

Aus der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik  
Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und  
Verbrennungschirurgie  
an der Universität Tübingen

**Der Zweipunktediskriminationstest (2PD) als diagnostisches  
Mittel in der Handchirurgie**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin**

**der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität  
zu Tübingen**

**vorgelegt von**

**Bösch, Cedric Emanuel**

**2019**

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. A. Daigeler

2. Berichterstatter: Professor Dr. P. Martus

Tag der Disputation: 02.04.2019

## **Inhaltsverzeichnis**

Abkürzungsverzeichnis	1
1 Einleitung	2
1.1. Allgemein	
1.2. Die Zwei Punktediskrimination und deren Testung	
1.3. Anatomie	
1.4. Operationstechniken- und zeitpunkt	
2 Patienten und Methoden	14
3 Ergebnisse	21
3.1. Gruppen	
3.2. Kontrollgruppe Dupuytren	
3.3. Anzahl Patienten	
3.4. Männer und Frauen	
4 Diskussion	31
Zusammenfassung	39
Literaturverzeichnis	41
Erklärung zum Eigenanteil	45
Veröffentlichungen	46
Danksagung	47

## Abkürzungsverzeichnis

2PD	Zweipunktediskrimination
2PD-Test	Zweipunktediskriminationstest
ASSH	American Society for Surgery of the Hand
C5	Segment 5 des zervikalen Rückenmarks
DIP	Distales Interphalangealgelenk
DRG	Diagnosis Related Group
Endo	Endoneurium
Epi	Epineurium
ICD	International Classification of Diseases
IP	Interphalangealgelenk des Daumens
MCP	Metacarpophalangealgelenk
MRC	Medical Research Council
N.	Nervus
OPS	Operationen- und Prozeduren Schlüssel
Peri	Perineurium
PIP	Proximales Interphalangealgelenk
Th1	Segment 1 thorakales Rückenmark

## 1 Einleitung

### 1.1. Allgemein

Die Hand ist für uns Menschen ein ganz besonderer Körperteil. Sie hat zum einen eine enorme funktionelle Bedeutung als Greif- und Tastorgan im Sinne eines Werkzeuges und dient darüber hinaus auch der sozialen Interaktion. Nervenenden und Rezeptoren in der Haut, in Muskeln und in Sehnen leiten Informationen an das Gehirn weiter und bilden so die Grundlage der Hand als Tast- und Funktionsorgan (Slutsky and Hentz, 2006).

Verletzungen von Nerven haben für den Patienten enorm einschränkende Folgen, zum einen den Funktionsverlust betreffend und je nach Verletzungsmuster auch das äußere Erscheinungsbild (Noble et al., 1998). Darüber hinaus, vom sozioökonomischen Standpunkt aus gesehen, verursachen derartige Verletzungen auch monetäre Folgen für die Gesellschaft. Für eine Schädigung des Nervus medianus wurde errechnet, dass von der initialen Versorgung, über die Nachsorge bis hin zur Rehabilitation und Reintegration in den Arbeitsprozess, Kosten von etwa 51,238 Euro entstehen. Für den Nervus ulnaris wurden ähnliche Daten ermittelt. Hier wird von Kosten von etwa 31,000 Euro ausgegangen, ebenfalls berechnet vom Verletzungstag an bis zur beruflichen Wiedereingliederung (Lad et al., 2010; Rosberg et al., 2005). Verdienstauffälle durch reduzierte Arbeitsfähigkeit für die verletzte Person sind außerdem zu berücksichtigen.

Die Häufigkeit von Läsionen an Nerven wird unterschiedlich hoch angegeben. Es wird berichtet, dass etwa 2,8% aller Verletzungen in Notaufnahmen von Krankenhäusern, Verletzungen an peripheren Nerven darstellen. Die Inzidenz wird mit 14/100.000 pro Jahr angegeben (Noble et al., 1998; Slutsky and Hentz, 2006).

Nach Verletzung eines peripheren Nervens kommt es zumeist zu einer kompletten Asensibilität oder auch zu Missempfindungen im Sinne von Hyp- oder Dysästhesien. Bekannt ist, dass eine sofortige oder zumindest zeitnahe Versorgung von Nervenverletzungen, die besten Ergebnisse im Sinne der Regeneration liefert. In diesem Zusammenhang stellt die spannungsfreie, nach den mikrochirurgischen Grundsätzen durchgeführte Koaptation den Goldstandard der Therapie dar (Dahlin, 2013).

Nach der Verletzung eines Nervens kommt es zu zwei möglichen Veränderungen an der Nervenzelle beziehungsweise Veränderungen betreffend die Leitungseigenschaft von Nerven. Entweder entsteht ein Leitungsblock oder es kommt zu einer axonalen Degeneration. Seddon beschrieb dabei drei Arten von Nervenläsionen: Neurapraxie, Axonotmesis und Neurotmesis. Neurapraxie ist hierbei gleichzusetzen mit einem Leitungsblock ohne Auftreten einer axonalen Schädigung. Im Gegensatz zu Axonotmesis und Neurotmesis tritt bei der Neurapraxie keine Degeneration auf, wobei bei der Neurotmesis definitionsgemäß zusätzlich noch die Basalmembran durchtrennt ist. Ist die Basalmembran geschädigt, so ist eine Nervenregeneration von proximal nach distal nicht möglich, beziehungsweise läuft diese unkoordiniert und ungezielt sowie ohne Führung entlang der Basalmembran ab. In diesem Zusammenhang ist auch die Waller'sche Degeneration zu nennen. Im Nervensegment distal der Durchtrennung kommt es zu einem Verlust der Leitfähigkeit und zu einer erhöhten Ausbildung von Schwannzellen und Fibroblasten. Später kommt es zu einer Einbettung von Kollagen im Sinne einer Narbenbildung. Wenn dies eintritt besteht keine Möglichkeit mehr auf eine erneute Axoneinsprossung. Proximal kommt es zu einer Atrophie also zu einem Untergang der Nervenzellen und einer Abnahme der leitfähigen Axone sowie zum Zellverlust (Green DP, 7<sup>th</sup> edn. 2017, Mackinnon SE, 2015).

Sunderland beschrieb eine etwas andere Unterteilung von Nervenverletzungen in fünf Grade. Tabelle 1 zeigt beide Klassifikationen gegenübergestellt (Mackinnon SE, 2015).

**Tabelle 1, adaptiert von Mackinnon SE (Nerve Surgery, Thieme, 2015. S. 6)**

<b>Grad der Nervenverletzung</b>				
<b>Seddon</b>	<b>Sunderland</b>	<b>Prognose</b>	<b>Regeneration</b>	<b>Durchtrennungstiefe</b>
Neurapraxie	I	Günstig	spontan, komplett	
Axonotmesis	II	Günstig	spontan, komplett	Endo-Peri-Epi intakt
	III	Günstig	spontan, inkomplett	Peri-Epi intakt
	IV	Ungünstig	keine	Epi intakt
Neurotmesis	V	Ungünstig	keine	komplett durchtrennt

Ist eine direkte und primäre Naht nicht möglich, zum Beispiel bei Defektverletzungen, bei starken Traktionstraumata oder bei ausgedehnter Kontamination der Wunde, so bestehen andere mikrochirurgische Techniken, um einen Nerven zu rekonstruieren beziehungsweise dessen Kontinuität wiederherzustellen. Hierzu zählt die Interposition von autologen Spendernerven (vom Unterarm oder Fuß bzw. lateralem Unterschenkel) oder die Überbrückung von Defektstrecken mittels Venen- oder Muskel-Veneninterponaten, die eine Reinnervation erlauben (Manoli et al., 2014).

Wie auch in anderen chirurgischen Fächern, so ist auch in der Plastischen- und Handchirurgie die Diagnosestellung ein entscheidender Faktor um eine entsprechende Therapie einleiten zu können. Dies gilt insbesondere für Nervenverletzungen, da subtile Veränderungen nicht immer direkt erkannt

werden können und eine exakte Untersuchung auch von der Compliance des Patienten abhängt (Mackinnon SE, 2015).

Das Thema der Diagnosestellung wurde von verschiedenen Autoren aufgegriffen. Ein Beispiel, das sich dieser Problematik annimmt, ist eine Arbeit die sich mit der Neurapraxie, also der Quetschung von Nerven ohne Durchtrennung derselben, und deren Diagnose bzw. Abgrenzung von der Neurotmesis (komplette Durchtrennung des Neven mit Schädigung des Axons und der Nervenscheiden) auseinandergesetzt hat (Siddiqui et al., 2000). Ein anderes Beispiel ist eine vorangegangene Untersuchung, die bereits in einem etwas kleineren Patientengut die 2PD hinsichtlich ihrer diagnostischen Wertigkeit untersucht hat (Boesch CE et al., 2017).

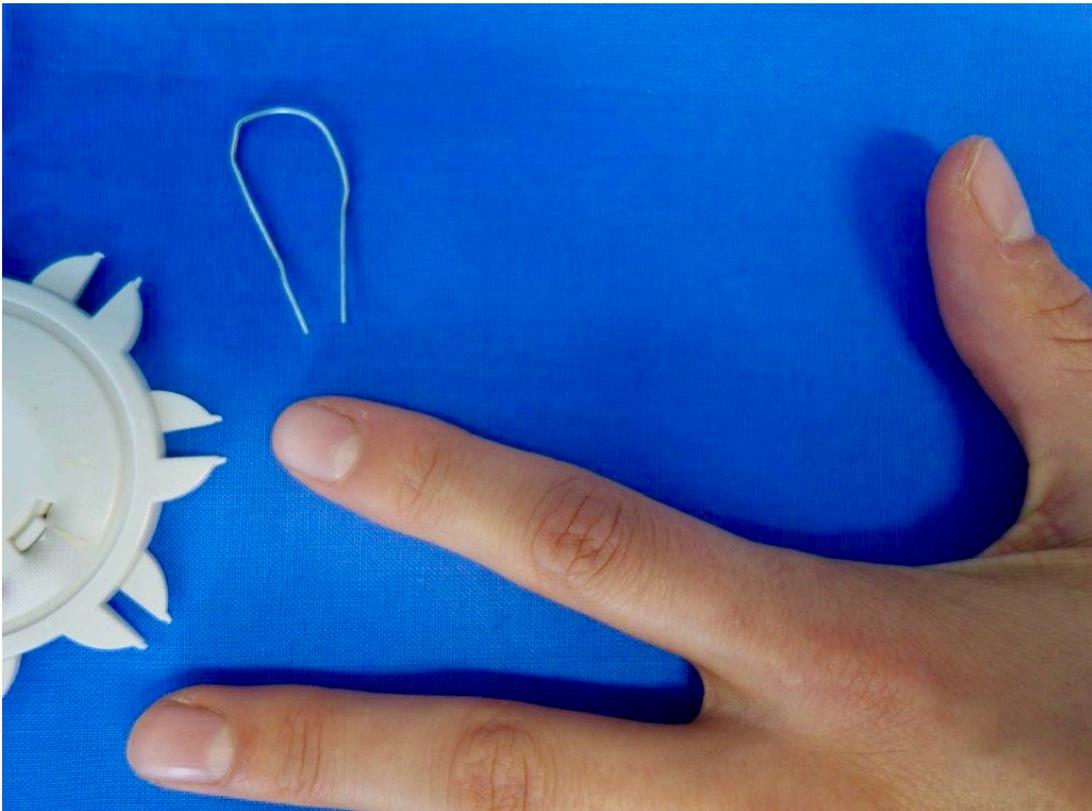
Das Wissen um die Testung der Zweipunkteldiskrimination (2PD) und die Klassifikationen ist weit verbreitet und findet dementsprechend häufig Anwendung wie oben genannte Literaturstellen unterstreichen. Andererseits zeigt unsere Erfahrung auch, dass Patienten ohne vorangegangene Testung und mit einer möglichen Nervenverletzung, sowie nicht selten mit bereits gelegter Lokalanästhesie, direkt in spezialisierte Hand Trauma Zentren verweisen werden. Dadurch wird die Untersuchung und damit die Diagnosestellung erschwert.

Nichtsdestotrotz wird, auch nach vorangegangenen Untersuchungen in anderen Krankenhäusern oder durch niedergelassene Kollagen, in unserer Klinik ständig die 2PD Testung durchgeführt und in einen standardisierten Untersuchungsprozess, welcher eine Anamnese, eine klinische Untersuchung und bei Bedarf eine bildgebende Diagnostik enthält, integriert.

Auch bei kleineren Verletzungen an der Hand oder an Fingern wird die 2PD herangezogen und in Abhängigkeit vom Ergebnis eine Operationsindikation gestellt oder eben nicht. Der Test ist einfach und schnell durchführbar, ist er aber verlässlich und sicher genug, um in der alltäglichen Arbeit in der Klinik als standardisiertes Messinstrument zur Diagnose von Nervenläsionen an der Hand angewendet zu werden?

Ein weiterer Punkt ist natürlich auch, dass Patienten mit einer intakten 2PD normalerweise nicht wieder zu einer Kontrolle in die Ambulanz oder Sprechstunde einbestellt und kontrolliert werden, weil davon ausgegangen wird, dass der 2PD-Test Grund genug ist, eine Nervenverletzung an Fingern oder der Hand zu identifizieren beziehungsweise einen intakten Nerven also solchen zu erkennen.

Heutzutage ist der 2PD-Test die Methode der Wahl um die Diagnose einer Verletzung von Fingernerven zu verifizieren oder auszuschließen und wird im klinischen Alltag standardmäßig eingesetzt. Sie ist einfach durchzuführen und prinzipiell überall und schnell verfügbar. Es bestehen kaum Alternativen für diesen Test, egal ob er mit einem 2P-Diskriminator, einer Heftklammer oder einer kleinen Schere durchgeführt wird (Crosby and Dellon, 1989; Finnell et al., 2004).



**Abbildung 1: Beispiele zur Messung der 2PD**

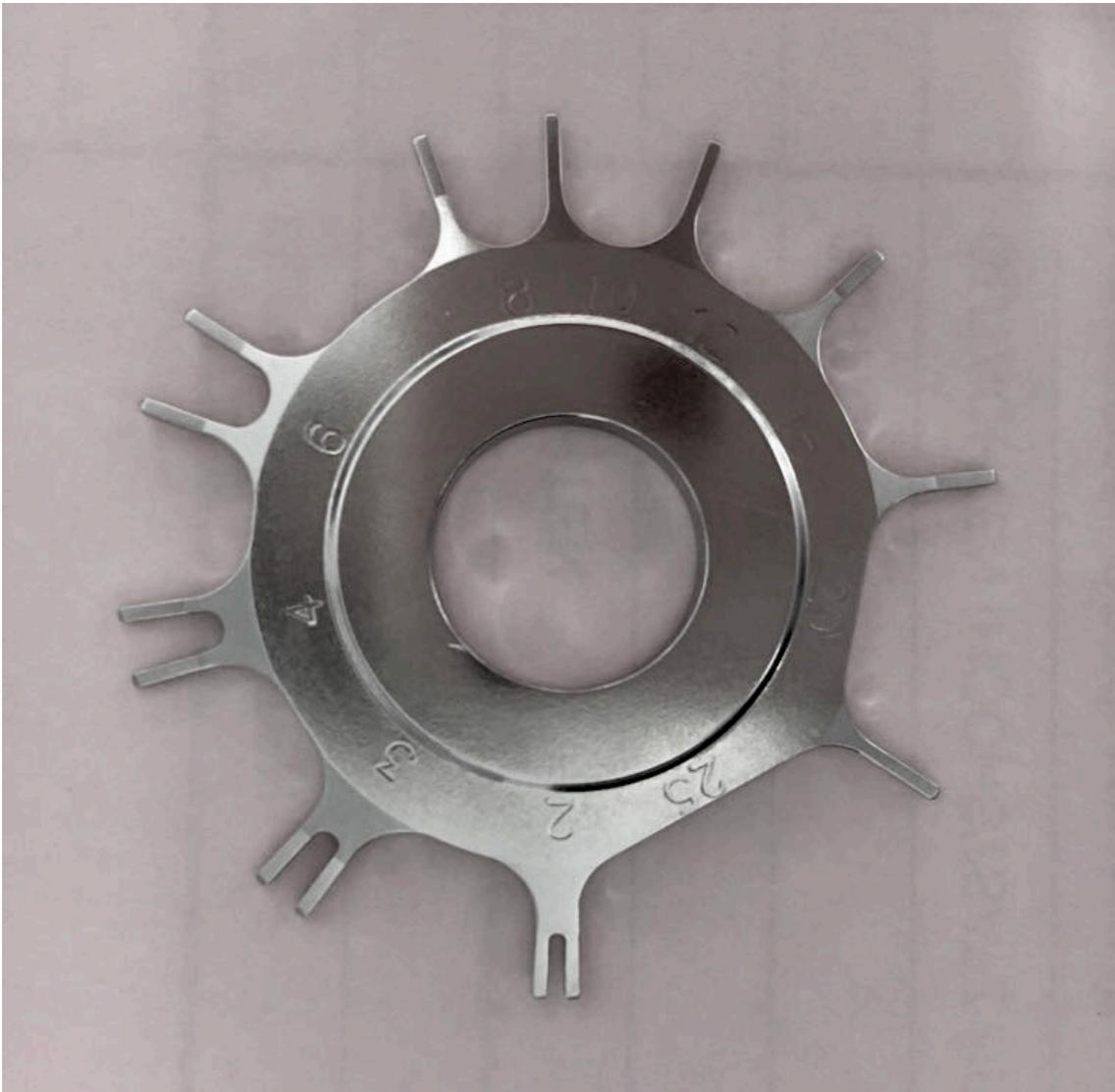
Das gesetzte Ziel dieser Dissertation war es daher, retrospektiv die Ergebnisse des klinischen 2PD-Tests mit den intraoperativen Ergebnissen bzw. Befunden nach erfolgter Indikationsstellung und entsprechender operativer Versorgung zu vergleichen und zu verifizieren, ob der Nerv tatsächlich durchtrennt war. Darüber hinaus sollte untersucht werden, wie hoch der positive prädiktive Wert, die Irrtumswahrscheinlichkeit und die interindividuelle Reliabilität dieses Tests im klinischen Alltag ist.

### **1.2. Die Zwei Punktediskrimination und deren Testung**

Zur Standarduntersuchung bei Verletzungen an der Hand hat sich der Zweipunktediskriminationstest (2PD oder 2PD-Test) zur Evaluierung der Sensibilität etabliert.

Erstmals wurde dieser Test von Weber im Jahr 1835 beschrieben. Definitionsgemäß ist die 2PD die Fähigkeit zwei taktile Reize auf der Haut der Finger, des Daumens oder der Hand räumlich voneinander unterscheiden zu können (Weber, 1835).

Dieser wird in seiner ursprünglichen Technik statisch durchgeführt, also durch leichten Druck oder Auflage eines entsprechenden Messgerätes (Abbildung 1).



**Abbildung 2: Beispiel eines 2-Punkt-diskriminators**

Andere Autoren fügten die dynamische 2PD hinzu (Dellon, 1978). Hierbei wird das Messgerät vom Untersucher ein wenig hin und her bzw. auf und ab bewegt. Auch für die Messung der Regeneration eines Nerven wird die dynamische 2PD oft herangezogen (Mailander et al., 1989).

## Einleitung

---

Die zwei wohl bekanntesten Klassifikationen zur Einteilung der Sensibilität an Fingerkuppen sind zum einen die nach dem Medical Research Council (MRC) und zum anderen die nach der American Society for Surgery of the Hand (ASSH) (Jerosch-Herold, 2005; Lundborg and Rosen, 2004).

Nach der ASSH werden fünf Unterteilungen vorgenommen (American Society for Surgery of the Hand, 1990):

### **2PD**

<6mm:	normal
6–10mm:	mittelmäßig
11–15mm:	schlecht
>15mm:	protektiv

## Einleitung

---

Die Einteilung des MRC findet vor allem für die Regeneration nach Versorgung von Nervenverletzungen Anwendung, **siehe Tabelle 2.** (Green DP, 7<sup>th</sup> edn. 2017).

<b>Erholung der Sensibilität</b>	
<b>S0</b>	Fehelende Sensibilität
<b>S1</b>	Erholung des tiefen kutanen Schmerzempfindens im Gebiet des Nervens
<b>S2</b>	Erholung in gewissem Grad des kutanen Schmerzempfindens und taktilen Sensibilität im Gebiet des Nervens
<b>S3</b>	Erholung in gewissem Grad des oberflächlichen kutanen Schmerzempfindens und taktilen Sensibilität im Gebiet des Nervens ohne Missempfindungen
<b>S3<sup>+</sup></b>	wie S3, zusätzlich beginnende 2PD im Gebiet des Nervens
<b>S4</b>	komplette Regeneration

### 1.3. Anatomie

Die nervale Versorgung der Hand wird von drei Stammnerven vorgenommen. Diese sind der Nervus radialis, der Nervus ulnaris und der Nervus medianus. Ihren Ursprung haben diese aus dem Plexus brachialis, der sich aus den Nervenwurzeln von C5 bis Th1 zusammensetzt.

Die genannten Stammnerven für die Hand sind sowohl für die motorische als auch für die sensible Innervation an der Hand, den Fingern und des Daumens verantwortlich. In der Peripherie übernehmen diese auch, gesteuert vom Sympathikus und Parasympathikus, die sudomotorischen Funktionen.

Der N. radialis ist motorisch für die Streckung im Handgelenk und der Finger wie auch des Daumens verantwortlich. Sensibel innerviert er durch seinen Endast, den Ramus superficialis, die Haut am Handrücken, dorsal am Daumen und der Grundglieder bis zum Mittelgelenk des Zeige- und Mittelfingers.

Der N. ulnaris innerviert motorisch am Unterarm den M. flexor carpi ulnaris, durch seinen tiefen Ast die Hypothenarmuskulatur, die tiefen Beugesehnen des Ring- und Kleinfingers sowie deren Lumbricalismuskeln, die dorsale und palmare Interossealmuskulatur sowie den Musculus adductor pollicis und den tiefen Bauch des Musculus flexor pollicis brevis. Der sensible Ast des N. ulnaris innerviert von dorsal die Haut des Kleinfingers und die ulnare Hälfte des Ringfingers.

Der motorische Ast des N. medianus, der N. interosseus anterior, innerviert die tiefen Beugesehnen des Zeige- und Mittelfingers und deren Lumbricalismuskeln, die Beugesehne des Daumens, alle oberflächlichen Beugesehnen, die Thenarmuskulatur (mit Ausnahme des tiefen Bauches des M. flexor pollicis brevis) und den M. flexor carpi radialis wie auch den M. pronator quadratus am Unterarm. Sensibel versorgt er die Haut in der radialen Hohlhand, palmar am Daumen und der Finger II, III und die radiale Hälfte des Ringfingers; dorsal den Daumen, die Fingerspitzen bis an das Mittelgelenk heranreichend.

(Green DP, 7<sup>th</sup> edn. 2017, Lanz U, 2. Aufl. 2003).

### **1.4. Operationstechniken und -zeitpunkt**

Eine Voraussetzung für eine optimale operative Versorgung von Nervenverletzungen ist die Exposition und Darstellung des Nervens in der Wunde. Hierzu ist eine Schnitterweiterung erforderlich um die Exploration zu erleichtern und vom gesunden in die das verletzte Gebiet zu präparieren. Im Rahmen dieser Präparation werden kontaminiertes Gewebe, Fremdkörper und avitale Strukturen debridiert.

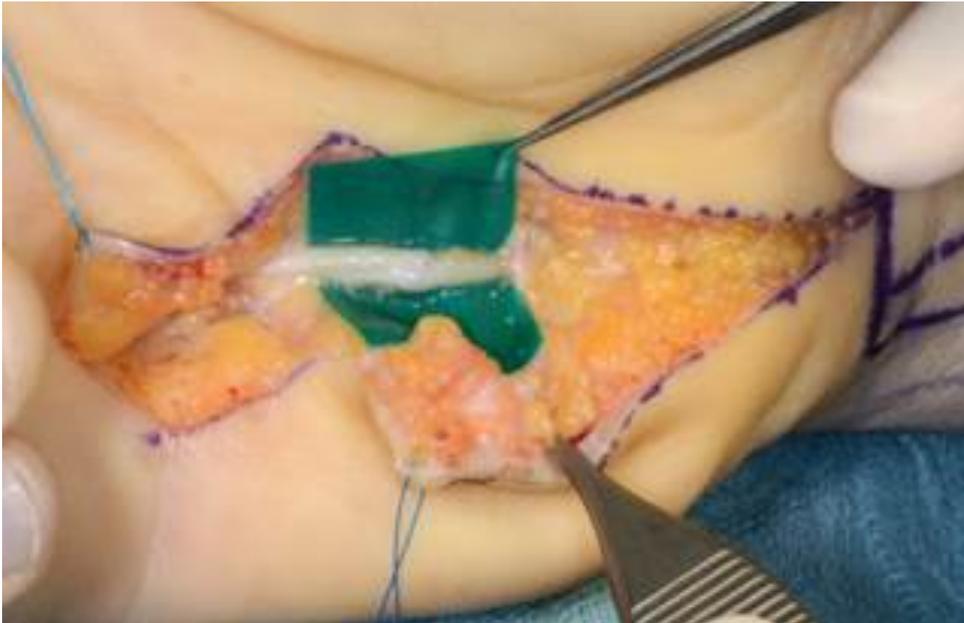
Nach entsprechender Darstellung ist je nach Verletzungsmechanismus eine Rückkürzung des Nervens um wenige Millimeter notwendig bzw. soweit bis gesunde Faszikel zum Vorschein kommen. Ein weiterer Aspekt ist, dass sich die Nervennaht in einer gut vaskularisierten Umgebung und gesundem Gewebegebiet befindet, um die Konsolidierung des Nervens zu unterstützen. Je nach Verletzungsmuster ist dies nicht immer der Fall, sodass ggf. weitere plastisch-rekonstruktive Eingriffe notwendig sind, welche gut vaskularisiertes Gewebe zum Verletzungsort bringen, um die Voraussetzung der Nervenregeneration zu verbessern.

Die Naht des Nervens selbst geschieht mittels monofilen Nahtmaterials. Zum einen ist eine epineurale Koaptation, zum anderen eine interfaszikuläre Naht möglich. Am Unterarm finden meist beide Techniken Anwendung. Peripher in der Hohlhand und an den Fingern und am Daumen ist es ausreichend eine epineurale Naht, also die Adaptation des Epineuriums, durchzuführen. Weiter proximal empfiehlt sich eine interfaszikuläre bzw. faszikuläre Naht, mit anschließender Koaptation des Epineuriums.

Der Zeitpunkt der Nervenkoaptation kann grob in primär und sekundär eingestuft werden. Faktoren die dabei berücksichtigt werden sind neben der Lokalisation der Nervenverletzung auch Begleitverletzungen, die kardiopulmonale Stabilität des Patienten und infrastrukturelle Gegebenheiten wie Instrumentarium, Vergrößerungshilfen (Mikroskop, Lupenbrille) und Vorhandensein eines entsprechenden Operateurs.

Eine primäre Nervennaht wird dann angenommen, wenn diese innerhalb von 72 Stunden nach Verletzung vorgenommen wird, eine verzögerte primäre oder spät primäre Koaptation nach 72 Stunden bis zu einer Woche und ab einer Woche wird von einer sekundären Naht gesprochen (Mackinnon SE, 2015).

Abweichend hiervon sprechen manche Autoren von einer primären Naht, wenn diese innerhalb von fünf Tagen durchgeführt wird und von einer spät primären Naht innerhalb von drei Wochen. Von einer Sekundärnaht wird dann ausgegangen, wenn die Koaptation nach Ablauf der dritten Woche ab Verletzung vorgenommen wird (Green DP, 7<sup>th</sup> edn. 2017).



**Abbildung 3 – Nervenkoaptation (BG Klinik Tübingen, HPRV)**

## 2 Patienten und Methoden

Vom 01.01.2008 bis 31.12.2017 wurden alle Patienten und Patientinnen mit einer Nervenverletzung an der Hand, am Daumen und an den Fingern retrospektiv erfasst. Voraussetzung für die Erfassung der Patienten war die korrekte Codierung der Nervenverletzung durch den entsprechenden ICD-Code.

Die Einschlusskriterien waren die folgenden:

- isolierte Verletzung eines Nervens oder eines Gefäßnervenbündels an einem Finger, Daumen bzw. der Hohlhand
- Patientenalter 15 Jahre oder älter

Die Ausschlusskriterien waren:

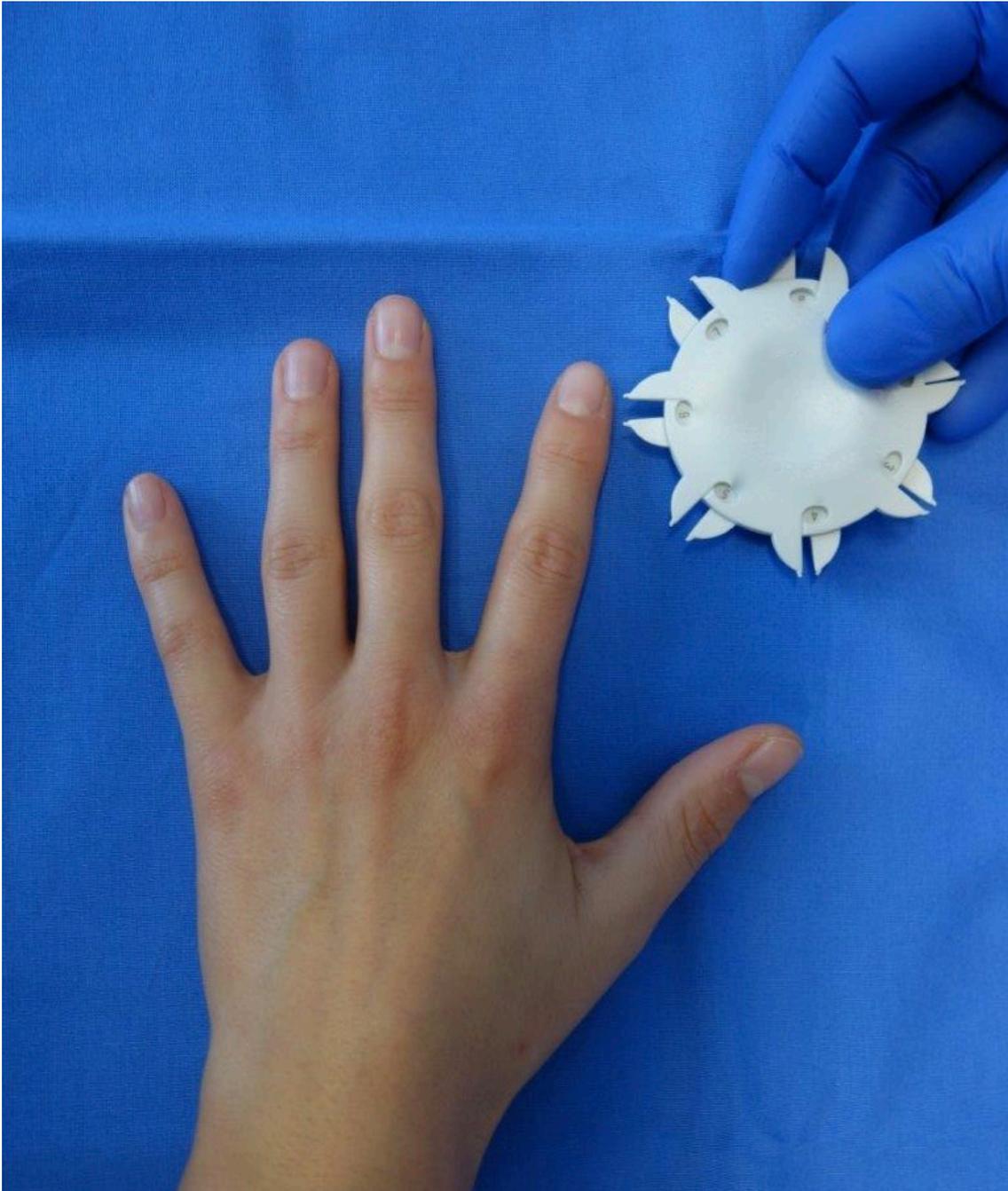
- Amputationsverletzungen
- Frakturen
- Komplette Sehnendurchtrennungen
- Kinder bis zum 14. Lebensjahr

Diese Kriterien wurden so gewählt um ein hoch selektives Patientengut zu generieren und eine mögliche Beeinflussung der Ergebnisse durch vorhandene Begleitverletzungen zu vermeiden.

Zur Identifizierung des für diese Arbeit relevanten Patientenkollektivs wurden über die in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen vorhandene medizinischen Software verschiedene Suchanfragen durchgeführt.

Durch die entsprechenden Diagnoseschlüssel und die dazugehörigen Therapieschlüssel wurden die Daten der Patienten und Patientinnen ermittelt und die computerbasierte Akte, die Ambulanzkarten bzw. die stationären Bögen durchgearbeitet.

Die Ambulanzkarte bei der der 2PD Test bei Erstkontakt in unserer Klinik durchgeführt wurde diente dabei als Basis. Die Messung der 2PD erfolgte mit einem 2Punktediskriminator oder einem ähnlichen handelsüblichen Gerät. In Anlehnung and die Klassifikation der ASSH, legten wir als Messgrenze fest, dass eine 2PD von größer als 6mm an den Kuppen der Finger oder des Daumens pathologisch war. Bei jedem der eingeschlossenen Patienten wurde die 2PD gemessen.



**Abbildung 4: Beispiel einer Messung der 2PD**

Anhand des Operationsberichtes wurde dann verglichen, ob die klinische Untersuchung mit dem intraoperativen Befund korrelierte oder nicht. Das präoperative Ergebnis des 2PD Tests (intakt oder nicht intakt) wurde also mit dem intraoperativen Befund verglichen (durchtrennt oder nicht durchtrennt).

Zu diesem Zweck wurden zuerst die Diagnose Codes der ICD 10 (International Classification of Diseases, 10. Ausgabe) herangezogen.

Für die Verletzung eines Fingernervens ist dies der Diagnosecode S61.88.

Der dazu gehörige Therapieschlüssel ist 5-044.4, mit der Bedeutung:

„Epineurale Naht eines Nervens und Nervenplexus: Nerven Hand“.

Um die Gegenprobe zu ermitteln, also Patienten mit einer Wunde an einem Finger, Daumen oder der Hand ohne Verletzung funktioneller Strukturen, wie Gefäßnervenbündel oder Sehnen und ähnliches, wurde der ICD 10 Code für „Schnittverletzung eines Fingers“, S61.0, verwendet.

Die Suche wurde mit den beiden Diagnosecodes S61.88 und S61.0 durchgeführt, um alle möglichen Patienten, die für diese Arbeit in Frage kommen, zu erfassen. Dies ergab insgesamt 2167 Patienten für oben genannten Zeitraum.

Anzumerken ist, dass diese Codes bei der Verschlüsselung und Dokumentation nach einer Operation durch den Operateur oder den Assistenten eingegeben werden. Des Weiteren, sind bei dieser Verschlüsselung auch mehrfach Angaben möglich und auch erwünscht. Grund ist, dass bei bestimmten Verletzungsmustern auch verschiedene Strukturen betroffen sein können bzw. sich aus der Kombination von Codes mit dem Therapieschlüssel verschiedene DRG's (Diagnosis Related Group) ergeben, die für die Abrechnung relevant sein können.

Um tatsächlich die Patienten mit einer Verletzung eines Nervens mit entsprechender Therapie (Nervennaht) zu ermitteln wurde auch nach dem Therapieschlüssel 5-044.4, „Epineurale Naht eines Nervens und Nervenplexus: Nerven Hand“, gesucht.

Die beiden Suchergebnisse, also die mit der Diagnose S68.80 und diejenige mit dem Therapieschlüssel 5-044.4 wurden dann gegenübergestellt und die Schnittmenge von beiden Gruppen ermittelt. Dies ergab dann 770 Patienten mit Durchtrennung eines Nervens und Naht des entsprechenden Nervens. Da Mehrfachkodierungen möglich sind folgte in einem nächsten Schritt die Durchsicht der Akten und auch der Dokumentation im Computersystem. Es wurden hierbei die Ein- und Ausschlusskriterien angewendet und die Patienten für unsere Arbeit selektioniert. Daraus ergaben sich die Gruppen 1 und 2, mit verlängerter 2PD und durchtrenntem Nerv oder intaktem Nerv.

Die Gegenprobe bzw. die Kontrollgruppe, also Patienten mit einer intakten 2PD und einem unverletzten Nerven wurde in einer ähnlichen Weise ermittelt. Hierzu wurde wie oben erwähnt die Suche im Computersystem mit dem Diagnosecode S61.0 durchgeführt um Patienten zu erfassen, die operiert wurden und bei denen präoperativ die 2PD intakt war und sich dieser Befund intraoperativ bestätigte, also keine Nervenverletzung bestand. Da im Normalfall Patienten ohne Verletzung funktioneller Strukturen, bei denen eine einfache Wundversorgung möglich wäre, nicht einer Operation zugeführt werden, wurde die Operationsindikation bei diesem Patientengut z.B. auf Grund der Größe der Wunde oder wegen des Kontaminations- oder Verschmutzungsgrades gestellt. Somit wurde die Gruppe 4 ermittelt.

Aus beiden oben genannten Suchergebnissen und den resultierenden Kollektiven wurde auch Gruppe 3 ermittelt. Hierbei handelte es sich um Patienten mit einer präoperativ intakten 2PD, bei denen aber intraoperativ ein durchtrennter Nerv gefunden wurde.

Um das Patientenkollektiv mit intakter 2PD und intraoperativ intaktem Nerven zu erweitern, wurde eine zusätzliche Kontrollgruppe definiert. Hierzu wurden Patienten mit einem Mb. Dupuytren herangezogen. Diese Gruppe wurde ebenfalls anhand des Computerprogramms ermittelt, wobei es sich um einen Ersteingriff mit nicht mehr als 40° Beugekontraktur handeln durfte. Dies ergab in einem 5 Jahreszeitraum 25 Patienten mit einem ähnlichen demographischen Profil. Bei allen wurde präoperativ die 2PD gemessen und

stellte sich an den Fingern, die operiert wurden, intakt dar, somit ergaben sich insgesamt 50 Nerven.

Nach Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien und nach Durchsicht der Akten sowie der Operationsberichte waren schließlich 249 Pat. passend für diese Studie.

Es wurden anschließend 5 Gruppen gebildet (Tabelle 3). In Gruppe 1 wurden Patienten eingeschlossen mit schlechter oder fehlender 2PD, bei denen sich intraoperativ der Nerv durchtrennt fand. In Gruppe 2 sind die Patienten mit schlechter 2PD enthalten, allerdings intakten Nerven. Bei den Gruppen 3 und 4 handelte es sich um Patienten mit einer intakten 2PD wobei sich der Nerv intraoperativ durchtrennt zeigte, Gruppe 3, oder intakt war, Gruppe 4. Die zusätzliche Kontrollgruppe der Dupuytren Patienten entspricht Gruppe 5.

**Tabelle 3: Studiengruppen**

<b>Gruppe 1</b>	2PD pathologisch	Nerv durchtrennt
<b>Gruppe 2</b>	2PD pathologisch	Nerv intakt
<b>Gruppe 3</b>	2PD normal	Nerv durchtrennt
<b>Gruppe 4</b>	2PD normal	Nerv intakt
<b>Kontrolle Dupuytren</b>	2PD normal	Nerv intakt

Die rechnerische und statistische Analyse erfolgte mittels Vierfeldertafel und die Auswertung anhand des Two-Tailed Fisher's exact Test. Es wurde ein Konfidenzintervall von 95% festgelegt und ein p-Wert von 0,05.

Die statistische Berechnung erfolgte sowohl unter Heranziehung der abhängigen als auch der unabhängigen Variablen. Abhängig aus statistischer Sicht dahingehend, dass jeder einzelne Nerv in die Berechnung miteinbezogen wurde, auch bei Patienten mit mehreren durchtrennten Nerven.

Als unabhängige Variablen wurden zur weiteren Ergebnisauswertung nur die Anzahl verletzter Patienten und Patientinnen herangezogen.

Des Weiteren wurden die Daten mit der zusätzlichen Kontrollgruppe der Patienten mit einer Dupuytren'schen Kontraktur ausgewertet. Diese Berechnungen erfolgten zum einen mit der Anzahl der Nerven dieser Patienten und zum anderem wurden diese intakten Nerven dem Kollektiv in Gruppe 4 hinzu addiert, um dieses zu erweitern.

Eine weitere separate statistische Analyse erfolgte auch für Frauen und Männer.

Darüber hinaus wurde versucht den 2PD-Test anhand folgender wissenschaftlicher **Kriterien** zu objektivieren:

- Reliabilität oder Interrater-Reliabilität
- Objektivität
- Validität.

Die **Reliabilität** oder Interrater-Reliabilität versucht, die Verlässlichkeit einer Messung zu überprüfen und zwar dahingehend, ob die gemessenen Daten bzw. Ergebnisse wiederholbar sind. (Wirtz and Caspar, 2002).

Dies beinhaltet sowohl die Konsistenz (betreffend Übereinstimmung der gemessenen Entität), die Stabilität (Gleichförmigkeit und zwar zeitlich unabhängig) als auch die sogenannte Äquivalenz, welche die Gleichartigkeit des Messvorganges an sich meint (Rammstedt, 2010).

In dieser Arbeit sollte vor allem die Interrater-Reliabilität, also die Ergebnisse von verschiedenen Untersuchern und ein vermeintlicher Messunterschied berücksichtigt werden.

Eine **Objektivität** im wissenschaftlichen Sinn liegt vor, wenn das gemessene Ergebnis nicht beeinflusst wird, weder vom Durchführenden, noch durch die Auswertung oder durch die Interpretation der Daten (Bühner, 2011; Rammstedt, 2010).

Die **Validität** beschreibt, ob das Messverfahren auch das zu untersuchende Kriterium misst, welches auch gemessen werden sollte. (Lienert and Raatz, 1998). In diesem Zusammenhang ist auch die Belastbarkeit zu erwähnen, die die Anwendung des Tests und die daraus folgenden Messungen und letztendlich Konklusionen betrifft. (Maitre et al., 2013; Rammstedt, 2010).

## 3 Ergebnisse

Insgesamt sind 291 Fingernerven bei 258 Patienten in diese Untersuchung eingeflossen. Aus diesem Kollektiv wurden die Daten ermittelt und die Ergebnisse berechnet. Das Patientenkollektiv beinhaltete 74 Frauen und 184 Männer mit Nervenverletzungen bzw. mit vermeintlichen Nervenverletzungen an Fingern, Daumen oder der Hand. An der linken Hand waren insgesamt 141 Nerven betroffen und an der rechten Hand 150.

Die Geschlechterverteilung ist in **Abbildung 6** noch einmal veranschaulicht.



In **Abbildung 7** ist die Gesamtzahl der betroffenen Nerven dargestellt.



Das Durchschnittsalter zum Operationszeitpunkt lag in diesem Gesamtkollektiv bei 38,2 Jahren. Die Altersverteilung in den Gruppen war wie folgt:

Gruppe 1: 38,5 Jahre

Gruppe 2: 33,6 Jahre

Gruppe 3: 37,5 Jahre

Gruppe 4: 43,6 Jahre

### **Begleitverletzungen**

Bei 88 Patienten war zusätzlich eine Digitalarterie verletzt.

11 Patienten wurden bereits in externen Kliniken vorversorgt, was 4,2% des oben genannten Gesamtkollektivs ausmacht.

### **Operationszeitpunkt**

Die durchschnittliche Zeitspanne zwischen Verletzung und Operationszeitpunkt in unserer Klinik lag bei Gruppe 1 bei 0,95 Tagen, in Gruppe 2 bei 8,4, in Gruppe 3 bei 7,5 und in Gruppe 4 bei 0,4 Tagen. Der Gesamtdurchschnitt betrug 4,2 Tage für alle Gruppen zusammen. Wenn die Operation innerhalb von 12 Stunden nach Unfallereignis durchgeführt wurde, so wurde dies als sofortige Nervenkoaption verstanden und mit 0 Tagen gewertet.

### **Komplikationen**

Bei 2 der Patienten mit Nervenverletzungen traten postoperativ Komplikationen auf. Dies war jeweils eine Nachblutung (0,77%).

## Ergebnisse

---

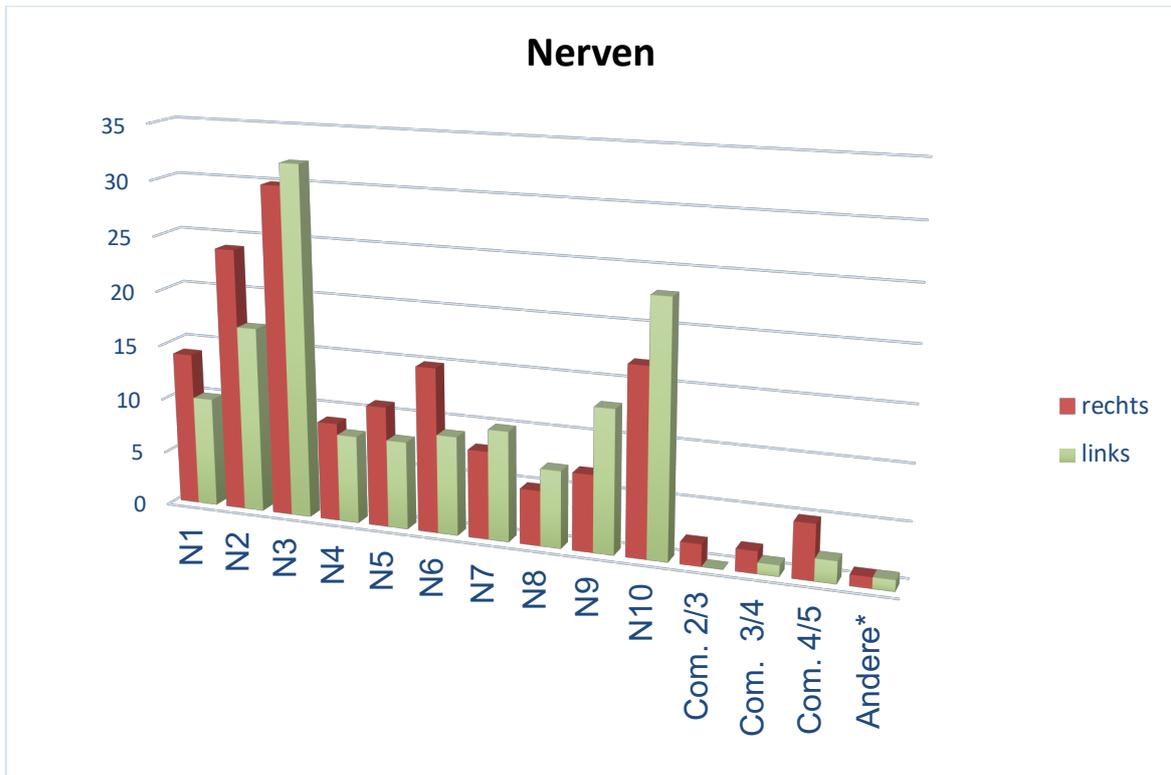
In Tabelle 4 sieht man die Demographie und Verteilung der Gruppen mit Nervenverletzungen.

**Tabelle 4: Demographie der Gruppen und Nerven**

	Patienten	Nerven	Männer	Frauen	Alter (J)	Zeit bis OP
<b>Gruppe 1</b>	225	245	159	66	38,5	0,95
<b>Gruppe 2</b>	15	17	13	2	33,6	8,4
<b>Gruppe 3</b>	2	2	1	1	37,5	7,5
<b>Gruppe 4</b>	16	28	12	4	43,6	0,4d
<b>Kontrolle Dupuytren</b>	25	50	18	7	52,2	-

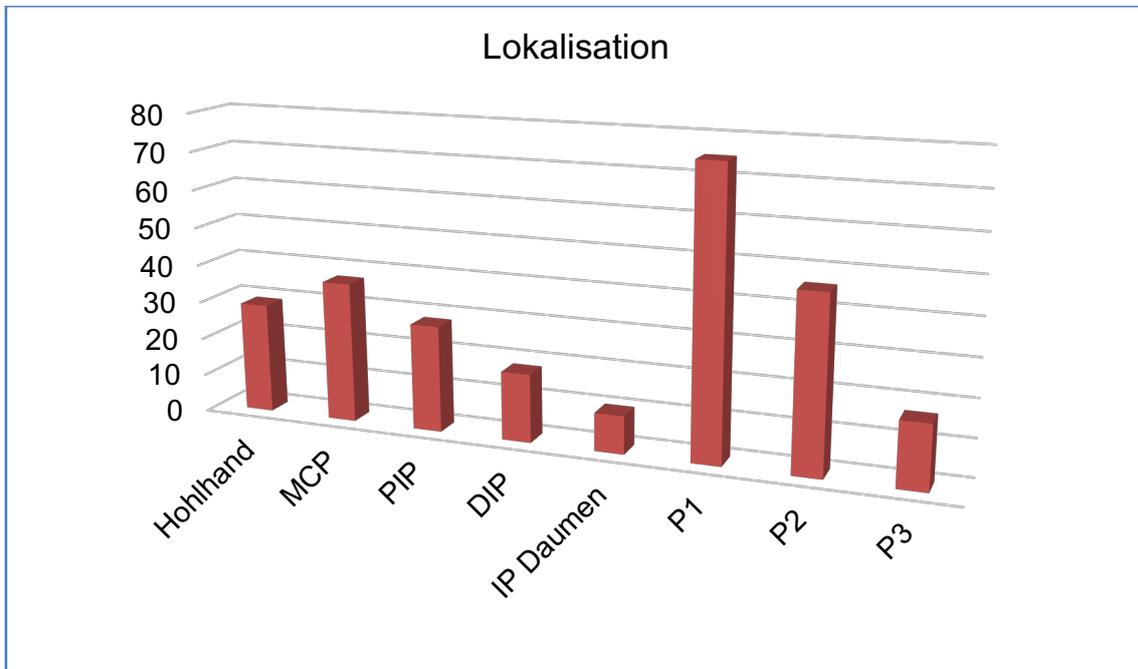
Insgesamt war der radiale Zeigefinger Nerv (N3) am häufigsten betroffen, in 2 Fällen der dorsale Nerv des Daumens.

Die Verteilung der Nerven ist in **Abbildung 8** zu sehen.



**Abbildung 8: Verteilung der betroffenen Nerven.**

In **Abbildung 9** ist die Höhenlokalisierung dargestellt.



**Abbildung 9: Verteilung der Nervenläsionshöhen.**

In der Kontrollgruppe, die an einer Dupuytren'schen Kontraktur operiert wurden betrug das durchschnittliche Alter 52,2 Jahre und bestand aus 18 Männern und 7 Frauen mit je insgesamt 2 Gefäßnervenbündeln. Somit konnte das Kollektiv der Patienten mit intakter 2PD und intraoperativ intaktem Nerv um 50 Nerven erhöht werden.

### **Statistische Auswertung**

#### **3.1. Gruppen (Berechnung mit Anzahl der Nerven)**

Die Ergebnisse für den 2-PD Test für die einzelnen Nerven der Gruppen 1-4 ergaben eine Sensitivität von 99% und eine Spezifität von 63% mit einem p-Wert von 0,0001. Die positive Likelihood Ratio war 2,7, die negative 0,01. Der positive prädiktive Wert betrug 0,93. Der negative prädiktive Wert lag bei 0,93.

Die Interrater-Reliabilität, also die Einschätzungen von zwei unterschiedlichen Beurteilern für den 2PD Test, lag bei einem Kappa von 0,72 und somit in einem guten Bereich. Die Performance des Tests lag mit einem Youden's Index von 0,62 ebenfalls in einem guten Bereich. Diese beiden letztgenannten Werte zeigen also, die hohe diskriminative Fähigkeit des 2PD Tests.

#### **3.2. Kontrollgruppe Dupuytren**

Wenn die Berechnung mit dem Kollektiv der Zusatzgruppe mit Dupuytren in die Kalkulation genommen wurde so ergab sich eine Sensitivität von 99% und eine Spezifität von 75%. Der p-Wert lag bei 0,0001. Der positive prädiktive Wert lag bei 0,93 und die Interrater Reliabilität mit einem Kappa von 0,8 in einem guten Bereich. Die mit positive Likelihood Ratio betrug 4,0. Der positive prädiktive Wert lag bei 0,93

Die Performance des Tests lag bei einem Youden's Index von 0,74 in einem guten Bereich.

Des Weiteren wurde diese Kalkulation auch mit der Dupuytren-Kontrollgruppe und den einzelnen Nerven durchgeführt, in dem diese 50 Nerven zur Gruppe 4 addiert wurden. Grund war die Erweiterung des Patientenkollektivs mit intakten Nerven. Dies ergab eine Sensitivität von 99% und eine Spezifität 83% für den 2PD Test. Der positive prädiktive Wert betrug 0,93 und der negative 0,97. Die positive Likelihood Ratio war mit 5,8 deutlich höher und die Performance des Tests zeigte ein Youden's Index von 0,8, der Kappa-Wert betrug 0,86. Der p-Wert lag bei 0,000.

### **3.3. Anzahl Patienten**

Die Berechnungen ergaben für die Patienten, ohne Berücksichtigung der einzelnen Fingernerven, sondern lediglich für die Gesamtzahl an Patienten, eine Sensitivität von 99% und Spezifität von 51%. Der positive prädiktive Wert lag dann bei 0,93 und der negative bei 0,88. Die positive Likelihood Ratio sank auf Grund der geringeren Fallzahl in dieser Berechnung auf 2,0. Ebenso sanken der Youden's Index (0,5) und der Kappa-Wert (0,6).

### **3.4. Männer vs. Frauen (Anzahl Patienten)**

Die statistische Analyse wurde für Männer und Frauen auch getrennt durchgeführt. Es fand sich kein signifikanter Unterschied der Ergebnisse zwischen den Geschlechtern.

Bei den Männern in unserem Patientenkollektiv war die Sensitivität 99% und die Spezifität 50%. Der positive prädiktive Wert lag bei 0,93 und der negative prädiktive Wert bei 0,92. Auch die positive Likelihood Ratio sank auf Grund der kleineren Größe des zu berechnenden Kollektivs und betrug 1,9.

Bei den Frauen in dieser Arbeit betrug die Sensitivität 98% und die Spezifität war 57%. Der positive prädiktive Wert lag bei 0,95 und der negative bei 0,8. Die positive Likelihood Ratio war 2,3 und die negative 0,03.

## Ergebnisse

---

Zusammenfassend finden sich die Tabelle 5 die oben beschriebenen Ergebnisse für die einzelnen Berechnungen noch einmal als Übersicht dargestellt.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse für den 2PD-Test als diagnostisches Mittel eine sehr hohe Sensitivität zur Erkennung von Nervenverletzungen an Fingern und an der Hand. Die Interrater-Reliabilität (Kappa) ist ebenfalls als sehr hoch anzusehen ebenso wie die Performance dieses diagnostischen Tests (Youden's J).

Die Spezifität hingegen erreicht nicht diese hohen Werte wie die Sensitivität, allerdings beträgt die negative Likelihood-Ratio 0,01 bis 0,03.

**Tabelle 5, Ergebnisse**

	<b>Sens.</b>	<b>Spez.</b>	<b>p-Wert</b>	<b>LR+</b>	<b>LR-</b>	<b>PPW</b>	<b>NPW</b>	<b>Kappa</b>	<b>Youden's J</b>
<b>3.1. Gruppen</b>	99%	63%	0,0001	2,7	0,01	0,93	0,93	0,72	0,62
<b>3.2. Dupuytren allein</b>	99%	75%	0,0001	4,0	0,01	0,93	0,96	0,8	0,74
<b>Dupuytren addiert</b>	99%	83%	0,0001	5,8	0,01	0,93	0,97	0,86	0,8
<b>3.3. Anzahl Patienten</b>	99%	51%	0,0001	2,0	0,01	0,93	0,88	0,6	0,5
<b>3.4. Männer</b>	99%	50%	0,0001	1,9	0,01	0,93	0,92	0,61	0,49
<b>Frauen</b>	98%	57%	0,0001	2,3	0,03	0,95	0,8	0,63	0,55

### 4 Diskussion

Wie bereits im Methodenteil erwähnt, ist die Basis für die hier vorliegenden Daten das in der Klinik zur Verfügung stehende Computerprogramm in dem die Kodierungen bei den Eingriffen vorgenommen werden. Somit besteht eine gewisse Abhängigkeit von der Exaktheit der Einträge in dieses Programm. Hiervon ausgehend besteht eventuell die Möglichkeit eines Bias, dass doch nicht „alle“ Patienten erfasst wurden. Diesem Umstand konnte allerdings bei der Generierung und Aufarbeitung der Daten in dieser Arbeit nicht Rechnung getragen werden.

Eine Einschränkung dieser Arbeit ist sicherlich die geringe Anzahl ( $n=2$ ) an Patienten in Gruppe 3. Diese Gruppe beinhaltete Patienten mit intakter 2PD bei der klinischen Untersuchung, aber durchtrenntem Nerv intraoperativ.

Bei genauerer Betrachtung können für diese Limitation zwei Möglichkeiten zu Grunde gelegen haben bzw. könnte eine dritte Möglichkeit in Erwägung zu ziehen sein.

Erstens besteht die Eventualität, dass es sich bei der Untersuchung des Patienten seitens des Untersuchers, also des Arztes, um eine fehlerhafte Durchführung oder Einschätzung bei der Untersuchung handelte. Eine andere Möglichkeit wäre eine fehlerhafte Anwendung mit nachfolgender fehlerhafter Interpretation des 2PD-Tests in der klinischen Akut-Situation.

Drittens besteht die Möglichkeit, dass es sich bei der Untersuchung um ein Problem seitens des Patienten handelte, im Sinne einer mangelnden Compliance bzw. Kooperation. Sehr unwahrscheinlich, aber möglich, könnte die Absicht dahinter stehen einer Operation aus dem Wege zu gehen. Wahrscheinlicher ist es, dass geschuldet der Tatsache, dass es sich für einen Patienten oder Patientin nach Verletzung um eine Stresssituation handelt, die angewendete klinische Untersuchungen nicht verstanden oder versehentlich inkorrekte Angaben gemacht wurden.

## 4 Diskussion

---

Retrospektiv konnte nicht evaluiert werden, warum es in dieser Gruppe zu dieser kleinen Anzahl an Fällen gekommen ist. Die in dieser Arbeit erhobenen Daten zeigen allerdings eine hohe Sensitivität und positive Likelihood Ratio für den 2PD-Test.

Hinsichtlich der hohen Sensitivität und positiven prädiktiven Wertes sowie der hohen Interrater-Reliabilität des 2PD-Tests, eine Durchtrennung eines Fingernervens zu diagnostizieren, wie in den Ergebnissen zu sehen ist, sind die oben genannten Überlegungen allerdings eher theoretischer Natur. Die Ergebnisse zeigen diese Exaktheit dieses Messverfahrens sogar in Akut-Situationen, die sowohl Stress für den Patienten als auch für den Untersucher bedeuten können.

Im Verlauf konnten diese Patienten jedoch aufgrund dann beschriebener entsprechenden Missempfindungen identifiziert werden. Beide Patienten konnten im Verlauf einer entsprechenden operativen Therapie zugeführt werden und es erfolgte bei einem nach einem Tag eine Nervenkoaptation und beim anderen nach 14 Tagen.

Durch die niedrige Anzahl an Patienten in dieser Gruppe 3 kam es auch bei den Berechnungen der Ergebnisse zu einer eher niedrigeren Spezifität für den 2PD-Test. Diese beträgt 63% bei der Kalkulation in der alle Nerven eingeflossen sind, was dem Ergebnisteil 3.1. entspricht. Dies würde bedeuten, dass lediglich 63% aller Gesunden auch als tatsächlich Gesunde erkannt werden. Somit müsste bei 37% von allen Gesunden trotz intakter 2PD von einer Nervendurchtrennung ausgegangen werden. Isoliert dürfen diese statistischen Ergebnisse eines diagnostischen Tests allerdings nicht betrachtet werden.

Dem gegenüber gestellt beträgt die Sensitivität nämlich annähernd 100% in der oben genannten Berechnung und die positive Likelihood Ratio beträgt 2,7. Diese berechnet sich aus der Sensitivität und der Spezifität. Somit ist dies so zu interpretieren, dass bei einem 2PD-Test, welcher anzeigt, dass der Nerv verletzt ist, diese Chance oder Möglichkeit 2,7, mal höher ist als bei einem Gesunden. Dies spiegelt sich auch in der negativen Likelihood Ratio von 0,1 wieder.

Statistisch gesehen spricht dies für die diagnostische Aussagekraft des 2PD Tests, nämlich dahingehend, dass mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit tatsächlich Erkrankte, also Patienten mit fehlender 2PD im 2PD-Test auch einen durchtrennten Nerv aufweisen, und auch als solche schlussendlich zu identifizieren sind.

Diesem Umstand wurde mit der zusätzlichen Dupuytren Gruppe Rechnung getragen. Diese Kontrollgruppe beinhaltete Patienten mit intakter 2PD und intraoperativ intakten Gefäßnervenbündeln. Diese wurden im Ergebnisteil 3.2. einbezogen. Zwar sind diese dann der Gruppe 4 zuzuordnen, allerdings in der statistischen Berechnung zu den Gesunden, wie die beiden Patienten in Gruppe 3, von denen ja auch a priori ausgegangen werden muss, dass der Nerv intakt war.

Diese Kontrollgruppe aus Dupuytren-Patienten wurde zum einen zu der Gesamtanzahl an Patienten und zum anderen zu den einzelnen Nerven addiert und dann entsprechend kalkuliert. Daraus ergab sich eine Spezifität von 75% bei der Addition zu der Patientenzahl und von 83% nach Addition zu den einzelnen Nerven. Dennoch war die Spezifität nicht in dem Maße hoch wie die Sensitivität welche in beiden Berechnungen jeweils 99% betrug.

Aus chirurgischer Sicht betrachtet, was Nervenverletzungen angeht, kann die Diskrepanz zwischen Sensibilität und Spezifität auch bedeuten, dass im diagnostischen Zweifel eine chirurgische Exploration von Nerven indiziert sein kann. Diese Annahme ist auch durch in der Literatur verfügbare Daten zu vertreten. Hintergrund für diese Überlegung sind Studien von Autoren, die zeigen, dass, je früher eine entsprechende operative Koaption von Nerven nach einer Verletzung durchgeführt wird, desto besser das postoperative Outcome ist. Dies betrifft die Regeneration von Nerven und schlussendlich die Wiedergewinnung einer Sensibilität, im besten Fall einer intakten 2PD (Rosen and Lundborg, 2004) (Birch and Raji, 1991; Green, 2005).

## 4 Diskussion

---

Daher ist es notwendig Nervenverletzungen an der Hand und den Fingern so früh wie möglich zu diagnostizieren oder auszuschließen, auch wenn dies bedeuten kann, dass dies gegebenenfalls eben im Rahmen einer operativen Exploration stattfindet.

In den Kontrollgruppen 3 und 4 wurden „gesunde“ Patienten, bezüglich der Nervenverletzung, eingeschlossen. Die Identifikation dieses Kollektivs gelang dadurch, dass bei diesen Patienten eine Operation wegen zum Beispiel der Größe der Wunde, einer mangelnden Compliance oder auf Grund des Verschmutzungsgrades erfolgte. Die Kombination von frischer Verletzung und den eben genannten Kriterien hätte eine optimale Wundversorgung im Rahmen eines ambulanten Settings nicht adäquat zugelassen, weshalb diese Patienten einer Operation zugeführt wurden.

Dadurch wurden auch Patienten mit intakten Nerven operiert und nach Durchsicht der Operationsberichte, konnte verifiziert werden, ob der Nerv tatsächlich intakt war. Somit waren diese Patienten nach entsprechender Dokumentation im Computerprogramm hinterlegt, konnten ausfindig gemacht und in diese Arbeit eingeschlossen werden.

Die Frage wie es möglich ist, weitere Kontrollpatienten, also mit intakter 2PD und intaktem Nerv intraoperativ, zu generieren und zu identifizieren ist eine schwierige. Angenommen der 2PD-Test zeigt, dass der Finger- oder Daumenerv intakt ist, wie könnte das objektiv verifiziert werden. Am ehesten durch eine operative Intervention im Sinne einer Exploration. Dies würde einen Eingriff bei potentiell gesunden Patienten erforderlich machen. Anders gesagt, also bei all denjenigen, bei denen eine Schnittwunde an der Hand, der Finger oder des Daumens vorliegt. Das operieren von gesunden Patienten ist sicherlich unter keinen Umständen zu rechtfertigen. Daher ist im Umkehrschluss wiederum die exakte Evaluierung ein entscheidender Bestandteil in der Diagnose- bzw. Indikationsstellung von Verletzungen an der Hand. Dies beinhaltet natürlich auch die Messung der 2PD.

Um dennoch das Patientengut zu erweitern, und um oben genanntem Fakt Rechnung zu getragen, haben wir eine zusätzliche Kontrollgruppe, die Gruppe der Patienten mit einem Mb. Dupuytren, mit einbezogen.

## 4 Diskussion

---

Die Berechnung der Performance des 2PD Tests mit der gesunden Kontrollgruppe der Dupuytren Patienten, führte zu einer gleich hohen Sensitivität, allerdings natürlich auch zu einer höheren Spezifität, da ja mehr Gesunde als tatsächlich Gesunde identifiziert wurden.

Anhand der in dieser Studie durchgeführten retrospektiven Analyse konnten wir nicht sicher eruieren, ob die präoperative Testung mit dem statischen oder beweglichen 2PD-Test gemessen wurde. Es gibt allerdings Hinweise in der Literatur, dass die 2PD in akuten Settings nicht zwingend als bewegliche beziehungsweise dynamische 2PD gemessen werden muss. Manche Autoren empfahlen die bewegliche 2PD vor allem zur Beurteilung der Regeneration von Nerven nach Koaptation (Dellon, 1978; Mailander et al., 1989; Moberg, 1962).

Des Weiteren erfolgte die Untersuchung von verschiedenen Ärzten mit unterschiedlichem Ausbildungsstand, was auf den ersten Blick als problematisch gelten könnte, da Erfahrung und Expertise womöglich eine Rolle spielen könnten. Allerdings entspricht das hier vorliegende Setting aber sehr wahrscheinlich dem klinischen Alltag in den allermeisten Krankenhäusern und chirurgischen Notaufnahmen, sodass hier ein sehr realistischer Querschnitt aus zehn Jahren vorliegt. Wie auch andere Autoren (Jerosch-Herold, 2005; Shimokata and Kuzuya, 1995) konnten wir für den 2PD Test in unserem untersuchten Patientenkollektiv eine hohe Interrater-Reliabilität oder Urteilerübereinstimmung nachweisen (Kappa-Wert).

Wie in der Einleitung erwähnt wird, ist in statistischen Berechnungen von abhängigen und unabhängigen Variablen die Rede. Dies bezieht sich in unserem Fall darauf, ob die Nerven einzeln berechnet wurden (abhängig), sodass auch Patienten mit mehreren Nervenverletzungen einfließen (Ergebnisteil 3.1.) oder ob nur mit der Anzahl der betroffenen Patienten (unabhängige Variable) wie in Ergebnisteil 3.3. gerechnet wurden.

Anzumerken ist, dass eine statistische Analyse generell darauf abzielt zu berechnen, wie nahe die Ergebnisse an der „Wahrheit“ liegen. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass reine statische Kalkulationen in der Mathematik

## 4 Diskussion

---

oder Stochastik versuchen, Zusammenhänge zwischen theoretischen Ereignissen zu berechnen. Hinsichtlich medizinischer Fragestellungen und Lösungsversuchen bzw. Therapien ist dies so nicht immer zutreffend, da wir mit realen Gegebenheiten und Patienten zu tun haben.

Unsere Studienpopulation oder das Patientenkollektiv ist statistisch gesehen eine Stichprobe aus einer Gesamtbevölkerung. Daher könnte eben die Ab- oder Unabhängigkeit der Variablen bei der Berechnung einen Bias beinhalten. Um dem Rechnung zu tragen wurden die Ergebnisse einmal mit den Nerven allein, im Ergebnisteil 3.1., und einmal mit der Anzahl an Patienten, im Ergebnisteil 3.3. zu sehen, berechnet. Dies ergab allerdings keinen Unterschied die Sensitivität betreffend, aber einen geringen für die Spezifität, welche sich von 63% auf 51% reduzierte. Veranschaulicht ist dies in Tabelle 5.

Anders betrachten bedeutet dies, oder zeigt dies vielmehr, die hohe Diskriminationsfähigkeit von Patienten und damit hochauflösende sensible Funktion von Fingernerven in Bezug auf taktile Reize. Die Tatsache, dass bei verschiedenen Patienten mehrere Nerven verletzt waren, erscheint vor diesem Hintergrund nun zweitrangig.

Auch zeigen diese Überlegungen, dass der 2PD Test relativ einfach und reliabel durchzuführen ist. Er stellt somit ein wertvolles diagnostisches Mittel dar.

Nicht ganz klar ist wie, also mit welchem Messinstrument, der 2PD-Test durchgeführt wurde. Verschiedene Gerätschaften stehen zur Verfügung wie Diskriminatoren, eine kleine spitze Schere, deren Branchen etwas geöffnet werden oder eine Büroklammer, die entsprechend gebogen werden kann. Einer der sensibelsten Tests ist der Semmes-Weinstein-Monofilament-Test. Dieser ist eines der wichtigsten Verfahren um die Messung der Wahrnehmungsschwelle und der Sensibilität an der Hand zu beurteilen (Jerosch-Herold, 2005). Hier werden durch aufdrücken verschieden dicker Filamente mit unterschiedlichem Durchmesser die Schwellen der Empfindlichkeit gemessen. Insgesamt eine aufwändige Untersuchung. Im

## 4 Diskussion

---

Rahmen der notfallmäßigen Evaluierung eines frisch verletzten Patienten ist dieses Verfahren offensichtlich nicht praktikabel.

So wie auch andere Autoren sind wir daher der Meinung, dass vielmehr die Tatsache entscheidend erscheint in welchem Zusammenhang die 2PD gemessen wird (Lundborg and Rosen, 2004), also ob es sich um eine Notfallsituation, eine Reevaluierung nach Nervennaht oder um einen gesunden, also nicht verletzten, Patienten handelt.

Darüber hinaus konnten auch andere Autoren zeigen, dass die 2PD in Zusammenhang mit frischen Verletzungen sehr reliabel ist, was sich auch mit unseren positiven prädiktiven Werten und Kappa deckt (Dellon et al., 1987).

Obwohl nicht ganz klar ist welches Instrument zur Messung verwendet wurde, so ist die diagnostische Sensitivität hoch. Was dafür spricht, dass die Evaluation von Fingerverletzungen stets einen 2PD Test beinhalten sollte, egal wie gemessen, um Nervenverletzungen zu diagnostizieren. Diese Tatsache wird auch dadurch unterstrichen, dass Daten klinischer Studien zeigen konnten, dass eine Büroklammer genauso reliabel ist Nervenverletzungen an Fingern zu diagnostizieren wie andere Verfahren mit spezielleren Instrumenten (Dellon et al., 1987; Finnell et al., 2004).

Die Ergebnisse zeigten, dass an der rechten und der linken Hand annähernd gleich viele Verletzungen in unseren Kollektiv vorlagen (Rechts: 150 Nerven, Links: 141 Nerven). Da hier kein Unterschied besteht, kann auch nicht auf eine Dominanz der Händigkeit rückgeschlossen werden.

Es waren etwas mehr als doppelt soviel Männer wie Frauen (Männer: 184; Frauen: 74) betroffen. Hier wäre es möglich von einer erhöhten Risikobereitschaft oder beruflichen Exposition von Männern auszugehen, ohne dass hierfür Daten vorlägen. Für die Therapie spielt es allerdings keine Rolle. Auch scheint das Geschlecht keinen Einfluss auf den 2PD-Test zu haben, wie die Berechnungen in Teil 3.4. zeigen.

## 4 Diskussion

---

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass der 2PD-Test ein hoch sensitiver Test (Sensibilität von 99%) mit einem entsprechend hohen positiven prädiktiven Wert (0,93) ist um eine Verletzung eines Finger- oder Daunnervens zu diagnostizieren. Die Interrater Reliabilität ist hoch und beinhaltet einen Kappa-Wert von 0,86. Dies spiegelt sich auch in der Performance des Tests wieder, welche mit einem Youden's-Index vom 0,8 sehr gut war.

Wichtig ist es den Test im klinischen Gesamtkontext bei der Evaluierung von frischen Verletzungen an der Hand und Fingern sowie auch Patienten zu sehen und zu interpretieren, wobei die Erfahrung des Untersuchers und das verwendete Messinstrument nicht zwingend das Ergebnis des Tests beeinflussen müssen.

Wir empfehlen daher die 2PD zu messen, beweglich oder statisch, zur Beurteilung bei frischen Handverletzungen. Sollte eine potentielle Nervenbeteiligung vorliegen, dann ist diese in jedem Fall durchzuführen. Der 2PD-Test ist ein probates und adäquates Diagnosemittel um eine Operationsindikation zu stellen.

Welches Instrument zur Messung der 2PD schlussendlich herangezogen wird erscheint nebensächlich, solange der Test in der akuten Situation durchgeführt wird.

Die entsprechende Interpretation des Ergebnisses des 2PD Tests ist im klinischen Zusammenhang zu sehen und den jeweiligen Umständen gegebenenfalls anzupassen. Der 2PD Test bietet Chirurgen egal welchen Ausbildungsstandes, ein verlässliches, wertvolles, sicheres, schnell und einfach durchzuführendes Verfahren Nervenverletzungen an der Hand zu diagnostizieren und somit eine Basis die Entscheidung einer operativen Intervention zu treffen oder nicht.

### **Zusammenfassung**

Im klinischen Alltag kann die Diagnosestellung einer Nervenverletzung an der Hand, den Fingern oder dem Daumen schwierig sein. Die besonderen Umstände einer Notfallsituation, die Kooperation von Patienten oder die Erfahrung des Arztes mögen vielleicht eine Rolle spielen um eine korrekte Diagnose zu stellen. Der komplexe anatomische Aufbau der Hand, die diffizile Funktion dieses Organs und die möglichen Verletzungsmechanismen machen eine korrekte Diagnosestellung dahingehend ob eine Nervenverletzung vorliegt oder nicht mitunter zusätzlich problematisch.

Allgemein bekannt ist, dass die 2PD sehr häufig als diagnostisches Mittel herangezogen wird, sowohl in Handchirurgischen Zentren wie auch in peripheren Kliniken wird diese angewendet

Ziel dieser Studie war es, den Test der Zweipunktgediskrimination, hinsichtlich seiner diagnostischen Sicherheit eine Verletzung an Nerven der Finger, der Hand und des Daumens festzustellen, zu untersuchen.

In einer retrospektiven Analyse wurden Daten über einen Zeitraum von 10 Jahren zusammengetragen, erhoben und ausgewertet.

Anhand von Patientenakten wurde untersucht, ob die bei der Indikationsstellung festgestellte pathologische 2PD mit dem intraoperativen Befund einer Nervenverletzung übereinstimmte. Eingeschlossen wurden Patienten und Patientinnen im Zeitraum zwischen 2008 und 2017, bei denen eine fehlende oder verlängerte 2PD festgestellt wurde.

Die Gegenprobe, also Patienten ohne Verletzung eines Nervens mit intakter 2PD oder auch fehlender 2PD, wurde ebenfalls ermittelt. Diese Daten setzten sich aus Patienten und Nerven zusammen, die sich einer Operation unterzogen auf Grund der Schwere beziehungsweise des Ausmaßes der Verletzung oder des Verschmutzungsgrades. Um das Patientenkollektiv mit intakter 2PD und intaktem Nerv zu erweitern, wurde eine zusätzliche Kontrollgruppe definiert. Hierzu wurden Patienten mit einem Mb. Dupuytren herangezogen.

Schlussendlich sind 291 Fingernerven bei insgesamt 258 Patienten in die Untersuchung eingeflossen. Dieses Patientenkollektiv setzte sich aus 74

## Zusammenfassung

---

Frauen und 184 Männer mit Nervenverletzungen bzw. mit vermeintlichen Nervenverletzungen an Fingern, der Daumen oder der Hand, zusammen.

Die Sensibilität der 2PD lag bei 98% bis 99%, und die Spezifität zwischen 50% und 83% mit einer hohen Interrater-Reliabilität und Performance des 2PD-Tests.

Kritisch anzumerken ist die eher geringe Anzahl in den Kontrollgruppen mit Patienten bei denen die 2PD aufgehoben war, jedoch der Nerv intakt oder vice versa. Einem dieser Umstände wurde Rechnung getragen in dem die zusätzliche Kontrollgruppe der Dupuytren-Patienten verwendet wurde. Im anderen Kollektiv konnten anhand der vorliegenden Daten nicht mehr Patienten ermittelt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der 2PD-Test ein sehr gutes diagnostisches Mittel in der Handchirurgie darstellt, um Verletzungen an Fingern oder des Daumens zu untersuchen und zur Diagnosestellung einer Nervenverletzung heranzuziehen sowie schlussendlich eine Operationsindikation zu stellen.

### Literaturverzeichnis

Birch R, Raji AR. Repair of median and ulnar nerves. Primary suture is best. *J Bone Joint Surg Br.* 1991, 73: 154-7.

Boesch CE, Medved F, Held M, Bender D, Schaller HE, Fuchsberger T. Analysis of the two-point discrimination test in daily routine practice. *Eur J Plast Surg* (2017). 40:333–336.

Bühner M. Einführung in die test- und fragebogenkonstruktion. München; Boston [u.a.], Pearson Studium, 2011.

Crosby PM, Dellon AL. Comparison of two-point discrimination testing devices. *Microsurgery.* 1989, 10: 134-7.

Dahlin LB. The role of timing in nerve reconstruction. *Int Rev Neurobiol.* 2013, 109: 151-64.

Dellon AL. The moving two-point discrimination test: Clinical evaluation of the quickly adapting fiber/receptor system. *J Hand Surg Am.* 1978, 3: 474-81.

Dellon AL, Mackinnon SE, Crosby PM. Reliability of two-point discrimination measurements. *J Hand Surg Am.* 1987, 12: 693-6.

Finnell JT, Knopp R, Johnson P, Holland PC, Schubert W. A calibrated paper clip is a reliable measure of two-point discrimination. *Acad Emerg Med.* 2004, 11: 710-4.

Gajdosik RL, Bohannon RW. Clinical measurement of range of motion. Review of goniometry emphasizing reliability and validity. *Physical therapy.* 1987, 67: 1867-72.

Green DP. Green's operative hand surgery, 5th edn. Philadelphia, Pa., Elsevier/Churchill Livingstone, 2005.

Green DP. Green's operative hand surgery, 7<sup>th</sup> edn. Philadelphia, Pa., Elsevier/Churchill Livingstone, 2005.

Jerosch-Herold C. Assessment of sensibility after nerve injury and repair: A systematic review of evidence for validity, reliability and responsiveness of tests. J Hand Surg Br. 2005, 30: 252-64.

Lad SP, Nathan JK, Schubert RD, Boakye M. Trends in median, ulnar, radial, and brachio-plexus nerve injuries in the united states. Neurosurgery. 2010, 66: 953-60.

Lanz U, Schmidt HM. Chirurgische Anatomie der Hand, 2. Aufl. Stuttgart/New York, Thieme Verlag, 2003.

Lienert GA, Raatz U. Testaufbau und testanalyse : [studienausgabe], 6. Aufl. edn. Weinheim, Beltz, Psychologie-Verl.-Union, 1998: XX, 432.

Lundborg G, Rosen B. The two-point discrimination test--time for a re-appraisal? J Hand Surg Br. 2004, 29: 418-22.

Mackinnon SE. Nerve Surgery, New York, Thieme, 2015.

Mailander P, Schaller E, Berger A, Ruhe K. [return of static and moving 2-point discrimination following nerve reconstruction]. Handchir Mikrochir Plast Chir. 1989, 21: 299-301.

Maitre J, Jully JL, Gasnier Y, Paillard T. Chronic physical activity preserves efficiency of proprioception in postural control in older women. Journal of rehabilitation research and development. 2013, 50: 811-20.

Manoli T, Schulz L, Stahl S, Jaminet P, Schaller HE. Evaluation of sensory recovery after reconstruction of digital nerves of the hand using muscle-in-vein conduits in comparison to nerve suture or nerve autografting. *Microsurgery*. 2014, 34: 608-15.

Moberg E. Criticism and study of methods for examining sensibility in the hand. *Neurology*. 1962, 12: 8-19.

Noble J, Munro CA, Prasad VS, Midha R. Analysis of upper and lower extremity peripheral nerve injuries in a population of patients with multiple injuries. *J Trauma*. 1998, 45: 116-22.

Rammstedt B. Reliabilität, validität, objektivität. In: Wolf C, Best H (Eds.) *Handbuch der sozialwissenschaftlichen datenanalyse*, VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2010: 239-58.

Rosberg HE, Carlsson KS, Hojgard S, Lindgren B, Lundborg G, Dahlin LB. Injury to the human median and ulnar nerves in the forearm--analysis of costs for treatment and rehabilitation of 69 patients in southern sweden. *J Hand Surg Br*. 2005, 30: 35-9.

Rosen B, Lundborg G. Sensory re-education after nerve repair: Aspects of timing. *Handchir Mikrochir Plast Chir*. 2004, 36: 8-12.

Shimokata H, Kuzuya F. Two-point discrimination test of the skin as an index of sensory aging. *Gerontology*. 1995, 41: 267-72.

Siddiqui A, Benjamin CI, Schubert W. Incidence of neurapraxia in digital nerve injuries. *J Reconstr Microsurg*. 2000, 16: 95-8; discussion 8-9.

Slutsky DJ, Hentz VR. *Peripheral nerve surgery : Practical applications in the upper extremity*. Philadelphia, Churchill Livingstone Elsevier, 2006: xvi, 375 p.

Solgaard S, Carlsen A, Kramhoft M, Petersen VS. Reproducibility of goniometry of the wrist. Scandinavian journal of rehabilitation medicine. 1986, 18: 5-7.

Weber E. Ueber den tastsinn. Arch Anat Physiol Wissensch Med 52:152. 1835.

Wirtz M, Caspar F. Beurteilerübereinstimmung und Beurteilerreliabilität : Methoden zur Bestimmung und Verbesserung der Zuverlässigkeit von Einschätzungen mittels Kategoriensystemen und Ratingskalen. Göttingen u.a., Hogrefe, Verl. für Psychologie, 2002.

---

## **Erklärung zum Eigenanteil**

Die Arbeit wurde durch mich, Cedric Bösch, in der Klinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik (an der Eberhard Karls Universität zu Tübingen) unter Betreuung von Prof. Dr. Adrien Daigeler durchgeführt. Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 24.05.2018

---

## Veröffentlichungen

**Boesch CE**, Medved F, Held M, Bender D, Schaller HE, Fuchsberger T.  
Analysis of the two-point discrimination test in daily routine practice.  
Eur J Plast Surg (2017). 40:333–336.

### **Danksagung**

Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Adrien Daigeler für die Ermöglichung der Durchführung dieser Arbeit.

Des Weiteren gilt mein Dank meinem guten Freund und Kollegen Priv. Doz. Dr. med. Manuel Held, der mich unterstützt und beraten hat.

Und zu guter Letzt meinen Eltern, die mir meine Karriere erst ermöglicht haben.