

Aus dem Funktionsbereich für Hand- und funktionelle Mikrochirurgie  
(Leitung: Univ.-Prof. Dr. A. Eisenschenk)  
Der Klinik für Unfall-, Wiederherstellungschirurgie und rehabilitative Medizin  
(Direktor Univ.-Prof. Dr. Ekkernkamp)  
der Universitätsmedizin Greifswald

Beurteilung der Wirkung der Handgelenkorthese WristWidget® auf die Belastung der  
oberen Extremität bei TFCC-Läsion

KUMULATIVE-DISSERTATION

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktors der Medizin  
(Dr. med.)  
der Universitätsmedizin  
der Universität Greifswald  
2022

Vorgelegt von:  
Mouataz Salloum  
geb. am 14.10.1980  
in: Latakia, Syrien

Dekan:	Prof. Dr. Karlhans Endlich
1. Gutachter:	Prof. Dr. Andreas Eisenschenk
2. Gutachter:	Prof. Dr. Thomas Mittlmeier
Ort, Raum:	Greifswald, Sauerbruchstr., Seminarraum J02.42
Tag der Disputation:	02.03.2023

## Inhaltsverzeichnis:

1. Einleitung .....	1
1.1 TFCC- Problematik .....	1
1.2 Funktionelle Anatomie .....	1
1.3 TFCC- Läsionen .....	3
1.3.1 Anamnese .....	3
1.3.2 Klinische Untersuchung .....	4
1.3.3 Radiologie .....	5
1.3.4 Arthroskopie .....	6
1.3.5 Klassifikation .....	6
1.3.6 WristWidget® Orthese .....	7
1.3.7 Therapie .....	8
1.3.8 Zeitpunkt der Rekonstruktion .....	9
1.4 Ziel der Studie .....	9
2. Material und Methoden .....	10
2.1 Studiendesign .....	10
2.2 Datenerhebung .....	10
2.2.1 Anamnese .....	10
2.2.2 Klinische Messwerte .....	10
2.2.3 Belastungstest .....	10
2.2.4 Radiologie .....	11
2.2.5 Operative Befunde .....	12
2.2.6 Statistische Methoden .....	12
3. Ergebnisse .....	13
3.1 Werte der klinischen Untersuchung .....	13
3.2 Werte des Belastungstests .....	13
3.3 Werte des modifizierten Belastungstests .....	14
3.4 Ergebnisse der MRT Untersuchung .....	14
3.5 Ergebnisse der Röntgen- Untersuchung .....	15
3.6 Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Patienten .....	15
3.7 Vergleich zwischen stabilen und instabilen DRUGs .....	15
3.8 Vergleich zwischen degenerativen und traumatischen Läsionen .....	16
4. Diskussion .....	18
4.1 Anwendung des Belastungstests .....	18
4.2 Diskussion der Ergebnisse des Belastungstests .....	18

4.3 Diskussion der Ergebnisse des modifizierten Belastungstests .....	19
4.4 Diskussion der Ergebnisse der stabilen und instabilen DRUGs .....	20
4.5 Diskussion der Ergebnisse der traumatischen und degenerativen Läsionen ...	21
4.6 Diskussion des intraoperativen Befundes .....	22
5. Zusammenfassung .....	22
6. Ausblick .....	23
7. Anhang .....	23
7.1 Abbildungsverzeichnis .....	23
7.2 Tabellenverzeichnis .....	24
7.3 Abkürzungsverzeichnis .....	24
7.4 Literaturverzeichnis .....	24
7.5 Eidesstattliche Erklärung .....	27
7.6 Danksagung .....	27

## **1. Einleitung**

### **1.1 TFCC- Problematik**

Der trianguläre fibrokartilaginäre Komplex „triangular fibrocartilage complex“ (TFCC) ist ein wichtiger Faktor in Bezug auf Stabilität des distalen Radioulnargelenks (DRUG) (1) und damit in der axialen Lastaufnahme der gesamten oberen Extremität (2,3). TFCC- Läsionen sind von großer Bedeutung in der Differenzialdiagnose der Schmerzen im ulnaren Kompartiment des Handgelenks und/oder Instabilität des DRUG und damit Funktionseinschränkung der gesamten oberen Extremität (4).

Die Objektivierung und Quantifizierung der TFCC- Läsionen bleibt schwierig. Zur Verfügung stehen klinische Tests zum Beispiel: der Press-Test (5) und der Push-off-Test, die eine Belastung des TFCC und DRUG klinisch in Form von Schmerz aufzeigen und mit Kraftmessung (Griff-Dynamometer), welche quantitativ eine axiale Belastung in Neutralstellung des Handgelenks misst (6,7). Der in unserer Studie verwendete Belastungstest ist ein vergleichbarer Test, bei dem eine Belastungsmessung bis zur Schmerzgrenze in Extensionsstellung der Handgelenke (Abstützposition) im Seitenvergleich durchgeführt wird. Radiologisch kann eine posterior-anteriore Handgelenkröntgenaufnahme in Neutralstellung ohne Belastung und unter axialer Belastung an beidseitigen Handgelenken Veränderungen der Stellung der distalen Ulna und damit des DRUG aufzeigen. Hier gibt es bislang nur wenige Studien, die Veränderungen der DRUG-Konfiguration in Bezug auf Verletzungen korrelieren (8). Die Kernspintomographie (MRT) ist bei TFCC- Diagnostik ebenfalls hilfreich, zeigt aber je nach Auflösung und Erfahrung des Untersuchers Unterschiede in der Sensitivität und Spezifität. Die Handgelenkarthroskopie bleibt der Goldstandard, ist aber invasiv (9,10).

### **1.2 Funktionelle Anatomie**

Die wichtigste Funktion der oberen Extremität, bzw. der Hand ist das Greifen, Heben und Manipulieren von Gegenständen (2). Während dieser Tätigkeiten wird die Last in Abhängigkeit der Gelenkstellung auf die obere Extremität durch das Handgelenk und DRUG weitergeleitet. In Neutralstellung werden beispielsweise ca. 20% der Last über das ulnarseitige Handgelenk weitergeleitet und in Ulnardeviation und Pronation kann diese bis zu 150% ansteigen (Palmer 1984). Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Ulnalänge im Verhältnis zum Radius. Die in Neutralstellung und bei Neutrallänge der Ulna beschriebene Lastaufnahme von 20% bei axialer Belastung steigt bei Ulna plus -Varianz (Überlänge der Ulna gegenüber der Radiusgelenkfläche) von 2,5 mm auf 42% an. Eine Ulna minus-Varianz

der gleichen Größenordnung bedeutet nur noch eine Lastaufnahme von 4% über den ulnokarpalen Komplex (14).

Das DRUG dient als Lastaufnehmer und gewährt über seine Gelenkflächen Rotationsbewegungen, wobei der Radius um Ulna mittels des radioulnaren Bandapparates stabil geführt wird (9). Die Stabilität des DRUG wird durch den TFCC, die ulnolunären und ulnotriquetralen Bänder, das ulnokarpale Kollateralband sowie durch den Boden des 6. Strecksehnenfaches mit der Sehnenscheide des Extensor carpi ulnaris gewährleistet (2,11). Die Integrität des DRUG ist daher essentiell für die Funktion des gesamten Armes und der Hand (2).

Der TFCC ist eine band- und knorpelartige Struktur und verbindet anatomisch den Ulnakopf mit dem proximalen Karpus und dem distalen Radius. Die größte Einheit des TFCC ist der „triangular fibrocartilage disc proper“ (TFC). Dieser entspringt an dem distalen Teil des Incisura ulnaris des Radius und teilt sich in ein oberflächliches (distales) und tiefes (proximales) Blatt. Das oberflächliche Blatt sitzt am distalen Teil des Processus styloideus ulnae (PSU) an und beteiligt sich beim Aufhängen und Unterstützen des ulnaren Karpus. Das tiefe Blatt setzt an der Fovea ulnae und an der Basis des PSU an (12,13). Gemeinsam mit dem tiefen TFCC- Blatt setzen auch die palmaren ulnokarpalen Bänder an der Fovea ulnae an und gelten als Hauptstabilisator im Vergleich zu der weniger kräftigen Aufhängung des oberflächlichen Anteils. Somit spielt die foveale Insertion des TFCC eine Schlüsselrolle in der Stabilität sowohl des DRUG als auch des Ulnokarpalgelenks (3,12).

Die palmaren und dorsalen radioulnaren Bänder entspringen von den palmaren und dorsalen Rändern der Incisura ulnaris, laufen in Verbindung mit dem palmaren und dorsalen Rand des TFC und setzen in der Fovea ulnae an (Abbildung Nr.: 1).

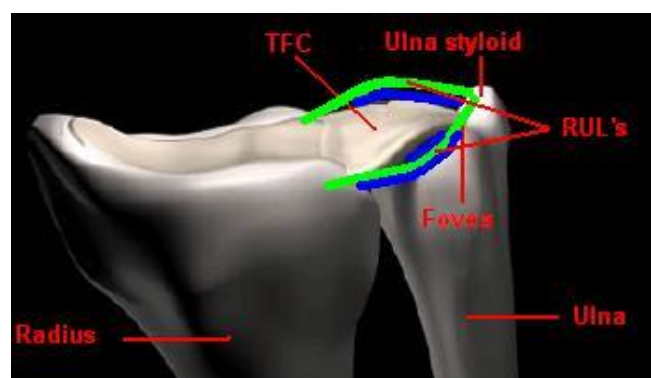


Abbildung 1: Anatomie des TFCC. TFC: triangular fibrocartilage disc proper, RUL`s: radioulnare Ligamente (radioulnare Bänder). (some rights reserved) von Elatmani von 31.10.2011.

[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anatomy\\_TFCC\\_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Anatomy_TFCC_2.jpg)

Weiterhin besteht der TFCC aus dem Meniscus ulnocarpalis (eine kleine, mit Synovia überzogene Bindegewebs Scheibe), der gut durchblutet dem oberflächlichen Anteil des TFCC nach distal aufsitzt und den ulnaren Teil des ulnokarpalen Gelenks distal vom PSU füllt (11,13).

Nach Atzei verbindet sich das ulnokarpale Kollateralband mit dem oberflächlichen TFCC-Blatt als eine „Hängematte“, die den Ulnakopf polstert (12). Zusätzlich beschreibt Atzei das Erscheinungsbild des TFCC als „iceberg concept“: Die Spitze des Eisberges ist sichtbar während der radiokarpalen Arthroskopie und repräsentiert den Teil des TFCC, der als Stoßdämpfer fungiert. Dieser Teil ist deutlich kleiner im Vergleich zur fovealen Insertion (dem untergetauchten Teil), welche die Hauptfunktion als Stabilisator des DRUG und des ulnaren Karpus ist. (12).

Die vaskuläre Versorgung des TFCC über Äste der A. ulnaris und der A. interosseus anterior erfolgt über den Processus styloideus ulnae und der Fovea ulnae. Die Einsprossung der Gefäße erfolgt von peripher und gewährleistet die Durchblutung des äußeren Randes und damit nur ca. 15% des TFCC. Zentrale Anteile des TFCC sind avaskulär (9). Heilungschancen und operative Rekonstruktionen mit Potenzial zur Heilung sind dementsprechend vorwiegend bei ulnarseitigen und/oder peripheren Läsionen zu erwarten (12).

### **1.3 TFCC- Läsionen**

#### **1.3.1 Anamnese**

Die Differenzialdiagnose für ulnare Handgelenkschmerzen beinhaltet: TFCC- Läsionen, Frakturen, Luxationen, Bandverletzungen, Knochennekrosen, degenerative Veränderungen im DRUG und im ulnaren Karpus (14). Bei TFCC- Läsionen klagen die Patienten in der Regel über Schmerzen im ulnaren Kompartiment des Handgelenks bei axialer Belastung bzw. mit Rotationsbewegungen, wie zum Beispiel beim Aufschrauben einer Flasche, dem Aufstehen mit Unterstützung an einer Armlehne, dem Öffnen größerer Schraubenverschlüsse oder dem Betätigen eines schweren Türgriffs. Zusätzlich klagen die Patienten nicht selten über Schwellungen, Kraftminderungen, Bewegungseinschränkungen und Instabilitätsgefühle im Handgelenk (15). Degenerative TFCC- Läsionen sind häufig die Folge der repetitiven Überlastung des ulnaren Handgelenks. Die traumatischen TFCC- Läsionen sind eher die Folge eines Verdrehtraumas oder Sturzes auf das Handgelenk in Überstreckung und Pronation (9,14).

### 1.3.2 Klinische Untersuchung

Diese sollte im immer Seitenvergleich stattfinden. Bei der Inspektion werden mögliche Schwellungen, Wunden, Atrophie, dystrophe Veränderungen und Narben erfasst. Die klinische Untersuchung zeigt meistens Druckschmerzen in der Fovea ulnae, und Schmerzen bei forcierter passiver Ulnardeviation, bei aktiver Pronation/Supination gegen Widerstand (Schraubendreher Test) (7) und beim TFCC- Provokationstest. Im Letzteren wird das Handgelenk durch den Untersucher in eine maximale ulnare Deviation gebracht und dann aus der vollen Supination in die Pronation gedreht (9). (Abbildung Nr.: 2). Bestandteile jeder Untersuchung sollten die Kraftmessung, der aktive und passive Bewegungsumfang „rang of motion“ (ROM) und die DRUG- Stabilität sein.



Abbildung 2: TFCC- Provokationstest

#### Die DRUG- Stabilität:

Die Beurteilung der Stabilität ist von der Erfahrung des Untersuchers und von der Compliance des Patienten abhängig und muss ebenfalls im Seitenvergleich durchgeführt werden (9). Beim „Piano key sign“ wird der Unterarm und die Hand auf den Tisch gelegt. Bei einer DRUG- Subluxation kann der nach dorsal prominente Ulnakopf durch den Untersucher nach palmar reponiert werden. Nach der Beendigung des Drucks luxiert der Ulnakopf wieder nach dorsal. Die dorsale Subluxation kann ebenso beobachtet werden, wenn der Patient das gestreckte Handgelenk auf dem Tisch aktiv nach unten drückt. Vor allem die Hypermobilität des Ulnakopfes wird dabei beurteilt (9). Im „Ballottement Test“ wird die beidseitige Untersuchung der DRUG- Stabilität bei Fixierung des Radius durch den Untersucher und eine anterioposteriore Bewegung des Ulnakopfes durchgeführt. Dabei wird das Translationsausmaß, die Stabilität und etwaige Schmerzen bei dem Manöver ersichtlich (11).



### Fovea ulnae- Zeichen:

Der Untersucher drückt mit dem Daumen in die Fovea ulnae, welche zwischen der Flexor carpi ulnaris (FCU)- Sehne palmar, dem palmaren Ulnakopf proximal und dem Os pisiforme distal liegt. Fovea ulnae- Zeichen ist positiv bei Druckschmerzen in der Fovea ulnae im Seitenvergleich. Tay et al fand, dass dieser Test auf einen ansatznahen Abriss der radioulnaren Bänder und/oder dem lunotriquetralen Band mit Sensibilität von 95,2 % und Spezifität von 86,5 % hindeutet (16).

### Press-Test:

Der Patient drückt beim Aufstehen mit beiden Händen auf die Sitzfläche bzw. Armlehne des Stuhls. Bei Schmerzen am Ulnakopf ist der Test positiv. Die Sensitivität und Spezifität sind 100 % bezüglich einer TFCC-Läsion nach Lester et al (5).

### Push- off-Test:

Bei diesem Test wird die maximale Belastung der oberen Extremität durch den axialen Druck des Patienten auf den Griff des Dynamometers quantitativ gemessen (7). Die messbare Werte helfen zusätzlich bei der Nachkontrolle.

## **1.3.3 Radiologie**

Die Diagnose der Schmerzen im ulnaren Handgelenk ist eine Herausforderung für die Radiologen, aufgrund der kleinen und komplexen anatomischen Strukturen in diesem Bereich (13- 17).

Bei chronischen ulnaren Handgelenkschmerzen sind die neutrale postero-anterioren Handgelenkröntgenaufnahmen zur Beurteilung der Ulna- Varianz hilfreich. Die Ulna- Varianz bezieht sich auf den Längenunterschied der distalen Gelenkflächen des Radius und der Ulna (18). Die Varianz beeinflusst die Kraftübertragung auf das Handgelenk und ist an mehreren Pathologien des Handgelenks beteiligt. Eine positive Ulna- Varianz spielt eine große Rolle bei degenerativen TFCC- Läsionen und beim Ulna Impaktationssyndrom aufgrund der inversen Relation zwischen Ulna-Länge und die Dicke des TFCC (4). Die lateralen Handgelenkröntgenaufnahmen sind zur Beurteilung des DRUG wichtig, zur Erkennung einer Sub-/ Luxation.

Die Kernspintomographie (MRT) kann bei der Diagnose hilfreich sein, hat aber eine begrenzte Sensibilität und Spezifität. Die Kernspinarthrographie (MRA) scheint der konventionellen MRT geringgradig überlegen zu sein, ist aber invasiv und nicht überall verfügbar (19).

### 1.3.4 Arthroskopie

Die Arthroskopie ist der Goldstandard der Diagnostik, Klassifikation und Therapie der TFCC-Läsionen (9,15). Im Radiokarpalen Gelenk kann das oberflächliche TFCC-Blatt visualisiert werden. Der Trampolin Test (Beurteilung des federnden Widerstands des TFCC durch den Tasthaken) ist bei Läsion des oberflächlichen oder tiefen TFCC-Blattes aufgehoben und wird dann als positiv beurteilt. Die Beurteilung der Stabilität des tiefen TFCC-Blattes erfolgt durch den Hook Test mit Zug am ulnaren TFCC-Rand. Der Test ist positiv, wenn der TFCC bis zur Mitte des radiokarpalen Gelenkes verschiebbar ist. Nach Atzei ist ein positiver Hook Test ein essentieller Indikator für einen fovealen Abriss, sodass eine zusätzliche DRUG-Arthroskopie nicht zwingend erforderlich ist (12).

Bei der Arthroskopie kann auch eine mögliche begleitende Chondromalazie festgestellt werden und somit zusätzliche therapeutische Maßnahmen durchgeführt werden, z. B. zum Débridement des avitalen TFCC, zur partiellen Synovialektomie und zur Refixierung des ulnaren peripheren Anteils.

### 1.3.5 Klassifikation

Palmer et al haben 1989 eine Klassifikation für TFCC-Läsionen veröffentlicht. Traumatische Läsionen (Klasse 1) werden nach Lokalisation und degenerative Läsionen (Klasse 2) werden nach Lokalisation und Schwere der Degeneration klassifiziert (14).

#### Klasse 1: traumatisch:

- 1A: Zentraler Riss
- 1B: Ulnarseitiger Riss (ggf. mit PSU-Abriss)
- 1C: Distaler Riss (im Bereich der ulnolunären und ulnotriquetralen Bänder)
- 1D: Radialer Riss (ggf. Fraktur der Incisura ulnaris)

#### Klasse 2: degenerativ:

- 2A: Ausdünnung des TFCC
- 2B: Ausdünnung des TFCC
  - + Knorpelläsionen an Mondbein und/oder Ulnakopf
- 2C: Perforation des TFCC
  - + Knorpelläsionen an Mondbein und/oder Ulnakopf
- 2D: Perforation des TFCC
  - + Knorpelläsionen an Mondbein und/oder Ulnakopf
  - + Riss des lunotriquetralen Bandes
- 2E: Perforation des TFCC
  - + Knorpelläsionen an Mondbein und/oder Ulnakopf

- + Riss des lunotriquetralen Bandes
- + Ulnokarpale Arthritis

Atzei veröffentlichte 2011 eine therapeutisch- orientierte Klassifikation der peripheren TFCC- Läsionen und des Processus styloideus ulnae abhängig von klinischen, radiologischen und arthroskopischen Befunden (12). (Tabelle Nr. 1).

<b>Klassifikation</b>	<b>Hook Test</b>	<b>Trampolin Test</b>	<b>DRUG „ballotement test“</b>	<b>Therapie</b>
<b>Klasse 0</b> (isolierte PSU Fraktur ohne TFCC Ruptur)	negativ	negativ	stabil	konservativ
<b>Klasse 1</b> (distaler Ruptur)	negativ	positiv	leicht instabil/ hyperlaxes Gelenk	konservativ/ TFCC- Kapselnaht
<b>Klasse 2</b> (kompletter Ruptur)	positiv	positiv	instabil	foveale Refixierung
<b>Klasse 3</b> (proximaler Ruptur)	positiv	negativ	instabil	foveale Refixierung
<b>Klasse 3A</b> (PSU Basisfraktur)	positiv	negativ	instabil	PSU Fixierung
<b>Klasse 4</b> (nicht reparabel)	positiv	positiv	instabil	DRUG Stabilisierung
<b>Klasse 5</b> (DRUG Arthritis)	variabel	variabel	variabel	Resektionsarthroplastik/ Prothesenimplantation

Tabelle 1: Atzei Klassifikation der peripheren TFCC- Läsionen (12)

### 1.3.6 WristWidget® Orthese

Das WristWidget® wurde 2006 von Frau Wendy Medeiros, Hand- Therapeutin in ihrer Handklinik auf Hawaii, USA entwickelt. Diese Orthese besteht aus zwei parallelen Velour-Streifen mit Klettverschlüssen. Die Streifen umfassen proximal und distal den Ulnakopf am distalen Unterarm, stabilisieren das DRUG und halten einen stabilen Abstand zwischen dem Ulnakopf und der proximalen Handwurzelknochen bei Belastung ein. Sie wurde zur

Behandlung für Patienten mit TFCC-Läsionen entwickelt mit dem Vorteil der Schmerzlinderung mit nur geringer Einschränkung der Handgelenksbeweglichkeit in der Extension und ohne Einschränkung der Unterarmumwendbewegung (Abbildung Nr.:3).



Abbildung 3: WristWidget®, Hawaii, USA

### 1.3.7 Therapie

#### Degenerative Läsionen:

Die konservative Therapie ist zunächst indiziert und beinhaltet die kurzfristige Ruhigstellung, Schmerzmedikation, intraartikuläre Kortikoidinjektion, Salbenverbände und physikalische Anwendungen im Sinne von Ultraschalltherapie, Elektrotherapie, Paraffin- Bäder sowie Wärme- und Kälteanwendungen (20-21). Nach Ausschöpfung der konservativen Maßnahmen kann die Arthroskopie bei anhaltenden Schmerzen indiziert sein. Therapeutisch sollten bei zentralen Rissen die Ränder debridiert werden. Zusätzlich hilft die partielle Synovialektomie bei akuter Synovialitis zur Schmerzlinderung. Der Erfolg dieser Behandlung ist insbesondere von der Ulna- Varianz abhängig (20).

Bei neutraler oder leichter Plus-Variante der Ulna (weniger als 2 mm) ist die Wafer- Prozedur zu empfehlen. Dabei wird eine partielle Resektion (ca. 2-4 mm) vom Ulnakopf durchgeführt, um das ulnokarpale Gelenk zu entlasten (22). Bei Ulna-Plus Variante von mehr als 2 mm ist die Durchführung einer extraartikulären Ulnaverkürzungsosteotomie indiziert. Durch diese Entlastung des ulnokarpalen Gelenkes kommt es zu einer Verbesserung der Beschwerden bei jedoch langer Rekonvaleszenzzeit (23).

#### Traumatische Läsionen:

Die traumatischen zentralen Läsionen (Palmer 1 A) führen nicht zur DRUG- Instabilität und werden konservativ durch Ruhigstellung mit anschließender Physio- und Ergotherapie behandelt. Die Klasse 1C und 1D-Verletzungen palmar und radial können bei größerem Ausmaß ebenfalls zur Instabilität des DRUG führen und sind dann meist vergesellschaftet mit ausgedehnteren Verletzungen (gelenkbeteiligende mehrfragmentäre distale

Radiusfraktur). Die ulnaren peripheren Läsionen (Palmer 1B) können zur DRUG- Instabilität führen und benötigen ggfs. die operative Therapie und richtet sich nach der Klassifikation von Atzei (12):

**Klasse 0 (isolierte PSU Fraktur ohne TFCC- Ruptur):** Die Verletzung benötigt ohne Dislokation keine chirurgische Stabilisierung.

**Klasse 1 (distaler Ruptur, oberflächliches Blatt):** hier ist operative Therapie nicht zwingend indiziert (11).

**Klasse 2 (kompletter periphere Ruptur):** Die Verletzung beinhaltet den kompletten Abriss des oberflächlichen und tiefen Blattes mit oder ohne knöchernen PSU-Abriss. Hier ist die Refixierung des fovealen Ansatzes mit transossärer Naht oder einem Knochenanker indiziert und kann offen oder arthroskopisch erfolgen.

**Klasse 3 (proximaler Ruptur, tiefes Blatt):** die Refixierung des fovealen Ansatzes ist wie in Klasse 2 indiziert. **In Klasse 3 A (PSU Basisfraktur)** ist die PSU Stabilisierung empfohlen.

**Klasse 4 (nicht reparabel):** Bei guten Knorpelverhältnisse im DRUG ist die Rekonstruktion durch eine Bandplastik (z. B. DRUG- Stabilisierung nach Adams) indiziert.

**Klasse 5 (DRUG Arthritis):** TFCC -Rekonstruktion ist nicht sinnvoll, stattdessen erfolgt die Resektionsarthroplastik oder Prothesenversorgung.

### **1.3.8 Der Zeitpunkt der Rekonstruktion:**

Der Zeitpunkt der Rekonstruktion spielt eine wichtige Rolle in der Heilung: Die akuten Verletzungen (bis 3 Monate nach Trauma) haben ein gutes Heilungspotenzial. Die subakuten Verletzungen (3-6 Monate nach Trauma) haben weniger Heilungspotenzial, da die Fovea ulnae fibrotisch und sklerotisch wird und die rupturierten Ränder sich degenerativ verändern (12,24). Die chronischen Verletzungen (mehr als 6 Monate nach Trauma) haben ein schlechtes Heilungspotenzial (12). Mathoulin beschreibt nach Anfrischen der Insertion eine Heilung mit gutem Ergebnis allerdings auch bis zu zwei Jahren nach dem Trauma (24).

### **1.4 Ziel der Studie**

Die verbleibenden Belastungsschmerzen im Handgelenk nach TFCC- Läsion sind ein wichtiger Faktor für die lange Arbeitsunfähigkeit. Insbesondere solche mit einer Instabilität behafteten Läsionen frühzeitig zu erkennen ist essentiell für die weitere Behandlung und Dauer der Arbeitsunfähigkeit. Zusätzlich schränken traditionelle Handgelenkorthesen die Beweglichkeit ein und haben keinen Einfluss auf die DRUG- Stabilität (25).

Mit dem Vorteil des Erhalts der Beweglichkeit und der empfohlenen Anwendung spezifisch

bei TFCC-Läsionen wurde in unserer Studie retrospektiv die Wirkung der Handgelenkorthese WristWidget® auf die Belastung der oberen Extremität bei den Patientinnen und Patienten analysiert, die eine bestätigte TFCC-Läsion in der Arthroskopie hatten. Es wurde getestet, ob man den Wirkungseffekt zur Prognose der Verletzungsschwere und -art nutzen kann.

## **2. Material und Methoden**

### **2.1 Studiendesign**

Die Studie ist eine retrospektive Studie. Eingeschlossen und untersucht wurden alle Patienten des Unfallkrankenhauses Berlin aus dem Jahr 2019 die aufgrund einer vermuteten TFCC-Läsion zur Arthroskopie geplant wurden. Sie erhielten eine präoperative Untersuchung. Für die Datenauswertung wurden die Fälle eingeschlossen, die eine TFCC-Läsion zeigten. Eingeschlossen wurden 23 Patienten. Alle Patienten haben ihre Einverständniserklärung schriftlich erteilt. Die Studie wurde nach Zustimmung der Ethikkommission der Universitätsmedizin Greifswald (BB103/19) durchgeführt.

### **2.2 Datenerhebung**

#### **2.2.1 Anamnese**

Folgende Daten wurden erhoben: Alter der Patienten, zeitlicher Beginn der Beschwerden, Anamnese (degenerativ oder traumatisch), Händigkeit, Seite der Verletzung, Zeitintervall vom Beginn der Beschwerden bis zum Untersuchungstag, Arbeitsverhältnis und der DASH Score (26).

#### **2.2.2 Klinische Messwerte**

Es wurden folgende Mess- und Untersuchungsdaten erhoben: Body mass index (BMI), aktiver Handgelenk- Bewegungsumfang „range of motion“ (ROM), Summe der Unterarm-Umwendbewegung (Supination+Pronation), Grobkraft (Jamar Dynamometer), Fovea ulnae-Zeichen, Schmerzen bei forcierter Pronation, Schmerzen bei forcierter Supination, Schmerzen bei forcierter Ulnardeviation, TFCC- Provokationstest und die DRUG- Stabilität.

#### **2.2.3 Belastungstest**

Wir führten den Test präoperativ mit und ohne Handgelenkorthese (WristWidget®, Hawaii, USA) durch (Abbildung Nr.:4). Im Belastungstest steht der Patient vor einer analogen Waage, legt die Hand auf der Mitte der Waage mit gestrecktem Arm und drückt auf der Waage mit dem gesamten Körpergewicht bis die Schmerzen auf der verletzten Seite nicht mehr

tolerabel sind. Ebenso auf der gesunden Seite bis die maximale Belastbarkeit erreicht ist (Abbildung Nr.: 4,5). Wir benutzten eine Waage der Firma Waagen-Schmidt GmbH, Modell BM 702, CE: 17.05.



Abbildung 4: Belastungstest ohne WristWidget®



Abbildung 5: Belastungstest mit WristWidget®

## 2.2.4 Radiologie

Alle Patienten erhielten präoperativ eine Handgelenkröntgenaufnahme in zwei Ebenen (posterior-anterior und lateral). Bei vorliegendem MRT wurde die Läsion zwischen traumatisch und degenerativ klassifiziert. Zusätzlich wurde die dynamische Ulna- Varianz durch einen modifizierten Belastungstest an beiden Unterarmen gemessen. In diesem Test drückt der Patient über einen selbstentwickelten Holzbarren während der Belastung der oberen Extremität auf die Waage, welche auf dem Tisch steht. Unter maximaler Belastung wurde eine posterior-anterior- Aufnahme durchgeführt (Abbildung Nr.: 6,7).



Abbildung 6: modifizierter Belastungstest



Abbildung 7: Röntgen bei modifiziertem Belastungstest

### 2.2.5 Operative Befunde

Die operativen Befunde wurden dokumentiert: Zum einen die Art der Läsion (traumatisch oder degenerativ), zum anderen die Klassifikation der Läsion nach Palmer sowie die therapeutischen Maßnahmen (TFCC-Refixierung, Wafer-Prozedur, Ulna- Verkürzung).

### 2.2.6 Statistische Methoden

Die Bestimmung der Variablenverteilung wurde durch Kolmogorov-Smirnov-Test und durch Q-Q Plot durchgeführt. Die normal verteilte Werte wurden mit dem Mittelwert und dem 95 %-Konfidenzintervall (CI) des Mittelwertes und der Standardabweichung (SD) dargestellt. Die nicht normal verteilte Werte wurden mit Median und Interquartilsabstand (IQR) dargestellt. Für normal verteilte Werte verwendeten wir den verbundenen t-Test zum Vergleich der betroffenen Hand mit der gesunden (Kontroll-) Hand und den verbundenen t-Test zum Vergleich zwischen Patienten.

Kategoriale Variablen wurden mit „Fisher's Exact“ für weniger als fünf zu erwartenden Zählungen getestet. Der p-Wert von  $\leq 0.05$  wurde als signifikant beurteilt und wurde bei Mehrfachvergleichen für die Haupthypothese angepasst. Für die Untergruppenanalyse wurden nur p-Werte ohne Aussage über die Signifikanz angegeben. Da nicht alle Tests für jeden Patienten durchgeführt wurden, wurde die Anzahl der eingeschlossenen Fälle für die statistischen Tests dargestellt.

Die Übereinstimmung zwischen dem MRT-Befund und dem intraoperativen Befund bezüglich der Differenzierung über die Art der Läsion wurde durch Cohen's Kappa bestimmt.



### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Werte der klinischen Untersuchung

Es wurden 14 weibliche und 9 männliche Patienten eingeschlossen. Das mittlere Alter war zu Beginn der auftretenden Beschwerden 45 Jahre (SD 13). Das Zeitintervall vom Beginn der Beschwerden bis zum Untersuchungstag hat einen Mittelwert von 214 Tagen (IQR 235). Der präoperative Mittelwert des DASH Score war 47 (CI 38-56, SD 17).

Alle Patienten waren Rechtshänder. Die Läsion befand sich bei 15 Patienten auf der dominanten Seite. Eine traumatische Anamnese der Läsion lag in 16 Fällen vor. Am Tag der Untersuchung berichteten die Patienten über Schmerzen bei forcierter Pronation in 14 Fällen (61 %), bei forcierter Supination in 19 Fällen (83 %) und bei forcierter Ulnardeviation in 18 Fällen (78 %). Die Fovea ulnae- Zeichen waren in 13 Fällen (57 %) positiv. Im präoperativen Röntgen lag eine statische Ulna plus- Varianz bei 5 Patienten vor, bei 9 Patienten eine neutrale Länge und bei 9 Patienten eine Ulna minus-Varianz. Die Werte der klinischen Untersuchung sind in der Tabelle Nr. 2 dargestellt.

Klinischer Test	Verletzte Hand		Kontrollhand		p	n
	Mittelwert (SD)	CI	Mittelwert (SD)	CI		
Grobkraft (kg)	22 (12)	17-27	34 (11)	29-39	<0,001	22
ROM (°)	153 (32)	138-167	190 (23)	180-200	<0,001	22
Pro./Sup. (°)	156 (18)	148-164	169 (5)	167-171	0,005	22
Dynamische Ulna-Varianz (mm)	0,42 (0,7)	0,07-0,78	1,19 (0,9)	0,77-1,6	0,003	18
Belastung (kg)	16 (9)	12,2-19,8	36 (12)	30,8-41,5	<0,001	23

**Tabelle 2: Werte der klinischen Untersuchung**

ROM: Summe der Extension/Flexion/Ulnardeviation/Radialdeviation in Grad (°), verbundener t- Test; Pro./Sup.: Summe der Pronation/Supination; CI: 95%- Konfidenzintervall; SD: Standardabweichung; Statistischer Test wurde mittels „Mann-Whitney-U“ durchgeführt

#### 3.2 Werte des Belastungstests

In unserer Studie zeigte der Belastungstest signifikant geringere Werte bei der verletzten Hand (Median 17 kg, Minimum 2 kg, Maximum 32 kg) im Vergleich zur gesunden Hand (Median 34 kg, Minimum 21 kg, Maximum 75 kg) (n = 23, p < 0.001, verbundener t-Test). Mit der Orthese erreichte die verletzte Hand eine signifikant deutlich höhere Belastung (Median

20 kg, Minimum 0 kg, Maximum 35 kg) ( $n = 23$ ,  $p < 0.001$ , verbundener t-Test), konnte aber die Belastungsfähigkeit der gesunden Hand nicht erreichen ( $n = 23$ ,  $p < 0.001$ , verbundener t-Test). (Abbildung Nr.:8). Das angepasste Signifikanzniveau lag bei 0,016 durch Nutzung von Bonferroni- Korrektur bei verschiedenen Vergleichen.

Die relative Belastung der verletzten Seite im Vergleich zur gesunden Seite lag ohne Orthese bei 48 % (CI 37-60, SD 27) und erhöhte sich mit Orthese auf 59 % (CI 47-72, SD 29;  $n=23$ ,  $p < 0,001$ , verbundener t-Test). Die gesunde Seite zeigte keine signifikante Differenz der Belastung ohne Orthese 36 kg (CI 39-40, SD 13) und mit Orthese 35 kg (CI 31-42, SD 12,  $n= 22$ ,  $p= 0,325$ , verbundener t- Test).

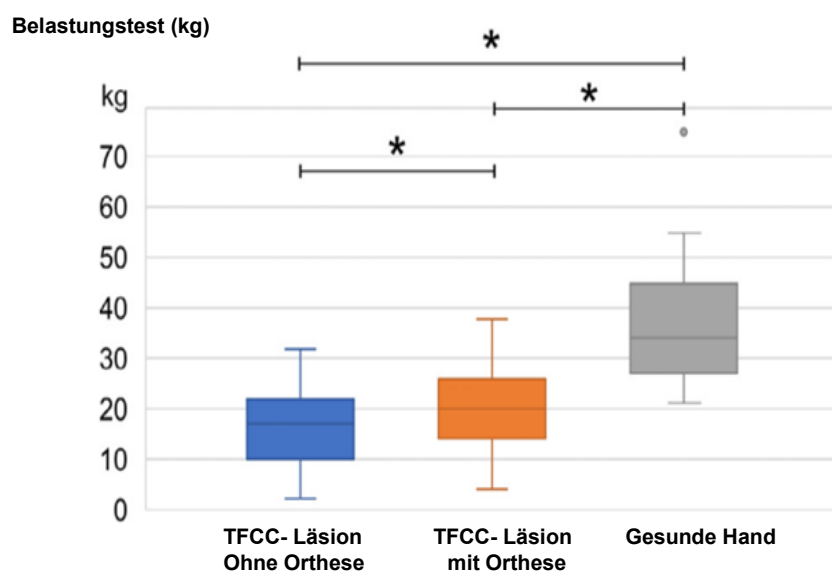


Abbildung 8: Absolute Belastungstest- Ergebnisse

### 3.3 Werte des modifizierten Belastungstests

Die maximale Belastung beim modifiziertem Belastungstest war niedriger bei der verletzten Hand 13 kg (CI 9,5-17,9, SD 8,4) im Vergleich zur gesunden Hand 23 kg (CI 17,5-28,7, SD 11,3) ( $n=18$ ,  $p < 0,001$ , verbundener t-Test). Die Belastungsfähigkeit der verletzten Hand entsprach 61 % der gesunden Hand beim Belastungstest gegenüber 54 % beim modifizierten Belastungstest. Der Unterschied war nicht signifikant ( $n= 18$ ,  $p=0,47$ , verbundener t-Test).

### 3.4 Ergebnisse der MRT Untersuchung

22 Patienten hatten präoperativ ein 1,0 oder 1,5 Tesla MRT mit Verdacht auf traumatische Läsion in 16 Fällen. Die Übereinstimmung zwischen MRT und intraoperativem Befund für die Differenzierung zwischen traumatischen und degenerativen Läsionen war moderat mit einem kappa von 0,556.

### **3.5 Ergebnisse der Röntgen- Untersuchung**

Die Ergebnisse werden nur mit dem p-Wert ohne Signifikanzschwelle angegeben, aufgrund mehrerer Vergleiche mit der gleichen Stichprobe. Im Röntgen war die dynamische Ulna-Varianz bei der verletzten Seite 0,42 mm (CI 0,07-0,78, SD 0,7) und damit geringer im Vergleich zur gesunden Seite 1,2 mm (CI 0,77-1,62, SD 0,86; n = 18, p= 0,005, verbundener t-Test).

### **3.6 Vergleich zwischen weiblichen und männlichen Patienten**

Die nachfolgenden Ergebnisse werden wie zuvor mit einem p-Wert ohne Signifikanzschwelle angegeben aufgrund mehrerer Vergleiche mit der gleichen Stichprobe: Die Grobkraft war an der gesunden Hand bei den weiblichen Patienten mit 27 kg (CI 23-32, SD 8) niedriger im Vergleich zu den männlichen Patienten mit 44 kg (CI 39-48, SD 6) (n=22, p<0,001, verbundener t-Test). An der verletzten Hand waren die Werte der Frauen niedriger mit 17 kg (CI 12-23, SD 9) im Vergleich zu den Männern mit 29 kg (CI 19-39; n=22, p= 0,027, verbundener t-Test). Das spiegelt sich im Belastungstest der gesunden Seite wieder mit niedrigeren Werten bei den weiblichen Patienten mit 30 kg (CI 26-33, SD 5) und höheren Werten bei den männlichen Patienten mit 45 kg (CI 34-56, SD 15; n = 23, p= 0.002, verbundener t-Test). Auf der verletzten Seite lagen die Messwerte bei den Frauen bei 15 kg (CI 9-20, SD 9) und bei den Männern bei 19 kg (CI 12-25, SD 9; n = 23, p= 0.231).

Die weiblichen Patienten zeigten eine signifikant geringere Erhöhung der Absolutwerte der Belastung an der verletzten Hand mit 2,8 kg (CI 2,0-3,7, SD 1,4) im Vergleich zu den männlichen Patienten mit 5,4 kg (CI 3,2-7,7, SD 2,9; n = 23, p=0,10), aber keinen Unterschied des relativen Anstiegs (weiblich 34 %, CI 12-55, SD 36, männlich 41 % CI 13-69, SD 37; n = 23, p=0,642).

### **3.7 Vergleich zwischen stabilem und instabilem DRUG**

Der Vergleich zwischen Patienten mit stabilem und instabilem DRUG ist in der Tabelle 3 dargestellt. Die Differenzierung erfolgte prä- und intraoperativ, wobei 12 Patienten eine instabiles DRUG aufwiesen und eine operative Stabilisierung benötigten.

Die relative Belastung der verletzten Hand im Vergleich zur gesunden Hand stieg bei instabilem DRUG von 35 % (CI 20-49, SD 23) ohne Orthese auf 46 % (CI 47-72, SD 29) mit Orthese. Bei stabilem DRUG stiegen die Werte von 62 % (CI 47-79, SD 24) ohne Orthese auf 73 % (CI 56-90, SD 25) mit Orthese.

DRUG	Instabil n=12		Stabil n=11		p	n
	Mittelwert (SD)	CI	Mittelwert (SD)	CI		
Alter (Jahre)	45 (11)	37-52	47 (14)	38-57	0,631	23
DASH	46 (19)	32-59	48 (14)	34-63	0,798	16
Grobkraft verletzte Hand (kg)	18,6 (8)	13-24	25,4 (15)	15-35	0,201	22
Belastung verletzte Hand (kg)	11,3 (6,0)	7,5-15,2	21,1 (8,6)	15,3-26,9	0,005	23
Belastung mit Orthese (kg)	15,5 (6,7)	11,2-19,7	24,7 (9,5)	18,4-31,1	0,013	23
Absoluter Gewinn mit Orthese (kg)	4,1 (2,6)	2,4-5,8	3,6 (2,2)	2,1-5,1	0,580	23
Relativer Gewinn mit Orthese im Vergleich zur Kontrollhand (%)	47,8 (38)	24-72	24,7 (27)	7-43	0,113	23
Belastung verletzte Hand bei Röntgen (kg)	10,4 (5,7)	0,4-1,8	17,0 (0,7)	0,7-1,9	0,100	18
Dynamische Ulna-Varianz (mm)	0,36 (5,7)	0,3-0,74	0,49 (0,9)	0,21-1,18	0,704	18
Zeitintervall Beschwerdebeginn/Untersuchung (Tage) *	Median	IQR	Median	IQR		
	172,5	232	257	542	0,379	23

**Tabelle 3: Vergleich zwischen stabilem/instabilem DRUG**

SD: Standardabweichung, CI: 95 %- Konfidenzintervall, IQR: Interquartilsabstand. Das Signifikanzniveau wurde aufgrund der mehreren Vergleiche in der gleichen Stichprobe nicht definiert.

\* Werte für Zeitintervall Beschwerdebeginn/Untersuchung waren normal verteilt und werden mit Median und IQR angegeben. Statistischer Test wurde mittels Mann-Whitney-U durchgeführt

### 3.8 Vergleich zwischen degenerativen und traumatischen Läsionen

Der Vergleich zwischen Patienten mit degenerativen und traumatischen Läsionen, die durch Arthroskopie differenziert wurden, ist in der Tabelle 4 dargestellt. 10 von 16 Patienten mit einer traumatischen Läsion und 2 von 7 mit einer degenerativen Läsion hatten ein instabiles DRUG.

Die relative Belastung der verletzten Hand mit einer traumatischen TFCC-Läsion im Vergleich zur gesunden Hand stieg von 40 % (CI 26-53, SD 26) ohne Orthese auf 51 % (CI 36-66, SD 28) mit der Orthese. Die relative Belastung stieg mit einer degenerativen Läsion von 68 % (CI 49-87, SD 21) ohne Orthese auf 78 % (CI 58-98, SD 21) mit Orthese.

Die statische Ulna- Varianz war in unserer Untersuchung nicht assoziiert mit traumatischen oder degenerativen Läsionen (n = 23, p= 0,193, Fisher's exact).

Arthroskopischer Befund	Traumatisch n=16		Degenerativ n=7		p	n
	Mittelwert (SD)	CI	Mittelwert (SD)	CI		
Alter (Jahre)	42 (12)	35-48	55 (9)	47-63	0,16	23
DASH	44 (18)	33-55	56 (10)	40-71	0,232	16
Grobkraft verletzte Hand (kg)	19 (12)	12-25	29 (9)	21-37	0,050	22
Belastung verletzte Hand (kg)	13 (7)	9-17	23 (8)	16-30	0,008	23
Belastung mit Orthese (kg)	17 (8)	13-21	27 (9)	19-35	0,016	23
Absoluter Gewinn mit Orthese (kg)	4 (2,6)	2,6-5,4	3,7 (2)	1,9-5,5	0,823	23
Relativer Gewinn mit Orthese im Vergleich zur Kontrollhand (%)	45,2 (38)	25-66	16,6 (6)	11-22	0,009	23
Belastung verletzte Hand bei Röntgen (kg)	11 (6)	7-16	17 (11)	8-27	0,141	18
Dynamische Ulna-Varianz (mm)	0,28 (0,7)	0,19-0,75	0,64 (0,7)	0,03-1,32	0,309	18
Zeitintervall Beschwerdebeginn/Untersuchung (Tage) *	Median	IQR	Median	IQR	0,006	23
	173	185	382	764		

**Tabelle 4: Vergleich zwischen traumatischen/ degenerativen TFCC- Läsionen**

SD: Standardabweichung, CI: 95 %- Konfidenzintervall, IQR: Interquartilsabstand. Das Signifikanzniveau wurde aufgrund der mehreren Vergleiche in der gleichen Stichprobe nicht definiert.

\* Werte für Zeitintervall Beschwerdebeginn/Untersuchung waren normal verteilt und werden mit Median und IQR angegeben. Statistischer Test wurde mittels Mann-Whitney-U durchgeführt

## **4. Diskussion**

### **4.1 Anwendung des Belastungstests**

Die Untersuchung der Belastbarkeit der oberen Extremität wurde in der Literatur zuerst durch den Press-Test untersucht (5). Danach kam der Push-Off Test zur Objektivierung und zur Nachkontrolle (6,7). Wir benutzten in unserer Studie eine analoge Waage, welche günstig in der Anschaffung ist und die maximale erreichbare Belastungsfähigkeit (dynamischer Test) gut ablesbar und vergleichbar einfach messen lässt. Die zwei parallelen Velour- Streifen umfassen proximal und distal den Ulnakopf am distalen Unterarm, stabilisieren das DRUG und halten einen stabilen Abstand zwischen dem Ulnakopf und der proximalen Handwurzelknochen bei Belastung ein.

Wir haben in unserer Studie festgestellt, dass die Anlage der WristWidget®- Orthese und die Durchführung des Belastungstests unkompliziert für die Patienten ist. Der Test selbst ist nicht zeitaufwändig und kann im Rahmen der klinischen Untersuchung durchgeführt werden.

### **4.2 Diskussion der Ergebnisse des Belastungstests**

Die Absolutwerte des Belastungstestes lagen in unserer Untersuchung zwischen 27 und 54 kg. Bei den Männern im Vergleich höher als bei den Frauen. Eine Abhängigkeit von Größe und Gewicht, möglicherweise auch von Muskelkraft und Alter kann postuliert werden, könnten aber nur in eine größeren Untersuchungsgruppe herausgearbeitet werden. Unterschiede zwischen dominanter und nicht-dominanter Hand konnten wir anhand unserer Daten nicht feststellen.

Entsprechend unseren Ergebnissen hat sich die Belastbarkeit des verletzten Handgelenks bei TFCC- Läsion nach Anlage der WristWidget®- Orthese signifikant erhöht. Erklären lässt sich dies wahrscheinlich durch die externe Stabilisierung mittels der verstärkten Velourstreifen proximal und distal des Ulnakopfes. Der Ulnakopf wird dadurch gegenüber dem ulnaren Karpus fixiert und scheint darüber die Kräfte bei Belastung und Verminderung der Beweglichkeit auf den TFCC abzufangen. Dies führt zur konsekutiv zu einer Reduzierung der Schmerzen und Erhöhung der Belastungsfähigkeit. In Bezug auf die dorsalen Handgelenkschmerzen bei axialer Belastung fand Kim et al 2019 ebenfalls heraus, dass karpal stabilisierendes Taping diese Schmerzen lindert und die Handgelenkextension verbessert. Über eine Einschränkung der Extension sowohl im mediokarpalen Gelenk als auch der Supination/Pronation der proximalen Handwurzelknochen durch die angelegten Tapes, erklären die Autoren die Schmerzreduktion (27). Ähnlich wie ein dorsal angelegtes

Tape reduziert auch die WristWidget®-Orthese durch den distalen Velourstreifen die Extension im Handgelenk und trägt darüber möglicherweise ebenfalls bei, die Schmerzen zu reduzieren und die Belastbarkeit zu erhöhen.

Die WristWidget® Orthese ergab keinen Einfluss auf die Belastung der Kontrollhand.

Die Untersuchung der Belastungsfähigkeit mit und ohne WristWidget® zeigt entsprechend unserer Ergebnisse eine hohe Sensitivität für TFCC-Läsionen. Untersuchungen größerer Patientengruppen auch mit anderen Pathologien am ulnarseitigen Handgelenk werden erst darüber Aufschluss geben, ob sich auch die Spezifität als hoch erweist.

Tay et al fand, dass das Fovea ulnae- Zeichen auf einen ansatznahen Abriss der radioulnaren Bänder und/oder LT Bandes mit einer Sensitivität von 95,2 % und Spezifität von 86,5 % hindeutet (13). Der Press-Test hat nach Lester et al eine Sensitivität und Spezifität von 100 % bezüglich einer TFCC-Läsion (5). Dieser Test signalisiert sehr zuverlässig eine TFCC-Läsion, ist jedoch nicht quantifizierbar. Bei positivem Ausfall, sollte es aber ein Grund zur Erweiterung der Diagnostik sein. Die Kernspintomographie (MRT) hat eine begrenzte Sensitivität und Spezifität. Die 1,5 T - MRT hat nach Boer et al 2018 eine Sensitivität von 71 %, eine Spezifität von 75 % und eine Genauigkeit von 73 %. Die 3,0 T - MRT hat eine Sensitivität von 73 %, Spezifität von 67 % und Genauigkeit von 70 % (19). Die Kernspinarthographie (MRA) scheint der konventionellen MRT gering überlegen zu sein, aber ist invasiv, nicht in jeder radiologischen Abteilung verfügbar und mit zusätzlichen Kosten verbunden (19).

#### **4.3 Diskussion der Ergebnisse des modifizierten Belastungstests**

Mit dem Ziel der radiologischen Dokumentation eine vermehrte Instabilität des DRUG bei TFCC-Läsionen darzustellen wurde ein modifizierter Belastungstest durchgeführt.

Zhu et al 2018 fand in seiner Kadaver-Studie, dass die dynamische Ulna- Varianz mit dem Durchschneiden des TFCC- Ansatzes an Fovea ulnae steigt und dadurch zur vermehrten Instabilität führt (3).

Ozer et al fand 2018 bei der Beurteilung des Einflusses der axialen Belastung auf die dynamische Ulna- Varianz bei Menschen ohne Handgelenkbeschwerden eine Steigerung von 0,4 mm bei einer Belastung von 18,1 Kg und bei Menschen mit ulnaren Handgelenkschmerzen eine Steigerung von 0,8 mm. Eine Steigerung von mehr als 1mm im Vergleich zur kontralateralen Seite war mit intraartikulär bestätigten Pathologien verbunden (8). In unserer Studie konnten wir die Ergebnisse nicht reproduzieren.

Allerdings unterschied sich der Versuchsaufbau in unserer Studie. Zur besseren radiologischen Darstellung wurde die Belastung der Hand anstatt auf einem weichen Kissen wie bei Ozer et al, bei uns durch einen Griff um einen Holzbarren ersetzt. Dies führte eine Verkipfung des Karpus nach radial und in Pronation wodurch es zu einer relativen Verlängerung der Ulna im Verhältnis zum Radius kam (25). Obwohl eine reduzierte Fähigkeit der Stabilisierung des DRUG in dieser Position denkbar wäre, konnte im Gegensatz zu Ozers Untersuchung bei unseren Fällen mit arthroskopisch nachgewiesener vermehrter Instabilität nur eine sehr geringe dynamische Ulna-Varianz gemessen werden. Im gesunden Handgelenk hingegen war die dynamische Ulna-Varianz entgegen den Erwartungen größer. Des Weiteren zeigte sich bei unseren Patienten in den meisten Fällen keine Belastungsfähigkeit über 18 Kg im modifiziertem Belastungstest, die aber bei Ozer et al erreicht wurde. Die fehlende Kraftentfaltung ist ebenfalls am ehesten auf die veränderte Handposition während der Untersuchung zurückzuführen. Trotzdem zeigte sich das relative Verhältnis der Absolutwerte zwischen der verletzten und kontralateralen Hand nahezu identisch zum standardisiertem Belastungstest und somit verwertbar.

Postulieren könnte man, dass durch die veränderte Karpusstellung sämtliche Anstrengung auf die Stabilisierung des DRUG genutzt wurde und sich dadurch die Gesamtbelastungsfähigkeit verringerte. Besonders instabile Gelenksituationen werden somit vermehrt mit Muskelkraft unterstützt und eine dynamische Verschiebung der Ulna eher unterdrückt. Eine weiche Polsterung wie bei Ozer gewährleistet im Gegensatz dazu eher ein freies Schwingen des distalen Ulnakopfes ohne Anwendung vermehrter Kraftanstrengung zur Stabilisierung.

Die statische Ulna- Varianz hatte in unserer Studie keinen Einfluss auf die klinischen Befunde bei allerdings geringer Patientenanzahl. Vergleichbar fand Mwaterura et al 2019 in einer prospektiven Studie über das Ulnaimpaktionsyndrom keine Unterschiede in der statischen Ulna- Varianz zwischen der symptomatischen und der kontralateralen Hand (23).

#### **4.4 Diskussion der Ergebnisse des stabilen und instabilen DRUG**

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Belastung ohne Orthese bei instabilem DRUG geringer als bei stabilem DRUG ist. Mit Orthese verbessert sich die Belastung in beiden Fällen. Der relative Gewinn ist bei instabilem DRUG größer als bei stabilem DRUG. Dementsprechend ist bei Nachweis einer nur geringen Belastungsfähigkeit ein vermehrt instabiles DRUG anzunehmen und die Indikation zur Arthroskopie eher zu stellen. Da die Heilungstendenz in



den ersten Monaten nach Verletzungen für Stabilisierungsoperationen und Refixationen am größten ist, wird ein möglichst kurzes Zeitfenster zur Diagnostik und Therapie empfohlen (12, 24).

Seitens der Entwicklerin W. Medeiros sind Belastungswerte von <9 kg beachtenswert und deuten auf instabile Verletzungen hin. In unserer bisher nur sehr kleinen Untersuchungsgruppe liegen die Werte im Mittel bei 11,3 kg bei instabilen Verletzungen und damit deutlich unter den stabilen Verletzungen mit 21 kg. Aber erst Untersuchungen mit einer größeren Patientenzahl könnten genauere Daten oder auch Grenzwerte liefern. Das Erkennen gerade der instabilen Verletzungen ist initial erschwert durch starke Schmerzen und unterschiedliche Erfahrungen und Kenntnisse der Behandler. Allein die diagnostischen Verfahren, welche wie oben beschriebene bildgebende Verfahren unzureichend sensitiv und spezifisch sind.

Eine Untersuchung zum natürlichen Verlauf nach schweren Verletzungen des DRUG mit initialer Arthroskopie ohne therapeutische Intervention zeigte, dass nur solche Patienten nach 15 Jahren mit Beschwerden behaftet waren, die eine instabile TFCC- Läsion erlitten hatten und damit ein instabiles DRUG bekamen. Patienten mit stabilen TFCC- Läsionen waren folgenlos konservativ ausgeheilt (28).

Trotz der Steigerung der Belastbarkeit bei instabilem DRUG bleiben die Werte deutlich unter den Fähigkeiten der gesunden Hand. Bei stabilem DRUG steigert sich die Belastungsfähigkeit mit Orthese bei bereits höheren Ausgangswerten und reicht demzufolge nahe an die Belastbarkeit der gesunden Hand heran trotz niedrigerem relativem Gewinn. Eine unterstützende Weiterbehandlung bei stabilisiertem DRUG kann mit der Orthese postuliert werden, wobei die geringe Bewegungseinschränkung beim Tragen der WristWidget® Orthese positiv auffällt.

#### **4.5 Diskussion der Ergebnisse der traumatischen und degenerativen Läsionen**

Wir konnten feststellen, dass sich die Patienten mit instabilem DRUG und mit traumatischer Genese früher als Patienten mit stabilem DRUG und mit degenerativer Anamnese vorstellen. Dies erklärt sich aus dem höheren Leidensdruck der Patienten. Patienten mit degenerativen TFCC- Läsionen haben höhere Werte in der Grobkraft und im Belastungstest an der verletzten Hand. Dies erklärt sich am ehesten aufgrund der erhaltenen Stabilität des TFCC bei zentralen Läsionen ohne Verletzung der fovealen Aufhängung (Hauptstabilisator) (14). Obwohl Patienten mit einer traumatischen Läsion eine niedrigere Belastung als Patienten mit einer degenerativen Läsion hatten, war der absolute Gewinn bei Belastungstest

gemessen in Kilogramm identisch. Der relative Gewinn war mit einer traumatischen Läsion größer. So bemerken die Patienten mit traumatischen Läsionen eine deutlichere Verbesserung ihrer Belastung als Patienten mit degenerativen Läsionen. Auf der anderen Seite näherten sich die Werte der verletzten Hand bei Patienten mit degenerativen Läsionen den Werten der kontralateralen Hand an vergleichbar mit stabilen und instabilen Läsionen (s. 4.4). Demzufolge ist im Falle degenerativer chronischer Beschwerden ohne ein stattgehabtes Trauma und Linderung der Symptomatik durch die Orthese, durchaus die Dringlichkeit einer operativen Behandlung zu hinterfragen und ggfs. zurückzustellen.

Entsprechend dem vorhandenen Leidensdruck zeigen Patienten mit traumatischen Läsionen in unserer Untersuchung schlechtere Werte im allgemeinen Empfinden und Funktion der Hand ausgedrückt als hohe DASH- Werte im Vergleich zu Patienten mit degenerativen Läsionen. Dies ist am ehesten mit einer vermehrt instabilen DRUG - Verletzung zu erklären, welche eine deutlichere Beeinträchtigung im Alltag bedeutet.

#### **4.6 Diskussion des intraoperativen Befundes**

Eine erweiterte Untergruppierung in Bezug auf die intraoperativen Klassifikationen nach Palmer und nach Atzei konnte aufgrund der niedrigen Patientenzahl nicht durchgeführt werden.

Die Korrelation zwischen dem MRT- Befund und dem intraoperativen Befund in Bezug auf die Ätiologie und Klassifikation der TFCC- Läsionen war nur moderat, was zum Teil auf die unterschiedliche Qualität der MRT- Bildgebung (z.B. magnetische Feldstärke von 1,0 oder 1,5 Tesla, bzw. Anwendung von Kontrastmittel) und zum anderen Teil auf den subjektiven Faktor (sowohl der Radiologen als auch der Chirurgen) zurückzuführen sein könnte. Diese Differenzen der Genauigkeit wurden in mehreren Studien belegt (16,18).

#### **5. Zusammenfassung**

Der trianguläre fibroartilaginäre Komplex (TFCC) ist ein wichtiger Faktor bei der Stabilität des distalen Radioulnargelenks (DRUG) und damit in der axialen Stabilität (Lastaufnahme) der gesamten oberen Extremität.

Traditionelle Handgelenkorthesen lindern die Schmerzen aber schränken die Beweglichkeit ein und erhöhen wenig die DRUG- Stabilität. Bei TFCC-Läsionen erhöht die Handgelenkorthese WristWidget® signifikant die Werte des Belastungstestes der oberen Extremität.

Die Ergebnisse des Belastungstestes waren ohne Orthese bei instabilem DRUG geringer als bei stabilem DRUG. Die Werte verbesserten sich mit Orthese in beiden Fällen. Der relative Gewinn ist bei instabilem DRUG größer als bei stabilem. In diesem Zusammenhang könnten präoperative Rückschlüsse zu der Dringlichkeit einer operativen Therapie gezogen werden.

Die Patienten mit einer traumatischen Läsion hatten niedrigere Werte im Belastungstest als Patienten mit einer degenerativen Läsion. Der relative Gewinn mit Orthese ist mit einer traumatischen Läsion größer. Patienten mit degenerativen Veränderungen erreichen hingegen ähnliche Werte wie die gesunde Gegenseite und können ggfs. operative Interventionen hinauszögern oder darauf verzichten.

## **6. Ausblick**

Die Studie gewährleistet nur eine statistische Aussagekraft. Die Teilnehmerzahl bedingt eine geringe statistische Teststärke. Die dargestellten Werte könnten für die Abschätzung der Effekt- Stärke und die Leistungsanalyse für eine prospektive Studie verwendet werden.

Eine weiterführende Studie mit höherer Patientenzahl und unterschiedlich schweren traumatischen und degenerativen TFCC- Läsionen wird derzeit durchgeführt. Bei in der hier vorliegenden Untersuchung nachgewiesenen Wirkung der WristWidget® Orthese bezüglich TFCC- Verletzungen, könnte in Zukunft auch ein Vergleich zwischen verschiedenen Orthesen und Ruhigstellungen in der Therapie und Nachbehandlung untersucht werden.

## **7. Anhang**

### **7.1 Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Anatomie des TFCC

Abbildung 2: TFCC- Provokationstest

Abbildung 3: WristWidget®, Hawaii, USA

Abbildung 4: Belastungstest ohne WristWidget®

Abbildung 5: Belastungstest mit WristWidget®

Abbildung 6: Modifizierter Belastungstest

Abbildung 7: Röntgen bei modifiziertem Belastungstest

Abbildung 8: Absolute Belastungstest- Ergebnisse

## 7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Atzei Klassifikation der peripheren TFCC- Läsionen

Tabelle 2: Werte der klinischen Untersuchung

Tabelle 3: Vergleich zwischen stabilen/instabilen DRUG

Tabelle 4: Vergleich zwischen traumatischen/ degenerativen TFCC- Läsionen

## 7.3 Abkürzungsverzeichnis

BMI	„Body mass index“
CI	95 %- Konfidenzintervall „95 %- Confidence interval“
DASH	„Disabilities of Arm, Shoulder and Hand“
DRUG	Distales Radioulnargelenk
ECU	Extensor carpi ulnaris
FCU	Flexor carpi ulnaris
IQR	Interquartilsabstand
MRT	Magnetresonanztomographie
Nr.	Nummer
PSU	Processus Styloideus ulnae
Pro./Sup.	Summe der Pronation und Supination
ROM	Bewegungsumfang „range of motion“
SD	Standardabweichung „standard deviation“
TFC	„triangular fibrocartilage disc proper“
TFCC	Trianguläre fibrokartilaginäre Komplex „triangular fibrocartilage complex“

## 7.4 Literaturverzeichnis

1. Gupta R, Allaire RB, Fornalski S, Osterman AL, Lee TQ. Kinematic analysis of the distal radioulnar joint after a simulated progressive ulnar-sided wrist injury. J Hand Surg. September 2002; 27(5):854–62.
2. Lees VC. Functional anatomy of the distal radioulnar joint in health and disease. Ann R Coll Surg Engl. April 2013; 95(3):163–70.
3. Zhu AF, Burns G, Siljander B, Waljee JF, Ozer K. The Role of Triangular Fibrocartilage

- Complex in Axial Stability of the Forearm. *J Wrist Surg.* November 2018; 7(5):404–8.
4. Vezeridis PS, Yoshioka H, Han R, Blazar P. Ulnar-sided wrist pain. Part I: anatomy and physical examination. *Skeletal Radiol.* August 2010; 39(8):733–45.
  5. Lester B, Halbrecht J, Levy IM, Gaudinez R. „Press test“ for office diagnosis of triangular fibrocartilage complex tears of the wrist. *Ann Plast Surg.* Juli 1995; 35(1):41–5.
  6. Mehta SP, George HR, Goering CA, Shafer DR, Koester A, Novotny S. Reliability, validity, and minimal detectable change of the push-off test scores in assessing upper extremity weight-bearing ability. *J Hand Ther Off J Am Soc Hand Ther.* März 2019; 32(1):103–9.
  7. Vincent JI, MacDermid JC, Michlovitz SL, Rafuse R, Wells-Rowell C, Wong O, u. a. The push-off test: development of a simple, reliable test of upper extremity weight-bearing capability. *J Hand Ther Off J Am Soc Hand Ther.* September 2014; 27(3):185–90; quiz 191.
  8. Ozer K, Zhu AF, Siljander B, Lawton JN, Waljee JF. The Effect of Axial Loading on Ulnar Variance. *J Wrist Surg.* Juli 2018; 7(3):247–52.
  9. Kirchberger MC, Unglaub F, Mühldorfer-Fodor M, Pillukat T, Hahn P, Müller LP, u. a. Update TFCC: histology and pathology, classification, examination and diagnostics. *Arch Orthop Trauma Surg.* März 2015; 135(3):427–37.
  10. Park A, Lutsky K, Matzon J, Leinberry C, Chapman T, Beredjiklian PK. An Evaluation of the Reliability of Wrist Arthroscopy in the Assessment of Tears of the Triangular Fibrocartilage Complex. *J Hand Surg.* Juni 2018; 43(6):545–9.
  11. Spies CK, Prommersberger KJ, Langer M, Müller LP, Hahn P, Unglaub F. Instability of the distal radioulnar joint: Treatment options for ulnar lesions of the triangular fibrocartilage complex. *Unfallchirurg.* August 2015; 118(8):701–17.
  12. Atzei A, Luchetti R. Foveal TFCC tear classification and treatment. *Hand Clin.* August 2011; 27(3):263–72.
  13. Skalski MR, White EA, Patel DB, Schein AJ, RiveraMelo H, Matcuk GR. The Traumatized TFCC: An Illustrated Review of the Anatomy and Injury Patterns of the Triangular Fibrocartilage Complex. *Curr Probl Diagn Radiol.* Februar 2016;45(1):39–50.
  14. Palmer AK. Triangular fibrocartilage complex lesions: a classification. *J Hand Surg.* Juli 1989; 14(4):594–606.
  15. Löw S, Erne H, Pillukat T, Mühldorfer-Fodor M, Unglaub F, Spies CK. Diagnosing central lesions of the triangular fibrocartilage as traumatic or degenerative: a review of clinical accuracy. *J Hand Surg Eur Vol.* Mai 2017;42(4):357–62.
  16. Tay SC, Tomita K, Berger RA. The „ulnar fovea sign“ for defining ulnar wrist pain: an analysis of sensitivity and specificity. *J Hand Surg.* April 2007; 32(4):438–44.
  17. Yoshioka H, Burns JE. Magnetic resonance imaging of triangular fibrocartilage. *J Magn*

Reson Imaging JMRI. April 2012; 35(4):764–78.

18. Cerezal L, Piñal F del, Abascal F, García-Valtuille R, Pereda T, Canga A. Imaging Findings in Ulnar-sided Wrist Impaction Syndromes. *RadioGraphics*. Januar 2002; 22(1):105–21.

19. Boer BC, Vestering M, van Raak SM, van Kooten EO, Huis in 't Veld R, Vochteloo AJH. MR arthrography is slightly more accurate than conventional MRI in detecting TFCC lesions of the wrist. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. Dezember 2018; 28(8):1549–53.

20. Löw S, Spies CK, Unglaub F, Oppermann J, Langer M, Erne H. Diagnosis and treatment of degenerative disc lesions of the wrist. *Orthopade*. August 2018; 47(8):670–6.

21. Sander AL, Sommer K, Kaiser AK, Marzi I, Frank J. Outcome of conservative treatment for triangular fibrocartilage complex lesions with stable distal radioulnar joint. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 1. Oktober 2021; 47(5):1621–5.

22. Feldon P, Terrono AL, Belsky MR. The „wafer“ procedure. Partial distal ulnar resection. *Clin Orthop*. Februar 1992 ;( 275):124–9.

23. Mwaturura T, Daneshvar P, Pike J, Goetz TJ. Clinical and Radiographic Correlates for the Treatment of Ulnocarpal Impaction. *J Wrist Surg*. Juni 2019;8(3):192–7.

24. Mathoulin, CL. Indications, techniques, and outcomes of arthroscopic repair of scapholunate ligament and triangular fibrocartilage complex. *J Hand Surg Eur Vol*. 2017; 42: 551-566.

25. Susan J Barlow. A Non-surgical Intervention for Triangular Fibrocartilage Complex Tears. *Physiother Res Int*. 2016 Dec;21(4):271-276.

26. Germann G, Harth A, Wind G, Demir E. [Standardisation and validation of the German version 2.0 of the Disability of Arm, Shoulder, Hand (DASH) questionnaire]. *Unfallchirurg*. Januar 2003; 106(1):13–9.

27. Kim G-S, Weon J-H, Kim M-H, Koh E-K, Jung D-Y. Effect of weight-bearing wrist movement with carpal-stabilizing taping on pain and range of motion in subjects with dorsal wrist pain: A randomized controlled trial. *J Hand Ther Off J Am Soc Hand Ther*. März 2020; 33(1):25–33.

28. Mrkonjic A, Geijer M, Lindau Z, Tägil M. The Natural Course of Triangular Fibrocartilage Complex Tears in Distal Radial Fractures: A 13-15 Year Follow-Up of Arthroscopically Diagnosed but Untreated Injuries. *J Hand Surg* 2012; 37A:1555-1560

### **7.5 Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Die Dissertation ist bisher keiner anderen Fakultät, keiner anderen Wissenschaftlichen Einrichtung vorgelegt worden.

Ich erkläre, dass ich bisher kein Promotionsverfahren erfolglos beendet habe und dass eine Aberkennung eines bereits erworbenen Doktorgrades nicht vorliegt.

### **7.6 Danksagung**

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. A. Eisenschenk, Leiter der Hand- und funktionelle Mikrochirurgie, Abteilung für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie des Universitätsklinikums der Stadt Greifswald für die Überlassung des Themas, seinem allseitigen Interesse und seinen wertvollen Ratschlägen bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Frau Dr. med. A. Asmus und Herrn Frank Eichenauer in der Abteilung für Hand-, Replantations- und Mikrochirurgie im Unfallkrankenhaus Berlin sowie Herrn Dr. med. univ. Florian Pinterits im Zentrum für Schwerbrandverletzte mit Plastischer Chirurgie im Unfallkrankenhaus Berlin gebührt Dank für ihre hilfreiche Unterstützung.

Ein besonderer Dank gilt meine Frau, meine Kinder und meine Schwiegereltern, ohne deren Unterstützung die Anfertigung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.