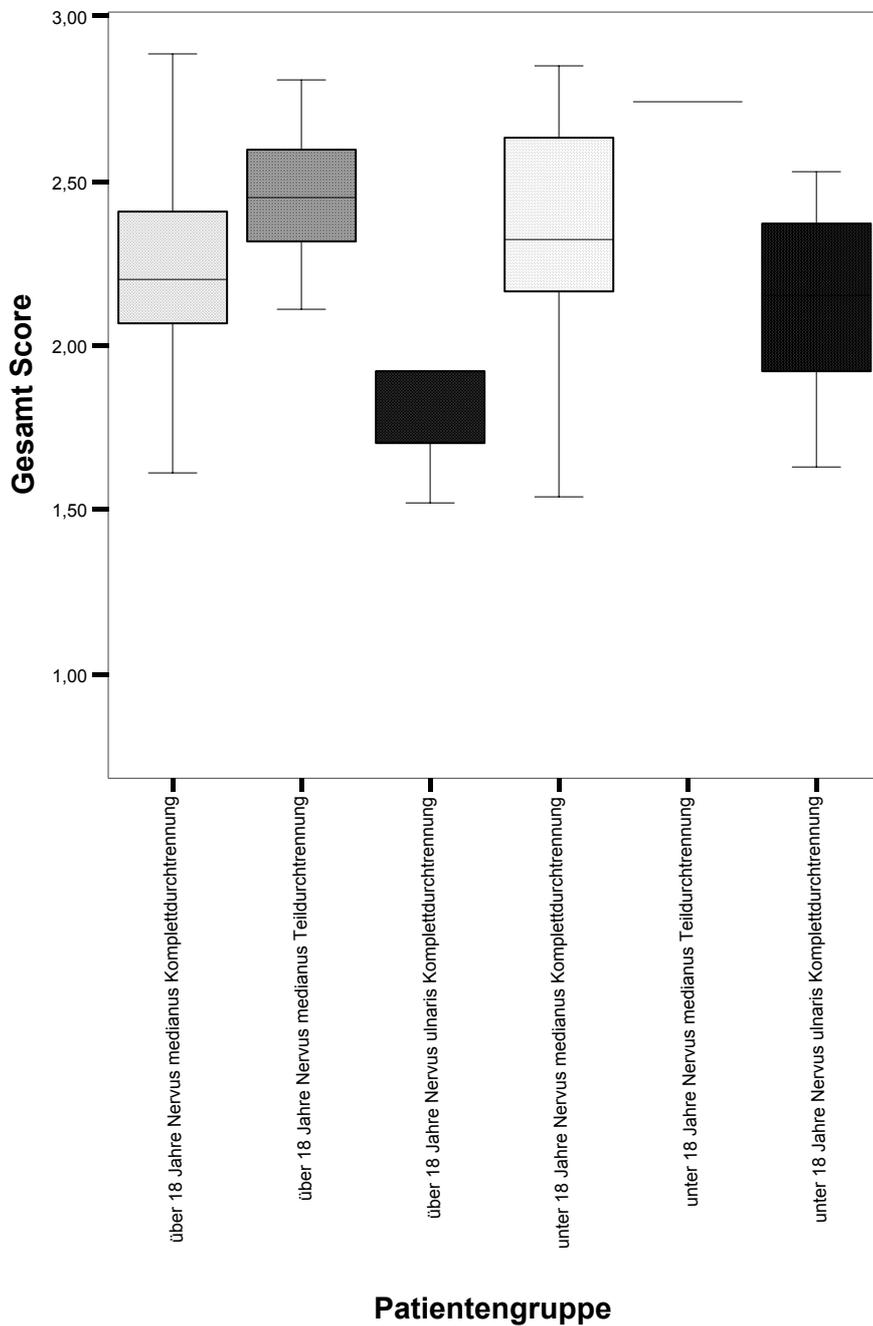
Graphik 19: Vergleich der Ergebnisse des motorischen Scores des Handprotokolls nach Rosén et al. der Patientengruppen



Graphik 20: Vergleich der Ergebnisse des sensiblen Scores des Handprotokolls nach Rosén et al. der Patientengruppen



Graphik 21: Vergleich der Ergebnisse des Discomfort Scores des Handprotokolls nach Rosén et al. der Patientengruppen



Graphik 22: Vergleich der Ergebnisse des Gesamtscores des Handprotokolls nach Rosén et al. der Patientengruppen

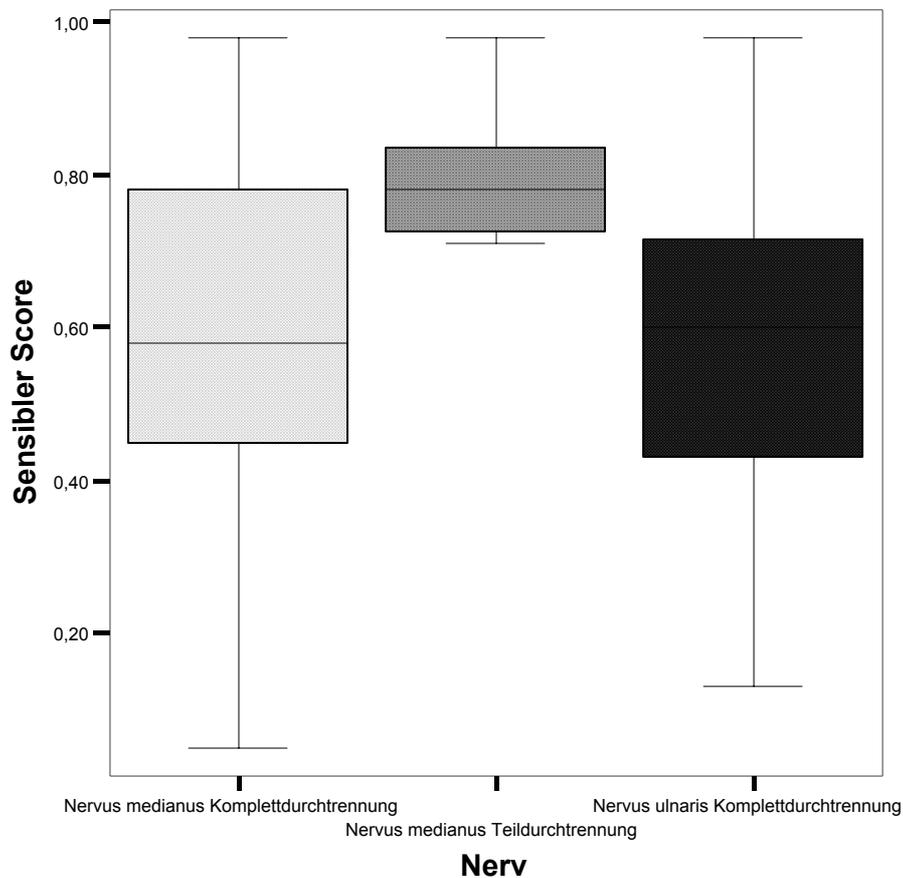
3.8 Sensibilität

Der Bereich Sensibilität besteht aus dem sensiblen Teil des Handprotokolls nach Rosén et al. und dem sensiblen Teil der modifizierten Highet-Skala nach Dellon et al..

a) Sensibler Bereich des Handprotokolls nach Rosén et al.

In diesem Bereich wurde ein mittleres Ergebnis von 0,61 (Range 0,05 – 0,98) erreicht.

Unterschiede zwischen Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus medianus und Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus ulnaris konnten nicht festgestellt werden. Das Ergebnis lag im Mittel bei 0,59 (Range 0,05 – 0,98) in der Gruppe der Patienten mit kompletter Durchtrennung des Nervus medianus und bei 0,60 (Range 0,13 – 0,98) in der Patientengruppe mit kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris. Das Ergebnis in der Gruppe Patienten mit einer Teildurchtrennung des Nervus medianus war besser im Vergleich zu denen mit einer kompletten Nervendurchtrennung. Patienten mit einer Teildurchtrennung hatten im Durchschnitt ein Ergebnis von 0,77 (Range 0,47 - 0,98). (Graphik 23)



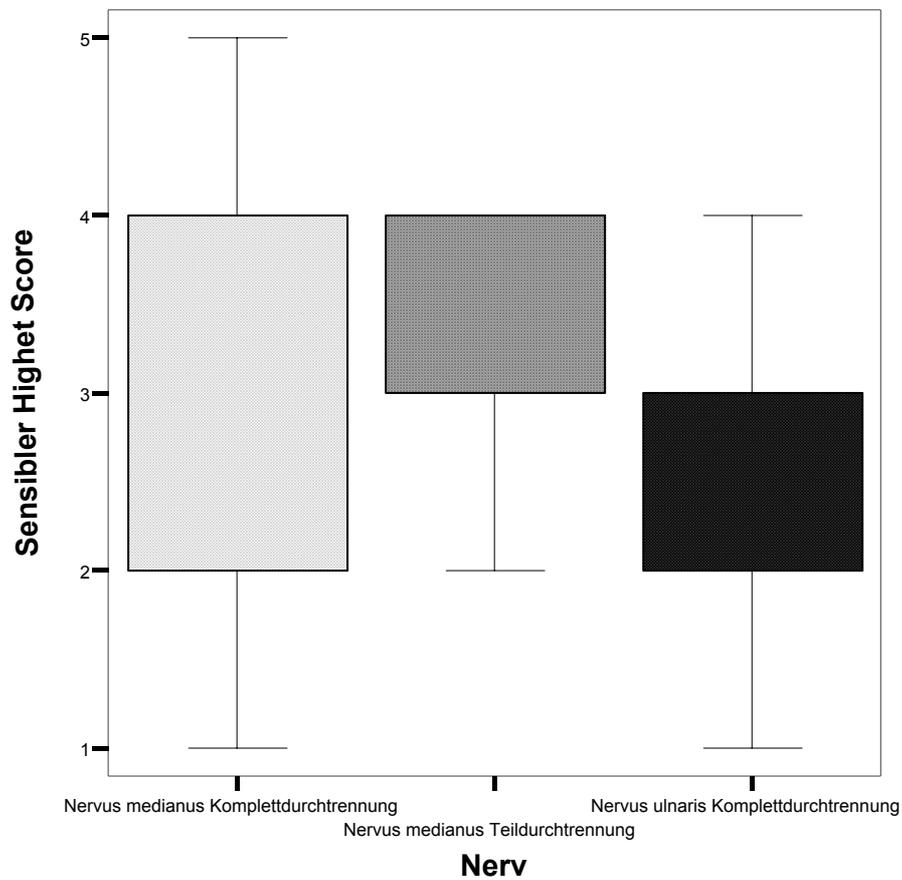
Graphik 23: Ergebnisse im sensiblen Bereich des Handprotokolls nach Rosén et al.

b) Sensibler Teil der modifizierten Highet-Skala nach Dellon et al.

Im sensiblen Teil der modifizierten Highet-Skala nach Dellon et al erreichten Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus medianus ein exzellentes Ergebnis (S4) in 3 Fällen (8,6%), ein sehr gutes Ergebnis (S3+) erzielten 8 Fälle (22,9%), ein gutes Ergebnis (S3) 9 Patienten (25,7%), 13 Fälle (37,1%) erreichten ein zufriedenstellendes Ergebnis (S2) und 2 Patienten (5,7%) ein schlechtes Ergebnis (S1).

In der Gruppe mit Teildurchtrennung des Nervus medianus erreichten 4 Patienten (50%) ein sehr gutes Ergebnis (S3+), 3 Patienten (37,5%) ein gutes Ergebnis (S3) und ein Patient (12,5%) ein zufriedenstellendes Ergebnis (S2). Exzellente und schlechte Ergebnisse wurden in dieser Gruppe nicht erzielt.

Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus ulnaris erreichten in 4 Fällen (14,3%) ein sehr gutes Ergebnis (S3+), in 12 Fällen (42,9%) ein gutes Ergebnis (S3), 11 Patienten (39,3%) erzielten ein zufriedenstellendes Ergebnis (S2) und ein Patient (3,6%) ein schlechtes Ergebnis (S1). (Graphik 24)



Graphik 24: Ergebnisse im sensiblen Teil der modifizierten Highet-Skala nach Dellon et al.

Legende zur Graphik24:

| Highet Score sensible (Graphik) | Handfunktion (Text) |
|--|----------------------------------|
| 1 | Schlechtes Ergebnis (1) |
| 2 | Zufriedenstellendes Ergebnis (2) |
| 3 | Gutes Ergebnis (3) |
| 4 | Sehr gutes Ergebnis (3+) |
| 5 | Exzellentes Ergebnis (4) |

Patienten mit einer Teildurchtrennungen erreichten auch in der modifizierten Hightet-Skala nach Dellon et al bessere Ergebnisse in der Sensibilität als Patienten mit einer kompletten Nervendurchtrennung. Die meisten Patienten mit einer Teildurchtrennung des Nervus medianus erzielten ein sehr gutes Ergebnis der Handfunktion. Die Handfunktion der Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus medianus oder des Nervus ulnaris war in den meisten Fällen zufriedenstellend.

c) Insgesamt

Patienten mit einer kompletten Nervendurchtrennung erlangten im Durchschnitt 60% und Patienten mit einer Teildurchtrennung des Nervus medianus 77% der sensiblen Funktion wieder

Die Korrelation zwischen dem sensiblen Teil des Handprotokolls nach Rosén et al. und dem sensiblen Teil der Modifizierten Hightet-Skala nach Dellon et al. ist signifikant ($p < 0,01$). (Tabelle 4)

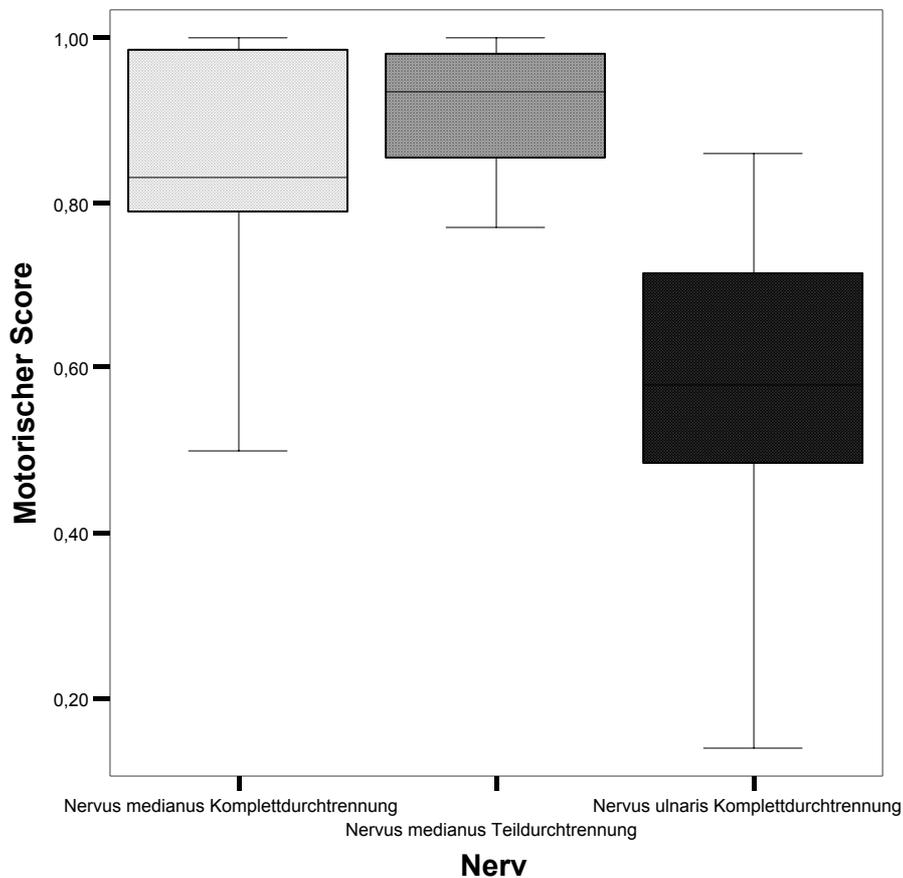
3.9 Motorik

Der Bereich Motorik besteht aus dem motorischen Teil des Handprotokolls nach Rosén et al. und dem motorischen Teil der modifizierten Hightet-Skala nach Dellon et al..

a) Motorischer Teil des Handprotokolls nach Rosén et al.

Das mittlere Ergebnis in diesem Bereich lag bei 0,74 (Range 0,14 – 1,0).

In diesem Bereich konnte ein Unterschied zwischen Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus medianus und Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus ulnaris festgestellt werden. Das Ergebnis, und somit die motorische Funktion, war bei Patienten mit kompletter Durchtrennung des Nervus medianus besser als bei Patienten mit kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris. Das durchschnittliche Ergebnis in der Gruppe mit kompletter Durchtrennung des Nervus medianus lag bei 0,83 (Range 0,34 – 1,0) und in der Gruppe mit kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris bei 0,58 (Range 0,14 – 0,86). In diesem Bereich erzielten auch Patienten mit Teildurchtrennung des Nervus medianus bessere Ergebnisse im Vergleich zu Patienten mit einer kompletten Nervendurchtrennung. Das Ergebnis in der Gruppe mit Teildurchtrennung des Nervus medianus lag im Mittel bei 0,91 (Range 0,77 – 1,0). (Graphik 25)



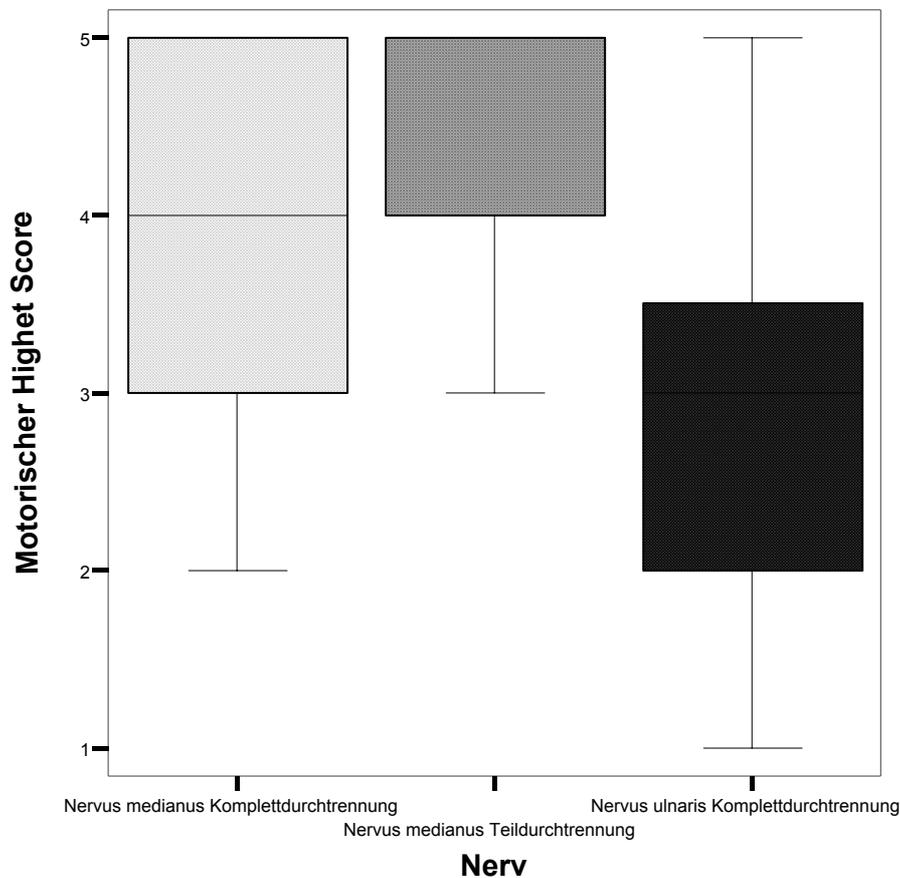
Graphik 25: Ergebnisse des motorischen Teils des Handprotokolls nach Rosén et al.

b) Motorischer Teil der modifizierten Highet-Skala nach Dellon et al.

In diesem Teil erreichten Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus medianus in 12 Fällen (34,3%) ein exzellentes Ergebnis (M5), in 11 Fällen (31,4%) ein sehr gutes Ergebnis (M4), 11 Patienten (31,4%) erzielten ein gutes Ergebnis (M3) und ein Patient (2,9%) ein zufriedenstellendes Ergebnis (M2). Ein schlechtes Ergebnis (M1) kam in dieser Gruppe nicht vor.

In der Gruppe mit Teildurchtrennung des Nervus medianus erreichten 5 Patienten (62,5%) ein exzellentes Ergebnis (M5), ein Patient (12,5%) erzielte ein sehr gutes Ergebnis (M4) und in 2 Fällen (25,0%) wurde ein gutes Ergebnis erreicht (M3). Zufriedenstellende (M2) und schlechte (M1) Ergebnisse der Handfunktion konnten in dieser Gruppe nicht festgestellt werden.

Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus ulnaris erreichten in einem Fall (3,6%) ein exzellentes Ergebnis (M5), in 4 Fällen (14,3%) ein sehr gutes Ergebnis (M4), 19 Patienten (67,9%) erzielten ein gutes Ergebnis (M3), 3 Patienten (10,7%) ein zufriedenstellendes Ergebnis (M2), und in einem Fall (3,6%) wurde ein schlechtes Ergebnis (M1) erreicht. (Graphik 26)



Graphik 26: Ergebnisse im motorischen Teil der modifizierten Highet Skala nach Dellon et al.

Die motorischen Ergebnisse waren bei Patienten mit Teildurchtrennung des Nervus medianus besser als bei Patienten mit kompletter Nervendurchtrennung. Die meisten Patienten mit Teildurchtrennung des Nervus medianus erreichten exzellente Ergebnisse der Handfunktion. In der Gruppe der Patienten mit kompletter Durchtrennung des Nervus medianus verteilten sich die meisten Ergebnisse gleichmäßig auf exzellente

(M5) und gute (M4) Ergebnisse. In der Gruppe mit kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris erzielten die meisten Patienten ein gutes Ergebnis der Handfunktion.

c) Insgesamt

Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus medianus erlangten im Durchschnitt 80%, Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus ulnaris 60% und Patienten mit einer Teildurchtrennung des Nervus medianus 91% der motorischen Funktion wieder.

Die Korrelation zwischen dem motorischen Teil des Handprotokolls nach Rosén et al. und dem motorischen Teil der modifizierten Highet-Skala nach Dellon et al. ist signifikant ($p < 0,01$). (Tabelle 4)

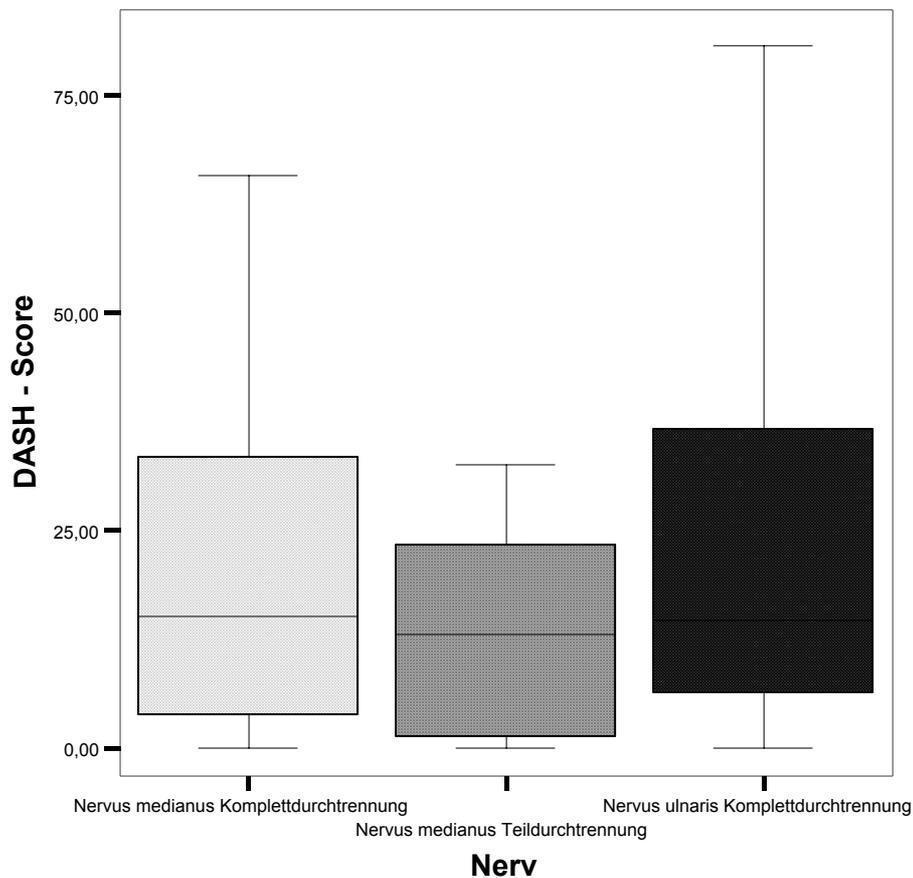
3.10 Lebensqualität / Patientenzufriedenheit

Der Bereich Lebensqualität und Patientenzufriedenheit besteht aus dem DASH-Score und dem Teil Schmerz/ Discomfort des Handprotokolls nach Rosén et al..

a) DASH-Score

Im DASH-Score können Ergebnisse zwischen 0 und 100 erzielt werden. In der Studie lagen die Ergebnisse insgesamt zwischen 0 und 81,67. Der Median lag bei 21,98.

Es konnten keine Unterschiede im Langzeitoutcome zwischen kompletten Durchtrennungen des Nervus medianus und kompletten Durchtrennungen des Nervus ulnaris festgestellt werden. Das Ergebnis in der Patientengruppe mit kompletter Durchtrennung des Nervus medianus lag im Mittel bei 23,85 (Range 0 - 81,67) und das der Patienten mit kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris bei 22,08 (Range 0 – 80,83). Unterschiede gab es bei Teildurchtrennungen des Nervus medianus und kompletten Nervendurchtrennungen. Die Ergebnisse in der Gruppe der Patienten mit einer Teildurchtrennung waren besser im Vergleich zu Patienten mit kompletter Nervendurchtrennung. Das Ergebnis in der Gruppe der Patienten mit einer Teildurchtrennung lag im Mittel bei 13,44 (Range 0 – 32,5). (Graphik 27)



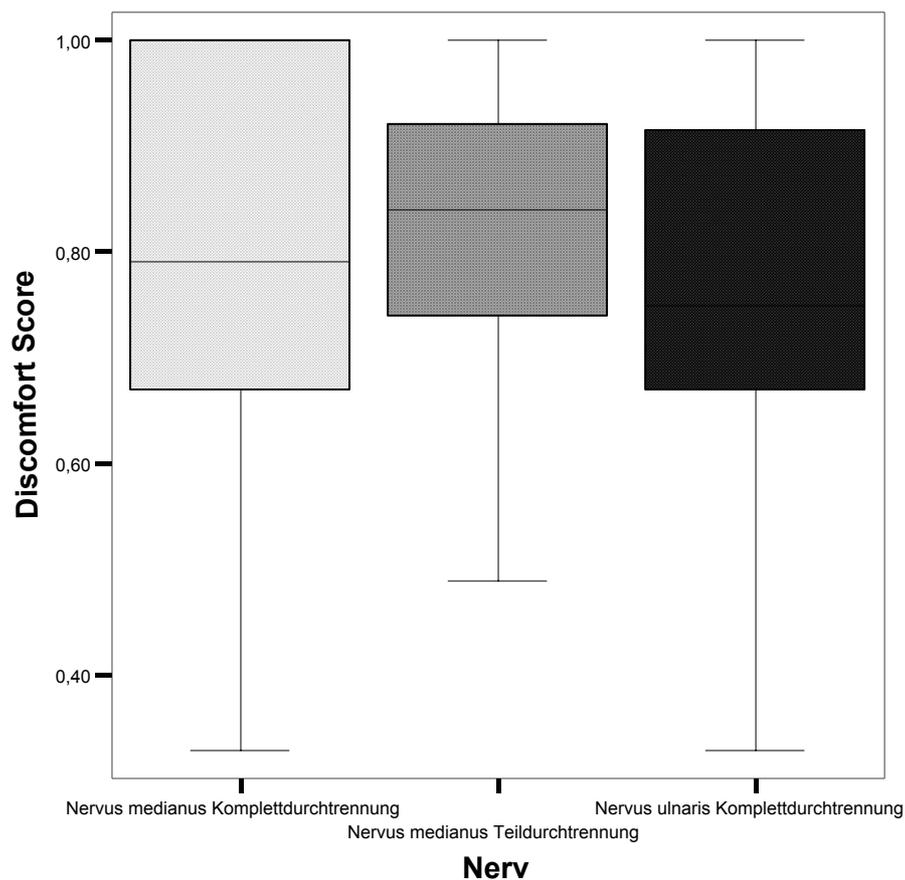
Graphik 27: Ergebnisse der einzelnen Nerven im DASH-Score

b) Schmerz/ Discomfort Teil des Handprotokolls nach Rosén et al.

Das durchschnittliche Ergebnis lag in diesem Teil bei 0,77 (Range 0,33 – 1,0).

Unterschiede im Ergebnis zwischen Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus medianus und Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus ulnaris konnten nicht festgestellt werden. In diesem Bereich erreichte die Gruppe mit kompletter Durchtrennung des Nervus medianus im Mittel ein Ergebnis von 0,79

(Range 0,33 – 1,0) und Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus ulnaris von 0,75 (Range 0,33 – 1,0). Es gab in diesem Bereich auch keine Unterschiede im Ergebnis zwischen Patienten mit einer Teildurchtrennung des Nervus medianus im Vergleich zu Patienten mit kompletter Nervendurchtrennung. Das Ergebnis lag im Mittel bei Patienten mit Teildurchtrennung des Nervus medianus bei 0,81 (Range 0,49 – 1,0). (Graphik 28)



Graphik 28:Ergebnisse im Bereich Schmerz/ Discomfort

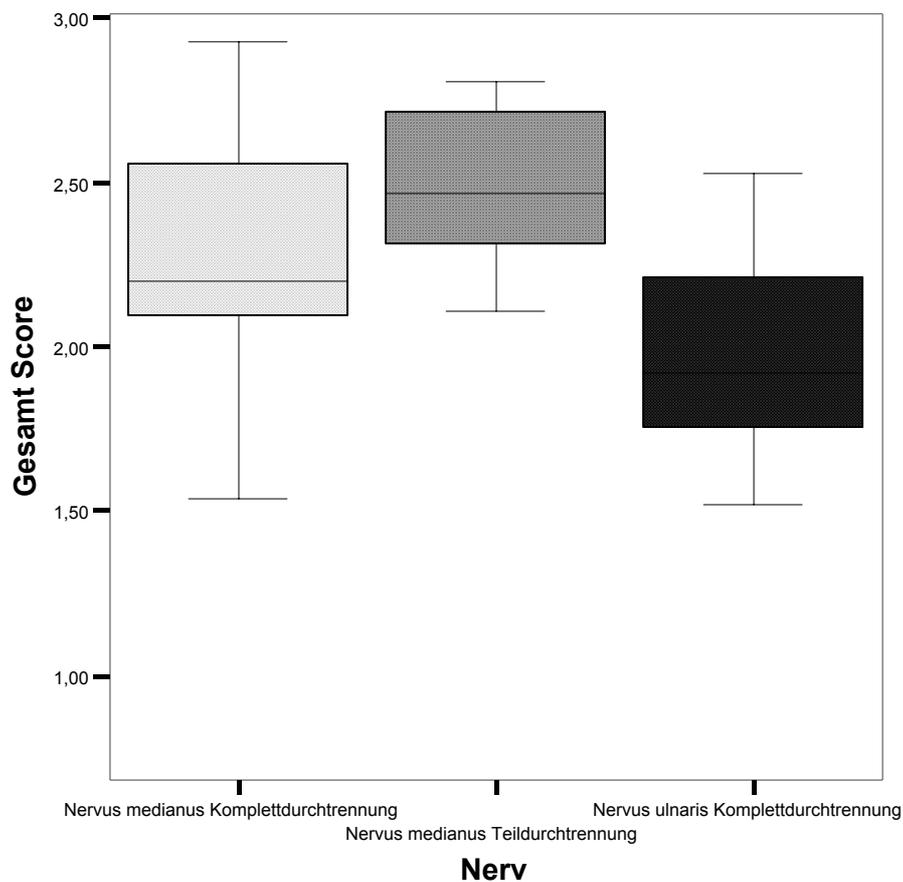
c) Insgesamt

Die Korrelation des DASH-Scores mit dem Teil Schmerz/ Discomfort aus dem Handprotokoll nach Rosén et al. ist signifikant ($p < 0,05$). (Tabelle 4)

3.11 Gesamtergebnis im Handprotokoll nach Rosén et al.

Das Endergebnis addiert aus allen 3 Bereichen des Handprotokolls nach Rosén et al. lag im Durchschnitt bei 2,12 (Range 0,77 - 2,93).

Die besten Ergebnisse und somit auch die bessere Handfunktion hatten Patienten mit einer Teildurchtrennung des Nervus medianus im Vergleich zu Patienten mit kompletter Nervendurchtrennung. Das Endergebnis lag in der Gruppe mit Teildurchtrennung des Nervus medianus in Mittel bei 2,49 (Range 2,11 – 2,81). Unterschiede im Endergebnis gab es zwischen kompletten Durchtrennungen des Nervus medianus und kompletten Durchtrennungen des Nervus ulnaris. Die Ergebnisse von Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus medianus waren im Durchschnitt besser als die der Patienten mit einer kompletten Durchtrennung des Nervus ulnaris. Das Ergebnis lag in der Gruppe mit kompletter Durchtrennung des Nervus medianus bei 2,2 (Range 0,93 – 2,93) und bei Patienten mit kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris bei 1,92 (Range 0,77 – 2,53). (Graphik 29)



Graphik 29: Gesamtergebnisse der einzelnen Nerven

Insgesamt:

Die Korrelation des Gesamtscores des Handprotokolls nach Rosén et al. und dem DASH-Score ist signifikant ($p < 0,01$). Ebenfalls signifikant ist die Korrelation des Gesamtscores mit den sensiblen und motorischen Teilen der modifizierten Highet-Skala nach Dellon et al.. (Tabelle 4)

Legende zur Tabelle 4:

| | | |
|--------------------------------|------------------|-------------|
| Korrelation nach Person | p < 0,01** | p < 0,05* |
| Signifikanzniveau | hoch signifikant | signifikant |

| Unter- suchungen | DASH- Score | Sen- sibler Score | Moto- rischer Score | Schmerz Discom- fort Score | Gesamt- score | Sen- sibler Hight Score | Moto- rischer Hight Score |
|--|------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------|--|--|
| DASH- Score | 1,000 | -,580** ,000 | -,387** ,001 | -,289* ,014 | -,589** ,000 | -,257* ,031 | -,270* ,023 |
| Sensibler Score | -,580** ,000 | 1,000 | -,464** ,000 | -,150 ,211 | -,767** ,000 | -,713** ,000 | -,475** ,000 |
| Moto- rischer Score | -,387** ,001 | -,464** ,000 | 1,000 | -,206 ,084 | -,767** ,000 | -,288* ,015 | -,729** ,000 |
| Schmerz Discomfort Score | -,289* ,014 | -,150 ,211 | -,206 ,084 | 1,000 | -,620** ,000 | -,009 ,943 | -,003 ,983 |
| Gesamt- Score | -,589** ,000 | -,767** ,000 | -,767** ,000 | -,620** ,000 | 1,000 | -,475** ,000 | -,558** ,000 |
| Sensibler Hight Score | -,257* ,031 | -,713** ,000 | -,288* ,015 | -,009 ,943 | -,475** ,000 | 1,000 | -,403** ,000 |
| Moto- rischer Hight Score | -,270* ,023 | -,475** ,000 | -,729** ,000 | -,003 ,983 | -,558** ,000 | -,403** ,000 | 1,000 |

Tabelle 4: Korrelation nach Person

Kapitel 4

Diskussion

Eine Aufgabe der Studie bestand darin, Faktoren zu identifizieren, die Einfluss auf die Nervenregeneration haben. Arterien- und Sehnenverletzungen waren häufige Begleitverletzungen im Zusammenhang mit einer Nervenverletzung.

In der Literatur findet man diesbezüglich unterschiedliche Ergebnisse. Einige Studien stellten fest, dass begleitende Verletzungen das Ergebnis der Nervenregeneration beeinflussen (5,58,102,106).

In unserer Studie hatten zusätzliche Sehnenverletzungen bei Patienten mit kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris die größten negativen Auswirkungen auf die Bereiche Lebensqualität/ Patientenzufriedenheit, Sensibilität, Motorik und den Gesamtscore des Handprotokolls nach Rosén et al.. Der Grund hierfür könnte in der größeren motorischen Komponente des Nervus ulnaris (83) und in einer weniger erfolgreichen Nervennaht bei motorischen Nerven (58) liegen. Auch Pätzolt HJ et al. beobachteten in ihrer Studie Unterschiede in der Motorik bei Patienten mit Begleitverletzung im Vergleich zu Patienten ohne Begleitverletzung. In der Sensibilität konnten Pätzolt et al. keine Unterschiede feststellen (74).

Andere Studien berichten davon, dass Beugesehnenverletzungen keinen negativen Einfluss auf die Prognose der Nervenverletzung ausüben (30). Dieses konnten wir in unserer Studie für Patienten nach kompletter Durchtrennung des Nervus medianus in Verbindung mit einer zusätzlichen Sehnenverletzung bestätigen.

Insgesamt stellten wir fest, dass Beleitverletzungen die Nervenregeneration des Nervus ulnaris negativer beeinflussen als die des Nervus medianus.

In unserer Studie wurde außerdem untersucht, ob die Höhe der Nervenverletzung einen Einfluss auf die Prognose hat. Es wurden vier Verletzungshöhen unterschieden; Handgelenk, distaler Unterarm, mittlerer Unterarm, proximaler Unterarm.

Allgemein wird in der Literatur die Meinung vertreten, dass die Verletzungshöhe Einfluss auf die Prognose der Nervenverletzung hat (30,45,63,72,78,79,84,101). Proximal gelegene Verletzungen hatten schlechtere funktionelle Ergebnisse als distal gelegene Verletzungen.

In unserer Studie konnte ein negativer Einfluss auf den DASH-Score bei Nervendurchtrennung im distalen Unterarm beobachtet werden. Der DASH-Score war höher und die Patienten unzufriedener mit dem Ergebnis der Nervennaht und der Lebensqualität. Bezüglich Sensibilität, Motorik und Gesamtscore des Handprotokolls nach Rosén et al konnten wir keine negativen Auswirkungen dieser Verletzungshöhe auf die Nervenregeneration feststellen. Selbst im Bereich Schmerz/ Discomfort des

Handprotokolls nach Rosén et al., der ebenfalls auf der Einschätzung des Patienten beruht, konnten wir die schlechteren Ergebnisse aus dem DASH-Score nicht bestätigen.

Gaul JS et al. zeigte in seiner Studie, dass Verletzungen im distalen Unterarmbereich bei Nervendurchtrennung sich günstiger auf die Prognose auswirken als proximal gelegene Verletzungen(30). Diese Ergebnisse konnten wir in unserer Studie bestätigen. Einen Unterschied in den Ergebnissen zwischen distalen und proximalen Nervendurchtrennungen konnten wir ebenfalls beobachten. Patienten mit distal gelegenen Nervenverletzungen hatten bessere motorische Ergebnisse und die Patientenzufriedenheit war höher als bei proximal gelegenen Verletzungen. Bei Verletzungen im proximalen Unterarmbereich konnten bessere sensorische Ergebnisse beobachtet werden. Diese Ergebnisse waren wegen der geringen Anzahl von Patienten mit Verletzungen im proximalen Unterarm nicht statistisch auswertbar.

Das Operationsverfahren, als weiteren möglichen Einflussfaktor auf die Prognose, untersuchten wir ebenfalls in unserer Studie. Zwei Operationsverfahren wurden angewendet: die epineurale und die interfazikuläre Nervennaht.

In dem untersuchten Studienkollektiv wurde in den meisten Fällen die epineurale Nervennaht angewandt. 73,2% der Nervenverletzungen wurden mit der epineuralen Nervennaht und 26,8% der durchtrennten Nerven mit der interfazikulären Nervennaht versorgt. Beide Nervennahttechniken haben sowohl Vorteile als auch Nachteile:

Vorteile der epineuralen Nervennaht sind: Die Technik ist atraumatischer und einfacher anzuwenden (55). Ein Nachteil ist, dass die passenden Faszikel nicht genau adaptiert werden (55), so dass es auch bei offensichtlich perfekter epineuraler Nervennaht zu Verschiebungen der einzelnen Faszikel kommen kann (24).

Der Vorteil der interfaszikulären Nervennaht besteht darin, dass korrespondierende Faszikelgruppen adaptiert werden (64); ein Nachteil dagegen ist der höhere Aufwand.

In der Literatur gibt es verschiedene Meinungen zu diesem Thema. Rognanovic Z. et al. stellte fest, dass die Prognose auch von der chirurgischen Technik abhängig ist (78). Bezüglich der epineuralen und interfaszikulären Nervennaht konnten wir in der Studie keinen Unterschied in den Bereichen Lebensqualität/ Patientenzufriedenheit, Sensibilität, Motorik und im Gesamtscore des Handprotokolls nach Rosén et al. feststellen.

In anderen Studien wurden häufig die epineurale mit der faszikuläre Nervennaht verglichen. Es konnten keine Unterschiede zwischen der epineuralen und der faszikulären Nervennaht beobachtet werden (51,99). In anderen Untersuchungen wurde festgestellt, dass die faszikuläre Nervennaht besser ist als die interfaszikuläre (51).

In der Literatur gibt es weiterhin Empfehlungen dazu, welche Nervennahttechnik bei den verschiedenen Verletzungen angewendet werden sollte. Einige Studien empfehlen, die epineurale Nervennaht bei proximalen Nervenverletzungen und die faszikuläre Nervennaht bei distalen Nervenverletzungen. Aufgrund der geringen Patientenzahl mit

proximalen Nervenverletzungen konnten wir in der Studie keine Aussage darüber treffen, ob eine epineurale Nervennaht besser bei proximalen Verletzungen durchgeführt werden sollte. In anderen Studien wird berichtet, die epineurale Nervennaht bei Nerven mit vielen gemischten Faszikeln (110) und bei sauberen Nervendurchtrennungen (65) anzuwenden; die faszikuläre Nervennaht bei rein motorischen oder rein sensiblen Faszikeln (65,110).

Insgesamt konnten wir in der Studie feststellen, dass die chirurgische Technik bezüglich der epineuralen und interfaszikulären Nervennaht keinen Einfluss auf die Prognose der Nervenverletzung hat. Die Ergebnisse beider Nahttechniken waren gleich gut.

Weiterhin werden in der Literatur Techniken zur Identifikation von sensorischen und motorischen Faszikeln beschrieben, um einzelne Faszikel optimal zu adaptieren. Zu diesem Zweck wurden in anderen Studien unter anderem die elektrophysiologische (29,36,100) und die histochemische Methode (12,19,20,27,28,35,46,76,77,96,97,109) angewandt.

Die elektrophysiologische Methode beruht auf der Stimulation der Faszikel in proximalen und distalen Nervenenden mit 0,2 Milliampere bis 0,5 Milliampere (105). In den proximalen motorischen Faszikeln erzeugen niedrige Stromstärken keinen Reiz, dagegen aber höhere Stromstärken Schmerz (105). In distalen motorischen Faszikeln kommt es nach niedriger Stromstärke zur Muskelkontraktion, während in distalen sensorischen Faszikeln kein Reiz wahrgenommen wird (105). Ein Nachteil der elektrophysiologischen Methode ist, dass die Nervenfasern nur bis zu 72 Stunden nach

der Verletzung reagieren (95). Nach 72 Stunden ist diese Methode nicht mehr anwendbar (55).

Die histochemische Methode beruht auf dem Nachweis von Acetylcholinesterase in motorischen Faszikeln (55). Der Nachteil der Methode ist, dass die Proben innerhalb von 22 Stunden nach dem Unfall entnommen sein müssen, um danach 25 bis 30 Stunden inkubiert zu werden (55). Deutinger et al. berichten in ihrer Studie von einem Vorteil der Methode speziell für sensible Ergebnisse bei der Durchtrennung des Nervus medianus (19).

Eine andere histochemische Methode zur Identifikation der Faszikel beruht auf dem Nachweis von Carboanhydrase in sensorischen Faszikeln. Die Färbung des Axoplasmas ist ein Merkmal der sensorischen Fasern; die Färbung der Myelinscheiden ist charakteristisch für motorische Axone (77). Diese Methode ist schneller, aber nicht spezifisch (12,76,77,96).

Bei einer Kombination der histochemischen Methoden steigt die Genauigkeit der faszikulären Identifikation (86).

Nachteile der Methoden sind, dass durch die Identifikation der Faszikel viel Zeit verloren geht. Die Zeit zwischen Verletzung und Operation ist ein wichtiger Faktor im Hinblick auf die Prognose (44,45,78,79,102,106). Weitere Nachteile sind der höhere Zeitaufwand (55) für den Chirurgen und die damit verbundenen Kosten, sowie das Risiko der Veränderung des faszikulären Musters (109). Außerdem zeigen andere

Studien, dass eine Identifikation der Faszikel keinen wesentlichen Vorteil hat; im Vergleich erzielten Patienten mit Identifikation der Faszikel in den Ergebnissen der Nervenregeneration keine signifikanten Unterschiede zu Patienten ohne Identifikation der Faszikel (19).

In der Studie untersuchten wir, ob das Alter Einfluss auf die Prognose der Nervendurchtrennung hat. Zu diesem Zweck unterteilten wir die Studiengruppe in 2 Subgruppen: Patienten unter 18 Jahre und Patienten über 18 Jahre.

In der Literatur wird berichtet, dass das Alter einen wichtiger Faktor hinsichtlich der Prognose der Nervenregeneration darstellt (3,6,16,30,58,63,71,72,74,75,79,83,84,90,102,106). Gute Ergebnisse konnten in anderen Studien bei Kindern beobachtet werden (1,2,44,45,53,60,70,102,104). In einigen der untersuchten Bereiche konnten wir Unterschiede zwischen den beiden Subgruppen feststellen. Die Ergebnisse in den Bereichen Lebensqualität/ Patientenzufriedenheit, Sensibilität und im Gesamtscore des Handprotokolls nach Rosén et al. waren in der Gruppe der Patienten unter 18 Jahre deutlich besser. Mailänder P et al. beobachteten ebenfalls in ihrer Studie, dass die Sensibilitätsrückkehr in starkem Maße vom Patientenalter abhängig ist (57). Auch Rosén B et al. stellten fest, dass das Alter einen signifikanten Einfluss auf die Wiedererlangung der sensorischen Funktion hat (83). In der Studie von Duteille F et al. konnte beobachtet werden, dass die Wiedererlangung der sensorische Funktion bei Kindern gut ist, aber dass Kinder auch motorische Defizite haben (22). Defizite im motorischen Bereich konnten wir in unserer Studie bei Patienten

unter 18 Jahren auch feststellen. Der Grund hierfür könnte sein, dass die Nervennaht in motorischen Nerven weniger erfolgreich ist als in sensorischen Nerven (58).

Zu dem Thema bis zu welchem Alter Kinder die besten Ergebnisse nach Nervenverletzungen erreichen, gibt es in der Literatur verschiedene Ergebnisse. In der Studie von Pätzolt HJ et al. erreichten Kinder bis zum 14. Lebensjahr die besten Ergebnisse (74). Koller R et al. beobachteten schlechtere Ergebnisse bei Kindern, die zum Zeitpunkt der Nervennaht älter als 10 Jahre alt waren (47). In unserer Studie erreichten Patienten, die zum Zeitpunkt der Nervenverletzung 8 Jahre oder jünger waren, die besten Ergebnisse.

Gründe für die günstigere Prognose der Nervendurchtrennung bei Kindern liegen in der besseren Kapazität, die Reorganisation des zentralen Nervensystems zu adaptieren (1,26,39,56).

Weiterhin gibt es in der Literatur Meinungen darüber, in wie fern das Alter die Prognose bei Erwachsenen beeinflusst. Nach Meinung von Roganovic Z beeinflusst das Alter zwischen 16 und 50 Jahren nicht signifikant das Ergebnis (78). In anderen Studien wird berichtet, dass das Alter, speziell bei Erwachsenen, keinen Beitrag zum Ergebnis leistet (4,37).

Mit der sensorischen Umerziehung bei Erwachsenen kann die Plastizität des Gehirns ausgeweitet werden, um die Auswertung der neuen Muster, die vom sensorischen

Kortex bei Berührung verschiedener Objekte repräsentiert werden, zu erlernen (17,40,42,108).

Insgesamt konnten wir in unserer Studie bestätigen, dass das Alter auf die Sensibilität und die Lebensqualität/ Patientenzufriedenheit Einfluss bezüglich der Prognose der Nervenregeneration hat, aber nicht auf die Motorik.

Ein weiterer Untersuchungspunkt der Studie war die Frage, ob der Nerventyp einen Einfluss auf das Ergebnis hat. Das Studienkollektiv wurde in 3 Gruppen unterteilt: Komplette Durchtrennung des Nervus medianus, Teildurchtrennung des Nervus medianus und komplette Durchtrennung des Nervus ulnaris.

In unserer Studie konnten wir feststellen, dass Patienten mit einer Teildurchtrennung des Nervus medianus in allen Untersuchungsbereichen die besten Ergebnisse erzielten. Ein Grund hierfür ist die bessere faszikuläre Orientierung des regenerierenden Nervenanteils (45).

Unterschiede in der Sensibilität und Motorik nach kompletter Durchtrennung des Nervus medianus konnten wir in der Studie nicht beobachten. Der Grund hierfür könnte die erfolgreichere Nervenennaht in sensorischen Nerven sein (58) und die Tatsache, dass es eine Doppelinnervation im Bereich der Thenarmuskulatur gibt (38,69,103).

Martini A et al. beschrieben in ihrer Studie (58), dass die Nervenennaht in sensorischen Nerven erfolgreicher ist als in motorischen Nerven. Dieses könnte ein Grund dafür sein,

dass in der vorliegenden Studie keine Unterschiede in der Sensibilität zwischen kompletten Durchtrennungen des Nervus medianus und des Nervus ulnaris festgestellt werden konnten. Auch in den Ergebnissen der Studie von Rosén et al. konnten keine Unterschiede in der Sensibilität zwischen kompletten Durchtrennungen des Nervus medianus und des Nervus ulnaris festgestellt werden (82).

Hinsichtlich der motorischen Funktion gab es zwischen den kompletten Durchtrennungen des Nervus medianus und des Nervus ulnaris Unterschiede. Die Motorik war bei Patienten nach kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris schlechter als bei Patienten nach kompletter Durchtrennung des Nervus medianus und somit auch der Gesamtscore des Handprotokolls nach Rosén et al.. Der Grund hierfür besteht in der größeren motorischen Komponente des Nervus ulnaris (83) und darin, dass die Nervennaht in motorischen Nerven weniger erfolgreich ist als in sensorischen Nerven (58). Auch in den Ergebnissen der Studie von Rosén et al. konnte festgestellt werden, dass die motorischen Ergebnisse nach kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris schlechter sind als nach kompletter Durchtrennung des Nervus medianus (82) und somit auch der Gesamtscore des Handprotokolls nach Rosén et al. (82).

Insgesamt konnten wir feststellen, dass der Nerventyp einen Einfluss auf die Prognose der Nervenverletzung hatte und Nerven mit einer größeren motorischen Komponente eine schlechtere Prognose hatten.

Zur Evaluation der sensorischen und motorischen Funktion nach Nervenverletzungen verwendeten wir die modifizierte Highet-Skala nach Dellon et al (Tabelle 3) (15).

In der Literatur ist die Hightet-Skala die am meisten verwendete Klassifikation zur Evaluation der sensorischen und motorischen Handfunktion nach Nervenverletzungen (7,18,43,44,45,57,82,83,102).

Es wird auch Kritik an der Hightet-Skala geäußert in der Literatur. Die Hightet-Skala sei nicht völlig zufriedenstellend, weil sie eine qualitative Klassifikation darstellt (45).

In unserer Studie machten wir ebenfalls die Erfahrung, dass die Hightet-Skala alleine nicht ausreicht, um die sensorische und motorische Handfunktion nach Nervenverletzungen richtig einzuordnen. Die modifizierte Hightet-Skala nach Dellon et al. berücksichtigt die statistische Zwei-Punkte-Diskrimination. Dieser Test gibt genauere Informationen über die sensible Funktion (66). Andere qualitative Merkmale wie Schmerz, Kälteintoleranz oder Hyperästhesie bleiben in der Hightet-Skala unberücksichtigt. Für den Untersucher ist es immer noch schwierig, den Patienten nach der modifizierten Hightet-Skala nach Dellon et al. richtig einzuordnen, da die Skala auf subjektiven Empfindungen des Patienten basiert, ohne dass eine definierte Methode zur Evaluation angegeben wird.

Insgesamt konnten wir sagen, dass die Hightet-Skala als alleinige Methode zur Evaluation der sensorischen und motorischen Handfunktion nach Nervenverletzungen aufgrund der Unvollständigkeit und der schwierigen Einordnung des Patienten nicht geeignet war.

Als weitere Methode zur Evaluation der Handfunktion nach Nervenverletzungen verwendeten wir den DASH-Fragebogen Version 2.0 als Postfragebogen.

Der DASH-Score basiert auf der Selbsteinschätzung des Patienten und ist somit ein subjektives Instrument zur Evaluation der Handfunktion nach Nervenverletzungen.

In der Studie von Germann G et al wurde der DASH-Fragebogen zur Evaluation der Handfunktion nach Nervenverletzungen nur bei Patienten nach Verletzung des Nervus medianus eingesetzt (31). Im Vergleich dazu setzten wir den DASH-Fragebogen auch bei Patienten nach Verletzung des Nervus ulnaris ein. Unterschiede im DASH-Score zwischen kompletten Durchtrennungen des Nervus medianus und des Nervus ulnaris konnten wir nicht feststellen. Ein Grund hierfür ist, dass zur Ausführung der aufgeführten Aufgaben vor allem die Digiti I, II und III benötigt werden, weniger die Digiti IV und V. Motorische und sensorische Defizite waren bei Patienten nach kompletter Durchtrennung des Nervus ulnaris deshalb mit dem DASH-Score schlechter feststellbar. Der Fragebogen war für Patienten mit Verletzung des Nervus ularis nicht gut geeignet.

Unterschiede im DASH-Score zwischen Männern und Frauen konnten wir in der Studie beobachten. Der DASH-Score von Männern war im Durchschnitt besser als der von Frauen. Der Grund ist, dass einige Fragen zu Tätigkeiten im Haushalt aufgeführt sind. Verheiratete Männer, bei denen die Ehefrau diese Aufgaben übernimmt, haben die Fragen mit „keine Schwierigkeiten“ beantwortet. Zur Verbesserung des DASH-Scores

müssten gleichwertige Aufgaben, die nur von Männern ausgeführt werden, aufgenommen werden.

Weitere Unterschiede gab es, wenn bei Rechtshändern nicht die rechte oder bei Linkshändern nicht die linke, sondern die Gegenseite verletzt war. Der DASH-Score war bei Verletzung der Gegenseite im Durchschnitt besser. Meistens antworteten die Patienten mit „keine Schwierigkeiten“, obwohl die Aufgaben nie mit der Gegenseite ausgeführt wurden. Dieser Kritikpunkt lässt sich durch eine Änderung des DASH-Fragebogens nicht beheben. Es ist ebenfalls schwer, den Patienten zu bitten, nur für den Fragebogen die aufgeführten Aufgaben mehrmals mit der Gegenseite zu üben, um dann eine Einschätzung über das Ausmaß der Schwierigkeiten abzugeben. Die Einschätzung wäre immer schlechter, weil die meisten Patienten mit der Gegenseite weniger geschickt sind.

Die Frage nach sexuellen Aktivitäten stieß in der Studie von Germann G et al. zum Teil auf Ablehnung oder wurde mit der Antwort „keine Schwierigkeiten“ (31) beantwortet. Auf Ablehnung stieß diese Frage im Patientenkollektiv der vorliegenden Studie nicht, aber wir konnten bestätigen, dass meistens die Antwort „keine Schwierigkeiten“ gegeben wurde und nur sehr wenige Patienten ehrlich antworteten. Der Grund ist wahrscheinlich, dass die Frage als zu intim erachtet wird (31).

In unserer Studie konnten wir feststellen, dass der DASH-Score mit der modifizierten Highet-Skala nach Dellon et al. und allen Bereichen des Handprotokolls nach Rosén et al. korrelierte (Tabelle 4).

Insgesamt konnten wir sagen, dass der DASH-Fragebogen leicht verständlich ist (31) und sich nach unserer Erfahrung ohne große Probleme zur Patientenuntersuchung sowie als Postfragebogen einsetzen ließ. Zur Evaluation der Handfunktion bei Verletzung des Nervus ulnaris war er weniger gut geeignet. Als alleinige Untersuchungsmethode der Handfunktion nach Nervenverletzungen war der DASH-Score nicht geeignet, aber in Kombination mit anderen Methoden, da der DASH-Score auf der Selbsteinschätzung des Patienten basiert.

Zur Evaluation der Handfunktion nach Nervenverletzungen haben wir das Handprotokoll nach Roén et al. eingesetzt.

Das Handprotokoll besteht aus den Bereichen Sensibilität, Motorik und Schmerz/Discomfort (82). Der Untersucher erhält über jeden der 3 Bereiche separat detaillierte Informationen (82). Sensorische und motorische Defizite der einzelnen Nerven lassen sich dadurch gut feststellen.

Das Handprotokoll ist eine objektive Methode zur Evaluation der Handfunktion, in dem auch die Patienteneinschätzung berücksichtigt wird (82). Deshalb konnten wir keine Unterschiede in der sensorischen und motorischen Funktion bei Verletzung der Gegenseite beobachten, wie es in Untersuchungsverfahren, die nur auf der Selbsteinschätzung der Patienten beruhen, der Fall sein könnte.

Auch die Aufgaben des Sollerman hand function Test (93) tragen zur Objektivität der Untersuchung bei. Größere Schwierigkeiten bei der Ausführung der Aufgaben traten

auch nicht bei Verletzung der Gegenseite auf, die der Patient normalerweise nicht einsetzen würde.

Patienten nach Verletzung des Nervus medianus benutzten seltener die Digiti I und II zu sensorischen Zwecken. Zur Kompensation der sensorischen Defizite wurden häufig die Digiti III, IV und V eingesetzt. Im Handprotokoll nach Rosén et al. war dies unbemerkt nicht möglich. Anders war dieses in Untersuchungen, die auf einer Selbsteinschätzung des Patienten basierten. Dieses spricht ebenfalls für die Objektivität des Handprotokolls.

Rosén B et al. stellten fest, dass der Gesamtscore mit der Patienteneinschätzung bezüglich Schwierigkeiten in den Aktivitäten des täglichen Lebens korreliert (82). Auch in unserer Studie stellten wir eine Korrelation zwischen dem Gesamtscore des Handprotokolls und dem DASH-Score fest (Tabelle 4). In der Studie konnten wir feststellen, dass der Gesamtscore mit der modifizierte Hightet-Skala nach Dellon et al. ebenfalls korrelierte. Keine Korrelation konnten wir zwischen der modifizierten Hightet-Skala nach Dellon et al. und dem Bereich Schmerz/ Discomfort feststellen (Tabelle 4). Der sensorische und motorische Bereich korrelierte mit der modifizierten Hightet-Skala nach Dellon et al. (Tabelle 4).

Das Handprotokoll nach Rosén et al. war präzise gestaltet und beinhaltet die Messung wichtiger Faktoren. Als alleinige Evaluationsmethode nach Nervenverletzungen war das Handprotokoll geeignet. Alle 3 Bereiche erklärten in der 3-Faktorenanalyse 73% der Varianz (82). Kombinierte man das Handprotokoll nach Rosén et al. mit dem DASH-Score, so wurden in der 3-Faktorenanalyse 85,5% der Varianz der Ergebnisse erklärt.

Aufgrund unserer Ergebnisse empfehlen wir zur Erzielung einer Verbesserung der Evaluation der Handfunktion nach Nervenverletzungen empfehlen wir das Handprotokoll nach Rosén et al. und den DASH-Score Version 2.0 kombiniert einzusetzen. Die Untersuchung des Patienten nach dem Handprotokoll von Rosén B et al. dauert im Durchschnitt 20 Minuten. Der Aufwand lohnt sich, denn der Untersucher erhält detaillierte Informationen über alle 3 Bereiche des Protokolls (82) und somit ein objektives Bild der Handfunktion. Der DASH-Score dient zur Ergänzung des Handprotokolls. Der Patient benötigt etwa 15 Minuten um den DASH-Fragebogen auszufüllen. Die Patienteneinschätzung ist ein wichtiges Kriterium zur Beurteilung des Erfolges der Nervennaht. Die Kombination aus dem Handprotokoll nach Rosén et al. und dem DASH-Score Version 2.0 ermöglicht eine objektive Beurteilung der Handfunktion und lässt die Patientenzufriedenheit nicht unberücksichtigt.

Literaturverzeichnis

1. Almquist E, Eeg – Olofsson O (1970)

Sensory nerve conduction velocity and two–point discrimination in sutured nerves

J Bone Joint Surg 52A: 790 – 796

2. Almquist E, Smith O, Frey L (1983)

Nerve conduction velocity, microscopic and electron microscopy studies comparing repaired adult and baby monkey median nerves

J Hand Surg 8: 406 – 410

3. Amara B, de Medinaceli L, Lane GB, Merle M (2000)

Functional assessment of misdirected axon growth after nerve repair in the rat

J Reconstr Microsurg 16 (7): 563 – 567

4. Ballantyne JP, Campbell MJ (1973)

Electrophysiological study after surgical repair of sectioned human peripheral nerves

J Neurol Neurosurg Psychiatry 36: 797 – 805

5. Barrios C, Amillo S, de Pablos J, Canadell J (1990)

Secondary repair of ulnar nerve injury, 44 cases followed for 2 years

Acta Orthop Scand 61 (1):46 – 49

6. Birch R, Bonney G, Payan J, Wynn Parry CB, Iggo A (1986)

Peripheral nerve injuries

J Bone Joint Surg (Br) 68: 2 – 21

7. Birch R, Raji ARM (1991)

Repair of median and ulnar nerves. Primary suture is best.

J Bone Joint Surg 73B: 154 – 157

8. Brandsma JW, Schreuders TAR, Birke JA, Piefer A, Oostendorp R (1995)

Manual muscle strength testing intraobserver and interobserver reliabilities for the intrinsic muscles of the hand

J Hand Ther 8: 185 – 190

9. Braun RM (1966)

Comparative studies of neurorrhaphy and sutureless peripheral nerve repair

Surg Gynecol Obstet 122:15

10. Buchtal F, Kühl V (1979)

Nerve conduction, tactile sensibility and the electromyogram after suture or compression of peripheral nerve : a longitudinal study in man

J Neurol Neurosurg Psychiatry 42: 436 – 451

11. Callahan AD (1995)

Sensibility assessment: prerequisites and techniques for nerve lesions in continuity and nerve lacerations

In: HunterJM, Mackin EJ, Callahan AD, eds Rehabilitation of the Hand: Surgery and therapy 4th ed. St. Louis: Mosby: 129 – 152

12. Cammer W, Tansey FA (1987)

Immuncytochemical localisation of carbonic anhydrase in myelinated fibers in peripheral nerves of rat and mouse

J Histochem Cytochem 35: 865 – 870

13. Campbell DA, Kay SP (1998)

What is cold intolerance?

J Hand Surg 23B: 3 – 5

14. Charlwood KA, Lamont DM, Banks BEC (1972)

Apparent orienting effects produced by nerve growth factor

In: Nerve growth factor and its antiserum (Eds. Zaimis E, Knight J) pp. 102 – 107

Athlone Pres, University of London, London

15. Dellon AL, Curtis RM, Edgerton MT (1974)

Reeducation of sensation in the hand after nerve injury and repair

Plast Reconstr Surg 53: 297 – 305

16. Dellon AL (1990)

Wound healing in nerve

Clinics in Plastic Surgery 17 (3): 545 – 570

17. Dellon AL (1997)

Somatosensory testing and rehabilitation

The American Occupational Therapy Association, Inc. Bethesda.

18. Dellon AL (2001)

Clinical grading of peripheral nerve problems

Neurosurgery Clinics of North America 12 (2): 229 – 240

19. Deutinger M, Girsch W, Burgasser G, Windisch A, Joshi D, Mayr N, Freilinger G (1993)

Peripheral nerve repair in the hand with and without motor sensory differentiation

J Hand Surg 18A: 426 – 432

20. Deutinger M, Girsch W, Burgasser G, Windisch A, Mayr N, Freilinger G (1993)

Clinical and electroneurographic evaluation of sensory / motor–differentiated nerve repair in the hand

J Neurosurg 78: 709 – 713

21. Ducker TB, Kempe LG, Hayes GJ (1969)

The metabolic background for peripheral nerve surgery

J Neurosurg 30: 270 – 280

22. Duteille F, Petry D, Poure L, Dautel G, Merle M (2001)

A comparative clinical and electromyographic study of median and ulnar nerve injuries at the wrist in children and adults

J Hand Surg (Br) 26 (1): 58 – 60

23. Ebendal T, Jacobson CO (1977)

Tissue explants affecting extension and orientation of axons in cultured chick embryo ganglia

Exp Cell Res 105: 379 – 387

24. Edshage S (1964)

Peripheral nerve suture. A technique for improved intraneural topography.

Acta Chir Scand Suppl; 331:1 – 104

25. Elis JS (1967)

Technical aspects of peripheral nerve surgery

The British Club for Surgery of the Hand 17: 11

26. Florence SL, Jain N, Pospichal MW, Beck PD Sly DL, Kaas JH (1996)

Central reorganization of sensory pathways following peripheral nerve regeneration
in fetal monkeys

Nature 381: 69

27. Freilinger G, Gruber H, Holle J, Mandl H (1975)

Zur Methode der „sensomotorisch“ differenzierten Faszikelnaht peripherer Nerven

Handchirurgie 7: 133 – 138

28. Freilinger G, Holle J, Sulzgruber SC (1978)

Distribution of motor and sensory fibers in the intercostal nerves

Plast Reconstr Surg 62: 210 – 244

29. Gaul J (1986)

Electrical fascial identification as an adjunct to nerve repair

Hand Clin 2: 709 - 722

30. Gaul JS jr., Charlotte NC (1982)

Intrinsic motor recovery – a long term study of ulnar nerve repair

The journal of hand surgery 7A: 502 – 508

31. German G, Harth A, Wind G, Demir E (2003)

Standardisierung und Validierung der deutschen Version 2.0 des “Disability of Arm, Shoulder, Hand” (DASH) – Fragebogens zur Outcome – Messung an der oberen Extremität

Unfallchirurg 106: 13 – 19

32. Goldner JL, Hall RL (1998)

Nerve entrapment syndromes of the low back and lower extremities

In: Omer GE, Spinner M, van Beck AL, eds

Management of peripheral nerve problems 2nd ed Philadelphia: WB Saunders: 554

33. Grafstein B (1975)

The nerve cell–body response to axotomy

Exp Neurol 48: 32 – 51

34. Grafstein B, McQuarrie IG (1978)

Role of the nerve cell body in axonal regeneration

In: Neuronal Plasticity (Ed. Cotman CW);pp. 155 – 195, Raven Press, New York

35. Grubner H, Freilinger G, Holle J, Mandl H (1976)

Identification of motor and sensory funiculi in cut nerves and their selective reunion

Br J Plast Surg 29: 70 – 73

36. Hakstian RW (1968)

Funicular orientation by direct stimulation

J Bone Joint Surg 50A:1178 – 1186

37. Hamlin E, Watkins AL (1971)

Regeneration in the ulnar, median, radial nerves

Surg Clin North Am 1947; 27: 1052 – 1062

38. Harness D, Sekeles E

The double anastomotic innervation of the thenar muscles

J Anat 109: 461 – 466

39. Hudson DA, Bolitho DG, Hodgett K (1997)

Primary epineural repair of the median nerve in children

J Hand Surg 22B: 54 – 56

40. Imai H, Tajima T, Natsumi Y (1991)

Successful re-education of functional sensibility after median nerve repair at wrist

J Hand Surg 16A: 60 – 65

41. Jacobson HJ (1963)

Microsurgical technique in the repair of traumatized extremity

Clin Orthop 29: 122

42. Jenkins WM, Merzenich MM, Ochs MT, Allard T Guic – Robles E (1990)

Function reorganization of primary somatosensory cortex in adult owl monkeys after behaviourally controlled tactile stimulation

J Neurophysiology 63: 82 – 104

43. Jerosch – Herold C (2000)

Should sensory function after median nerve injury and repair be quantified using two–point discrimination as the critical measure

Scand J Plast Reconstr Hand Surg 34: 339 – 343

44. Jongen SJM, van Twisk R (1988)

Results of primary repair of ulnar and median nerve injuries at the wrist: an evaluation of sensibility and motor recovery

The Netherlands journal of Surgery: 40 – 43

45. Kallio PK, Vastamaki M (1993)

An analysis of the results of the late reconstruction of 132 median nerves

J Hand Surg (Br) 18 (1): 97 – 105

46. Kanaya F, Ogden L, Breidenbach WC, Tsai TM, Scheker L (1991)

Sensory and motor fiber differentiation with Karnovsky staining

J Hand Surg 16A: 851 – 858

47. Koller R, Rath TH, benditte – Klepetko H, Eberhard D, Millesi H (1998)

Ergebnisse der Kontinuitätswiederherstellung peripherer Nerven im Kindes- und
Jugendalter

Handchir Mikrochir Plast Chir 30: 109 – 115

48. Kreutzberg GW (1981)

The regeneration process of the neuron: an introduction

In: Posttraumatic nerve regeneration (Eds. Gorio A, Millesi H, Mingrino S): 3 – 6,

Raven Press, New York

49. Kurtze T (1964)

Mikrotechniques in neurological surgery

Clin Neurosurg 11: 128

50. Letourneau PC (1978)

Chemotactic response of nerve fibre–elongation to nerve growth factor

Dev Biol 66: 183 – 196

51. Levinthal R, Brown WJ, Rand RW (1977)

Comparison of fascicular, interfascicular and epineural techniques in the repair of
simple nerve lacerations

J Neurosurg 47 (5): 744 – 750

52. Lieberman HR (1971)

The axon reaction: a review of principal features of the perikaryal responses to axon injury

Int Rev Neurobiol 14: 49 – 124

53. Lindsay WK, Walker FG, Farmer AW (1962)

Traumatic peripheral nerve injuries in children: results of repair

Plast Reconstruct Surg 30: 462 – 468

54. Lumsden ASG, Davies AM (1983)

Earliest sensory nerve fibres are guided to peripheral targets by attractants other than nerve growth factor

Nature 306: 786 – 788

55. Lundborg G (1987)

Nerve regeneration and repair. A review

Acta Orthop Scand 58: 145 – 169

56. Lundborg G (2000)

Brain plasticity and hand surgery – an overview

J Hand Surg 25B: 242 – 252

57. Mailänder P, Berger A, Ruhe K (1988)

Ergebnisse nach primären Nervennähten

Handchir, Mikrochir, Plast Chir; 20: 342 - 343

58. Martini A, Zellner PR (1976)

Results of nerve repair in the upper limbs

Chirurg 47 (12): 682 – 686

59. Marx RG, Bombardier C, Wright JG (1999)

What do we know about the reliability and validity of physical examination tests used to examine the upper extremity

J Hand Surg 24A: 185 – 193

60. McEwan LE (1962)

Median and ulnar nerve injuries

Aust N.Z. J Surg 32: 89 – 104

61. Medical Research Council. Nerve injuries committee (1954):

Results of nerve suture

In: Seddon HJ ed. Peripheral nerve injuries London : Her Majesty's stationery office

62. Michon J, Masse P (1964)

Le moment optimum de la suture nerveuse dans les paies due membres superieur

Rev Chir Orthop 50: 205, 212

63. Millesi H, Meissl G, Berger A (1976)

Further experience with interfascicular grafting of the median, ulnar and radial nerves

J Bone Joint Surg 58A (2): 209 – 218

64. Millesi H (1979)

Microsurgery of peripheral nerves

World J Surg 3: 67 – 79

65. Millesi H (1981)

Reappraisal of nerve repair

Surg Clin North Am 61 (2): 321 – 340

66. Moberg E (1962)

Criticism and study of methods for examining sensibility in the hand

Neurology 12: 8 – 19

67. Moberg E (1990)

Two–point discrimination test: a valuable part of hand surgical rehabilitation in tetraplegia

Scand J Rehabil Med 22: 127 – 134

68. Müller M und Mitarbeiter (2002/ 2003)

Chirurgie für Studium und Praxis

Medizinischer Verlag und Informationsdienst

69. Murphy F, Kirklin JW, Finlayson AI (1946)

Anomalous innervation of the intrinsic muscles of the hand

Surg Gynecol Obstet 83: 15 – 23

70. Örne L (1962)

Recovery of sensibility and sudomotor activity in the hand after nerve suture

Acta Chir Scand Suppl: 300

71. Omer GE (1974)

Injuries to nerves of the upper extremity

J Bone joint Surg (Am) 56: 1615 – 1624

72. Omer GE (1981)

Physical diagnosis of peripheral nerve injuries

Orthop Clin North Am 12 (2): 207 – 226

73. Omer GE jr. (1990)

Report of the committee for evaluation of the clinical results in peripheral nerve injury

Scand J Rehabil Med 22: 127 – 134

74. Pätzolt HJ, Henkert K (1990)

Operative Behandlung von Verletzungen peripherer Nerven

Zentralbl Chir 115: 677 – 684

75. Puckett CL, Meyer VH (1985)

Results of treatment of extensive volar wrist laceration: the spaghetti wrist

Plast Reconstr Surg 75: 714 – 719

76. Riley DA, Ellis S, Bain LW (1982)

Carbonic anhydrase activity in skeletal muscle fiber types, axons, spindles and capillaries of rat soleus and extensor digitorum longus muscle

J Histochem Cytochem 30: 1275 – 1288

77. Riley DA, Lang DH (1984)

Carbonic anhydrase activity of human peripheral nerves: a possible histochemical aid to nerve repair

J Hand Surg 9A: 112 – 120

78. Roganovic Z (1998)

Factors influencing the outcome of nerve repair

Vojnosanit Pregl 55 (2): 119 – 131

79. Rosenfield J, Paksima M (2001 – 2002)

Peripheral nerve injuries and repair in upper extremity

Bull Hosp Jt Dis 60 (3 – 4): 155 – 161 Review

80. Rosén B (1996)

Recovery of sensory and motor function after nerve repair: a rationale for evaluation

J Hand Ther 9: 315 – 327

81. Rosén b, Lundborg G (1998)

A new tactile gnosis instrument in sensibility testing

J Hand Ther 11: 251 – 257

82. Rosén B, Lundborg G (2000)

A model Instrument for the documentation of outcome after nerve repair

J Hand Surg 25A: 535 – 543

83. Rosén B, Lundborg G (2001)

The long term recovery curve in adults after median or ulnar nerve repair: a reference interval

J Hand Surg (Br. and European Volume) 26B (3): 196 – 200

84. Samardzic M, Sekulovic N, Grujicic D (1991)

Microsurgical reconstruction of peripheral nerve injuries

Srp Arh Celok Lek 119 (1 – 2): 14 – 17

85. Sanders FK, Young JZ (1946)

The influence of peripheral connections on the diameter of regenerating nerve fibre

J Exp Biol 22: 203 – 212

86. Sanger JR, Riley DA, Matloub HS, Yousif NJ, Bain JL, Moor GH (1991)

Effects of axotomy on the cholinesterase and carbonic anhydrase activities in the proximal and distal stumps of rabbit sciatic nerves: a temporal study

Plast Reconstr Surg 87: 726 – 740

87. Schiebler , Schmidt, Zilles (1997)

Anatomie

Springer Verlag 7. Auflage

88. Seddon HJ (1954)

Peripheral nerve injuries

Medical Research council Special Report No. 282

Her Majesty`s Stationery office London

89. Seddon HJ (1972)

Surgical disorders of the peripheral nerves

Williams and Wilkins, Baltimore

90. Skallarides H (1962)

Follow - up study of 173 peripheral nerve injuries in the upper extremity of civilians

J Bone Joint Surg (Am) 44: 140 – 148

91. Skutek M, Zeichen J, Fremery RW, Bosch U (2003)

Outcomeanalyse nach offener Rekonstruktion von Rotatorenmanschettenrupturen

Unfallchirurg 106: 13 – 19

92. Smith JW (1964)

Microsurgery of peripheral nerves

Plast Reconstr Surg 33: 319

93. Sollerman C, Ejeskär A (1995)

Sollerman hand function test

Scand J Plast Reconstr Hand Surg 29: 167 – 176

94. Sunderland S (1978)

Nerves and nerve injuries

2nd Ed. Churchill Livingstone, Edinburgh

95. Sunderland S (1979)

The pros and cons of funicular nerve repair.

Founders Lecture – American Society for Surgery of the Hand

J Hand Surg 4: 201 – 211

96. Szabolcs MJ, Kopp M, Schaden GE (1988)

Carbonic anhydrase activity in peripheral nerve system of rat: the enzyme as a marker for muscle afferents

Brain Res 492: 129 – 138

97. Szabolcs MJ, Gruber H, Schaden GE et al. (1991)

Selective fascicular nerve repair: a rapid method for intraoperative motor sensory differentiation by acetylcholinesterase histochemistry

Eur J Plast Surg 14: 21 – 25

98. Tinel J (1915)

Le signe du «Fourmillement» dans les lésions des nerfs périphériques

Presse Med 23: 388 – 389

99. Tupper JW, Crick JC, Mattek LR (1988)

Fascicular nerve repairs. A comparative study of epineural and fascicular (perineural) techniques

Orthop Clin North Am 19 (1): 57 – 69

100. Vandeput J, Tanner JC, Huypens L (1964)

Electrophysiological orientation of the cut ends in primary peripheral nerve repair

Plast Reconstr Surg 44: 378 – 382

101. Varitimidis SE, Sotereanos DG (2000)

Partial nerve injuries in the upper extremity

Hand Clin 16 (1): 141 – 149 Review

102. Vastamäki M, Kallio PK, Solonen KA (1993)

The results of secondary microsurgical repair of ulnar nerve injury

J Hand Surg (Br. and European Volume) 18B: 323 – 326

103. Veijo V, Gripenberg L, Nuutinen P (1981)

Peripheral nerve repair of the hand in children

Scand J Plast Reconstr Surg 15: 49 – 51

104. Wakefield AR (1964)

Hand injuries in children

J Bone Joint Surg (Am) 46: 1226 – 1234

105. Wilgis EFS, Brushart TM

Nerve repair and grafting

In: Greens Operative Hand Surgery pp. 1315 – 1340 3rd ED

Churchill Livingstone, 1993

106. Wiswe I, Muller D, Vitzthum HE, Minda R, Lampe J (1987)

Late results following treatment of peripheral nerve injuries of the upper extremity

Zentralbl Neurochir 48 (4): 335 – 342

107. Woodhall B, Nulsen FE, White JC, Davis L (1956)

Neurosurgical implications

In: Woodhall B, Beebe GW (eds): Peripheral nerve regeneration

US Government Printing Office, Washington D.C.

108. Wynn – Parry CB, Salter M (1976)

Sensory re-education after median nerve lesions

The Hand 8: 250 – 257

109. Yunshao H, Shizhen Z (1988)

Acetylcholinesterase: a histochemical identification of motor and sensory fascicles

in human peripheral nerve and its use during operation

Plast Reconstr Surg 82: 125 – 130

110. Zhong SZ, Wang GY, He YS, Sun B (1988)

The relationship between structural features of peripheral nerves and suture

methods for nerve repair

Microsurgery 9 (3): 181 - 187

Abbildungsverzeichnis

1. Wilgis EFS, Brunshart TM

Nerve repair and grafting

In: Greens Operative Hand Surgery pp.1315 – 1340 3rd ED

Churchill Livingstone, 1993

2. Wilgis EFS, Brunshart TM

Nerve repair and grafting

In: Greens Operative Hand Surgery pp.1315 – 1340 3rd ED

Churchill Livingstone, 1993

3. Rosén B, Lundborg G

A model instrument for the documentation of outcome after Nerve repair

J Hand Surg 2000; 25A: 535 - 543

Lebenslauf

1. Persönliche Angaben

Name: Kruse
Vorname: Katrin
Geburtsdatum: 08.05.1976
Geburtsort: Herford
Familienstand: ledig
Konfession: evangelisch
Staatsangehörigkeit: deutsch

2. Schulbildung

01.08.1982 – 31.07.1986 Grundschule Wallenbrück–Bardüttingdorf

01.08.1986 – 30.06.1992 Städtische Realschule Spenge

Abschluß: Fachoberschulreife mit der Berechtigung zum
Besuch der gymnasialen Oberstufe

01.08.1992 – 30.06.1995 Evangelisches Gymnasium Werther

Abschluß: Abitur

01.08.1995 – 04.03.1996 Friedrich–List Schule in Herford (Höhere Handelsschule)

3. Berufsausbildung

01.04.1996 – 31.03.1999 Ausbildung zur Krankenschwester im Klinikum Kreis Herford

Abschluß: Examen

4. Studium

04 / 1999 Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Westfälischen Wilhelms

Universität in Münster

09 / 2001 Physikum

08 / 2002 Erstes Staatsexamen

08 / 2004 Zweites Staatsexamen

10/ 2005 Drittes Staatsexamen

5. Famulaturen

02 / 2002 Medizinische Klinik A (Innere Medizin) der Universitätsklinik Münster

09 / 2002 Nothilfe der Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Klinikums
Garmisch–Partenkirchen

02 / 2003 Medizinische Klinik A (Innere Medizin) der Universitätsklinik Münster

04 / 2003 Klinik und Poliklinik für Urologie der Universitätsklinik Münster

09 / 2003 Nothilfe der Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Klinikums
Garmisch–Partenkirchen

6. Praktisches Jahr in den Städtischen Kliniken Bielefeld – Mitte

1. Tertial: Innere Medizin

10 / 2004 – 12 / 2004 Kardiologie und internistische Intensivmedizin

(Prof. Dr. med. Kuhn)

01 / 2005 – 02 /2005 Hämatologie und Onkologie

(Priv.–Doz. Dr. med. Görner)

2. Tertial: Anästhesiologie (Prof. Dr. Dr. med. Lauen)

3. Tertial: Unfallchirurgie (Prof. Dr. med. Hörster)

Danksagung

Herzlich danken möchte ich an dieser Stelle:

Herrn Dr. med. T. Vordemvenne für die Überlassung des Themas dieser Arbeit, sowie für die Zeit, Aufmerksamkeit und Hilfe bei der Bewältigung der anfallenden Probleme.

Herrn Priv.-Doz. Dr. med. M. Schult für seine Aufmerksamkeit und Unterstützung.

Meinen Eltern für ihre Unterstützung.

Anhang

Tabelle 1: DASH-Score (31)

| 1. Aktivitäten | | | | | |
|--|-------|---------|--------|--------|---------|
| | keine | leichte | mäßige | starke | unfähig |
| Ein festes oder neues Schraubglas öffnen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Schreiben | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Schlüssel im Schloss umdrehen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mahlzeit zubereiten | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Eine schwere Tür aufstoßen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Gegenstand in ein Regal stellen über Kopf | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Schwere Hausarbeit, Boden wischen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Garten- oder Hofarbeit | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Betten machen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Einkaufs- oder Aktentasche tragen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Schwere Gegenstände über 4,5 Kilogramm tragen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Glühbirne über Kopf auswechseln | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Haare waschen oder fönen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Rücken waschen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Pullover anziehen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Mit einem Messer Lebensmittel schneiden | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Leichte Freizeitaktivitäten Stricken, Karten spielen | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Freizeitaktivitäten, bei der es zu einer Schlagbelastung des Arms oder der Hand kommt Golf, Hämmern, Tennis | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Freizeitaktivitäten, bei denen der Arm frei bewegt wird, Badminton, Frisbee | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Teilnahme am Straßenverkehr, öffentliche Verkehrsmittel | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Sexuelle Aktivitäten | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| 2. | nicht | wenig | mäßig | stark | sehr stark |
|--|-------|-------|-------|-------|------------|
| In welchem Ausmaß, hat Sie Ihr Problem mit Arm oder Hand bezüglich sozialer Aktivitäten mit Freunden, Familie beeinflusst? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| | | | | | |
|--|-------|-----------|-------|-------|---------|
| 3. | nicht | ein wenig | mäßig | stark | unfähig |
| Hat Sie in der letzten Woche Ihr Problem mit Arm oder Hand in Ihrer Arbeit oder anderen täglichen Aktivitäten eingeschränkt? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| | | | | | |
|---|------|--------|-------|-------|------------|
| 4. Bewerten Sie bitte die Stärke folgender Symptome in der letzten Woche | kein | leicht | mäßig | stark | sehr stark |
| Arm- oder Handschmerz | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Arm- oder Handschmerz während bestimmter Aktivitäten | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Kribbeln/ Sensibilitätsstörungen in Arm oder Hand | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Schwäche in Arm oder Hand | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Steifheit in Arm oder Hand | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| | | | | | |
|--|-------|---------|--------|--------|---------|
| 5. | keine | leichte | mäßige | starke | unfähig |
| Wieviel Schwierigkeiten hatten Sie beim Schlafen in der vergangenen Woche aufgrund Schmerzen in Arm oder Hand? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

| | | | | | |
|--|---------------------------|-----------------|------------|-----------|----------------|
| 6. | stimme überhaupt nicht zu | stimme nicht zu | weiß nicht | stimme zu | stimme sehr zu |
| Ich fühle mich aufgrund des Arm- oder Handproblems weniger nützlich oder unsicher? | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

Tabelle 2: Handprotokoll nach Rosén B und Lundborg G (83)

Department of Hand Surgery, Rehab Unit
University Hospital MAS, Malmö

HAND FUNCTION AFTER NERVE INJURY

Patient example: 35 years old man with ulnar nerve repair at wrist

Scoring key: result / normal

| Domain | Instrument and quantification | Months | Scoring key: result / normal | | | | | | | |
|---|--|---|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|
| | | | 3 | 6 | 12 | 24 | 36 | 48 | 60 | |
| Sensory | Innervation | Semmes-Weinstein monofilament, minikit 0=not testable 1=filament 6.65 2=filament 4.56 3=filament 4.31 4=filament 3.61 5=filament 2.83 Result: 0-15 Normal median:15 Normal ulnar: 15 | 0.47 | 0.53 | 0.60 | 0.60 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | |
| | | | | | | | | | | |
| | Tactile gnosis | s2PD (digit II or V) 0>=16mm 1=11-15mm 2=6-10mm 3<=5mm Result: 0-3 Normal: 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | | | | | | | | | | |
| Finger dexterity | STI-test (digit II or V) Result: 0-6 Normal: 3 | 0 | 0 | 0 | 0.17 | 0 | 0.17 | 0.33 | | |
| | | | | | | | | | | |
| | Sollerman test (task 4,8,10) Result: 0-12 Normal: 12 | 0.83 | 0.92 | 0.92 | 0.92 | 1 | 0.92 | 0.92 | | |
| Mean score sensory domain: | | | 0.33 | 0.37 | 0.38 | 0.42 | 0.45 | 0.47 | 0.51 | |
| Motor | Innervation | Manual muscle test 0-5 Median: palmar abduction Ulnar: abduction dig II, V adduction dig V Result median: 0-5 Result ulnar: 0-15 Normal median: 5 Normal ulnar: 15 | 0 | 0.13 | 0.33 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | |
| | | | | | | | | | | |
| | Grip strength | Jamar dynamometer Mean of 3 trials in second position, right and left Normal: Result uninjured hand | 0.43 | 0.62 | 0.77 | 0.77 | 0.84 | 0.92 | 0.92 | |
| | | | | | | | | | | |
| Mean score motor domain: | | | 0.22 | 0.38 | 0.55 | 0.65 | 0.69 | 0.73 | 0.73 | |
| Pain/discomfort | Cold intolerance | Patient's estimation of perceived problems 0=Hinders function 1=Disturbing 2=Moderate 3=None/minor Result: 0-3 Normal: 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.33 | 0.67 | |
| | | | | | | | | | | |
| | Hyperaesthesia | As for cold intolerance | 0.33 | 0.33 | 0.67 | 0.33 | 0.67 | 1 | 1 | |
| Mean score pain/discomfort domain: | | | 0.17 | 0.17 | 0.33 | 0.17 | 0.33 | 0.67 | 0.84 | |
| Total score: sensory + motor + pain/discomfort = | | | 0.7 | 0.9 | 1.3 | 1.2 | 1.5 | 1.9 | 2.1 | |

Tabelle3: Modifizierte Highet–Skala nach Dellon et al. (15)

| Motor recovery | |
|-----------------------|---|
| M0 | No contraction |
| M1 | Return of perceptible contraction in the proximal muscles |
| M2 | Return of contraction in both proximal and distal muscles |
| M3 | Return of function in both proximal and distal muscles of such a degree that all important muscles are sufficiently powerful to act against gravity |
| M4 | Return of function as in Stage 3; in addition, all synergistic and independent movements are possible |
| M5 | Complete recovery |

| Sensory recovery | |
|-------------------------|---|
| S0 | Absence of sensibility in the autonomous area |
| S1 | Recovery of deep cutaneous pain sensibility within the autonomous of the nerve |
| S2 | Recovery of some degree of superficial pain and tactile sensibility within the autonomous area of the nerve |
| S3 | Return of superficial cutaneous pain and tactile sensibility throughout the autonomous area with disappearance of any previous overresponse; static two-point-discrimination: >15millimeter |
| S3+ | Return of sensibility as in S3; in addition there is some recovery of two–point-discrimination within the autonomous area; static two–point discrimination: 7 – 15 millimeter |
| S4 | Complete recovery; static two–point-discrimination: 2 – 6 millimeter |

Legende zu Tabelle 4:

| | | |
|--------------------------------|------------------|-------------|
| Korrelation nach Person | P = 0,01** | P = 0,05* |
| Signifikanzniveau | hoch signifikant | signifikant |

Tabelle 4: Korrelationen nach Pearson

| Unter- suchungen | DASH- Score | Sen- sorischer Score | Moto- rischer Score | Schmerz Dis- comfort | Gesamt- score | Sen- sibler Highet- Score | Moto- rischer Highet- Score |
|--|------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--|--|
| DASH- Score | 1,000 | -,580** ,000 | -,387** ,001 | -,289* ,014 | -,589** ,000 | -,257* ,031 | -,270* ,023 |
| Sen- sorischer Score | -,580** ,000 | 1,000 | -,464** ,000 | -,150 ,211 | -,767** ,000 | -,713** ,000 | -,475** ,000 |
| Moto- rischer Score | -,387** ,001 | -,464** ,000 | 1,000 | -,206 ,084 | -,767** ,000 | -,288* ,015 | -,729** ,000 |
| Schmerz Discomfort | -,289* ,014 | -,150 ,211 | -,206 ,084 | 1,000 | -,620** ,000 | -,009 ,943 | -,003 ,983 |
| Gesamt- Score | -,589** ,000 | -,767** ,000 | -,767** ,000 | -,620** ,000 | 1,000 | -,475** ,000 | -,558** ,000 |
| Sensibler Highet- Score | -,257* ,031 | -,713** ,000 | -,288* ,015 | -,009 ,943 | -,475** ,000 | 1,000 | -,403** ,000 |
| Moto- rischer Highet- Score | -,270* ,023 | -,475** ,000 | -,729** ,000 | -,003 ,983 | -,558** ,000 | -,403** ,000 | 1,000 |