

Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der
Medizinischen Fakultät der Universität Rostock

Klinikdirektor: Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier



**Funktionelles Ergebnis 1-6 Jahre nach operativ
versorgter Tibiakopffraktur unter Berücksichtigung der
„Three-Column Classification“ nach Luo**

Inauguraldissertation

zur

Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Medizin (Dr. med)

der Universitätsmedizin Rostock

vorgelegt von

Anja Grau

geboren am 15.06.1990 in Forchheim

Rostock, September 2021

Dekan: Prof. Dr. med. univ. Emil C. Reisinger

Gutachter: Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier
Universitätsmedizin Rostock, Direktor der Klinik für
Chirurgie, Leiter der Abteilung für Unfall-, Hand- und
Wiederherstellungschirurgie

Prof. Dr. Dagmar-Christiane Fischer
Universitätsmedizin Rostock, Klinik und Poliklinik für
Kinder- und Jugendmedizin, AG Experimentelle
Pädiatrie

Prof. Dr. med. Karl-Heinz Frosch
Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Direktor des
Lehrstuhls Unfallchirurgie, Klinik und Poliklinik für Unfall-
chirurgie und Orthopädie

Datum der Einreichung: 24.09.2021

Datum der Verteidigung: 26.04.2022

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	I
------------------------------	----------

Abbildungsverzeichnis	II
------------------------------	-----------

Tabellenverzeichnis	III
----------------------------	------------

1	Einleitung	1
----------	-------------------	----------

1.1	Anatomie des Tibiakopfes und Biomechanik des Kniegelenkes	1
1.2	Ätiologie und Epidemiologie der Tibiakopffrakturen	3
1.3	Begleitverletzungen, Diagnostik und Therapie der Tibiakopffraktur	4
1.4	Systeme zur Klassifikation der Tibiakopffraktur	5
1.4.1	Klassifikation nach Schatzker	6
1.4.2	AO-Klassifikation	7
1.4.3	Drei-Säulen-Klassifikation nach Luo	8
1.5	Postoperative Komplikationen der Tibiakopffraktur	9
1.6	Funktionelles Outcome nach Tibiakopffraktur	10
1.7	Die Regulation des Knochenstoffwechsels	10

2	Ziel der Arbeit	12
----------	------------------------	-----------

3	Material und Methoden	13
----------	------------------------------	-----------

3.1	Retrospektive Identifizierung der Studienteilnehmer und prospektive Datenerhebung	14
3.2	Fragebogen zur Erfassung des funktionellen Outcomes in der Wahrnehmung des Patienten	15
3.3	Studienuntersuchung	15
3.3.1	Klinische Untersuchung der Patienten	16
3.3.2	Bestimmung von Markern des Knochenstoffwechsels im Serum	16
3.3.3	Funktionelle Untersuchung des Kniegelenks	16
3.3.4	Bestimmung der Knochendichte durch Pulsechographie	17
3.3.5	Beurteilung der Mobilität mit dem Timed „Up & Go“ Test (TUG)	18
3.3.6	Dynamische Messung der Bodenreaktionskraft während des Gehens auf einer standardisierten Teststrecke	18
3.4	Statistische Auswertung	21

4	Ergebnisse	22
4.1	Retrospektive Einteilung der Tibiakopffrakturen in die Klassifikationssysteme	22
4.2	Beschreibung des Patientenkollektivs	25
4.3	Auswertung des KOOS-Fragebogens	25
4.4	Ergebnisse der klinischen Studienuntersuchung	30
4.4.1	Charakterisierung der Studienpopulation	30
4.4.2	Ergebnisse der klinischen Untersuchung	31
4.4.3	Beurteilung der Mobilität durch den Timed „Up & Go“ Test	33
4.4.4	Marker des Knochenstoffwechsels im Serum	34
4.4.5	Ergebnisse der Pulsechographie	37
4.4.6	Funktionsbewertung durch die dynamische Messung der Bodenreaktionskräfte	38
4.4.7	Ergebnisse der Studienuntersuchung in Relation zur operativen Versorgung	41
5	Diskussion	42
5.1	Tibiakopffrakturen und ihre Klassifikationssysteme	42
5.2	Outcome nach operativ versorgter Tibiakopffraktur	43
5.2	Grenzen der vorliegenden Arbeit	47
5.2	Fazit und Ausblick	47
6	Zusammenfassung	48
7	Thesen	50
8	Literaturverzeichnis	51
9	Anhang	57
9.1	Knee and Osteoarthritis Outcome Score – German Version	57
10	Danksagung	61
11	Curriculum Vitae	62
12	Selbstständigkeitserklärung	63

Abkürzungsverzeichnis

1,25-(OH) ₂ -D ₃	Dihydroxycholecalciferol
AO	Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen
a.p.	anterior-posterior
BAP	knochenspezifische alkalische Phosphatase
CT	Computertomographie
dom/ndom	dominante / nicht dominante Körperseite
DXA	Dual Energy X-ray Absorptiometry
ELISA	Enzyme-linked Immunosorbent Assay
FOIB	Factor of Imbalance
fx/nfx	Frakturierte / nicht frakturierte Seite
ICD-10	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems – Version 10
iFGF-23	intakter Fibroblast-Growth-Factor-23
KOOS	Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score
Lig.	Ligamentum
Ligg.	Ligamenta
PTH	Parathormon
QoL	Quality of Life
TKFx	Tibiakopffraktur
TRAP5b	Tartrat-resistente saure Phosphatase
TUG	Timed „Up & Go“ Test

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Knöchernes, rechtes Kniegelenk in der Ansicht von ventral und dorsal (A); Tibiaplateau mit aufliegenden Menisken sowie Insertionsstellen von Menisken und Kreuzbändern (B)	2
Abb. 2:	Kategorisierung der Tibiakopffrakturen anhand der AO-Kriterien	6
Abb. 3:	Kategorisierung der Tibiakopffrakturen anhand der Schatzker-Kriterien	7
Abb. 4:	Knöcherner Unterschenkel in der Ansicht von dorsal mit schematischer Partitionierung des Tibiakopfes auf Höhe des größten Fibuladurchmessers	8
Abb. 5:	Transversale CT-Schnitte des Tibiakopfes auf Höhe des größten Fibuladurchmessers. Fraktur der lateralen Säule (A), Fraktur der lateralen und dorsalen Säule (B) und Fraktur aller drei Säulen (C)	9
Abb. 6	Schematische Darstellung der Regulation der Sekretion von FGF-23, Calcitriol und PTH	11
Abb. 7:	Studiendesign im Überblick	13
Abb. 8:	loadsol®-Einlegesohlen mit geöffnetem Datentransmitter links	18
Abb. 9:	Exemplarische Darstellung der dynamischen Messung der Bodenreaktionskräfte in Echtzeit	19
Abb. 10:	Wegstrecke des Außenparcours: gepflasterter Weg (A), Kopfsteinpflaster (B) und gewachsener Grund (C)	20
Abb. 11:	Die auf die Frakturtypen bezogenen Häufigkeiten für die Klassifikationen nach Schatzker (A), AO (B) und Luo (C)	23
Abb. 12:	Übersicht über das Patientenkollektiv	25
Abb. 13:	Ergebnisse des KOOS-Fragebogen in Relation zur Zahl der frakturierten Säulen	27
Abb. 14:	Ergebnisse des KOOS-Fragebogens in Relation zum Intervall nach Fraktur	28
Abb. 15:	Aktivität von BAP (A) und TRAP5b (B) in Relation zum post-operativen Intervall	34

Abb. 16: Aktivität von sKlotho, iFGF23 und Sclerostin in Relation zum postoperativen Intervall	35
Abb. 17: Ergebnisse der Ganganalyse: Kontaktzeit und Bodenreaktionskräfte	39
Abb. 18: FOIB nach TKFx in Relation zu den Untergründen	40

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Unterteilung der TKFx nach Schweregrad in Relation zur Beteiligung der Säulen nach der Drei-Säulen-Klassifikation	24
Tab. 2	Ergebnisse des KOOS-Fragebogen für alle Patienten und in Relation zur Drei-Säulen-Klassifikation	26
Tab. 3:	Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer	30
Tab. 4	Alter der Patienten in Relation zum postoperativen Intervall	31
Tab. 5:	Ergebnisse der klinischen Kniegelenkuntersuchung	32
Tab. 6:	Unterschiede von Beweglichkeit und Umfang zwischen frakturiertem und nicht frakturiertem (Patienten) bzw. dominantem und nicht dominantem Bein (Kontrolle)	33
Tab. 7:	Die Marker des Knochenstoffwechsels in Relation zur Drei-Säulen-Klassifikation	36
Tab. 8:	Osteoporosewahrscheinlichkeit bei Patienten und Kontrollen	37
Tab. 9:	Mittlere Knochendichte in Relation zur Drei-Säulen-Klassifikation	37
Tab. 10:	Die Dicke der tibialen Kortikalis auf der frakturieren und gesunden Seite in Relation zur Drei-Säulen-Klassifikation	38
Tab. 11:	Operative Versorgung entsprechend dem Drei-Säulen-Konzept (nach Luo) in Relation zu den verschiedenen Studienuntersuchungen	41

1 Einleitung

Bei Tibiakopffrakturen (TKFx) handelt es sich zumeist um intraartikuläre Brüche, die, neben verschiedenen Begleitverletzungen, häufig Komplikationen nach sich ziehen (Malik et al. 2019).

1.1 Anatomie des Tibiakopfes und Biomechanik des Kniegelenkes

Das Kniegelenk (*Articulatio genus*) ist das größte Gelenk des menschlichen Körpers und setzt sich aus Femur und Tibia sowie der Patella zusammen. Das Femur und die Tibia bilden gemeinsam das *Art. femorotibialis medialis und lateralis* (Abb. 1).

Der Tibiakopf (*Caput tibiae*) besteht aus zwei von Knorpel überzogenen Kondylen (*Condylus tibiae medialis und lateralis*), der nicht überknorpelten *Eminentia intercondylaris* sowie der *Area intercondylaris anterior und posterior*, die gemeinsam mit den kranialen Flächen der Kondylen das mediale und laterale Tibiaplateau bilden.

Die Hälfte der tibialen Tragflächen sind von den im Querschnitt keilförmigen Menisken bedeckt (Abb. 1). Diese ermöglichen einen Ausgleich von Gelenkinkongruenzen zwischen der runden Femurkondyle und dem flachen Tibiaplateau. Zudem vergrößern sie die Gelenkfläche, Tragen zur Dämpfung von Stößen sowie zur Stabilisierung und Zentrierung des Kniegelenkes bei und limitieren bzw. vermindern den Gleitwiderstand.

Stabilität und Beweglichkeit des Kniegelenkes werden vor allem durch einen starken Bandapparat mit inneren und äußeren Bändern gesichert. Vorderes und hinteres Kreuzband (*Lig. cruciata*) sorgen für die Stabilität und den Zusammenhalt des gebeugten und gestreckten Knies und verhindern eine Überstreckung. Mediales und laterales Seitenband (*Lig. collaterale tibiale, Lig. collaterale fibulare*) sind in Streckstellung angespannt, verhindern die Rotation und stabilisieren das Kniegelenk in der Frontalebene. Weitere äußere Bänder sind das *Lig. patellae*, *Lig. popliteum obliquum und arcuatum* und das *Retinaculum patellae mediale und laterale* (Moll et al. 2006; Schünke et al. 2011).

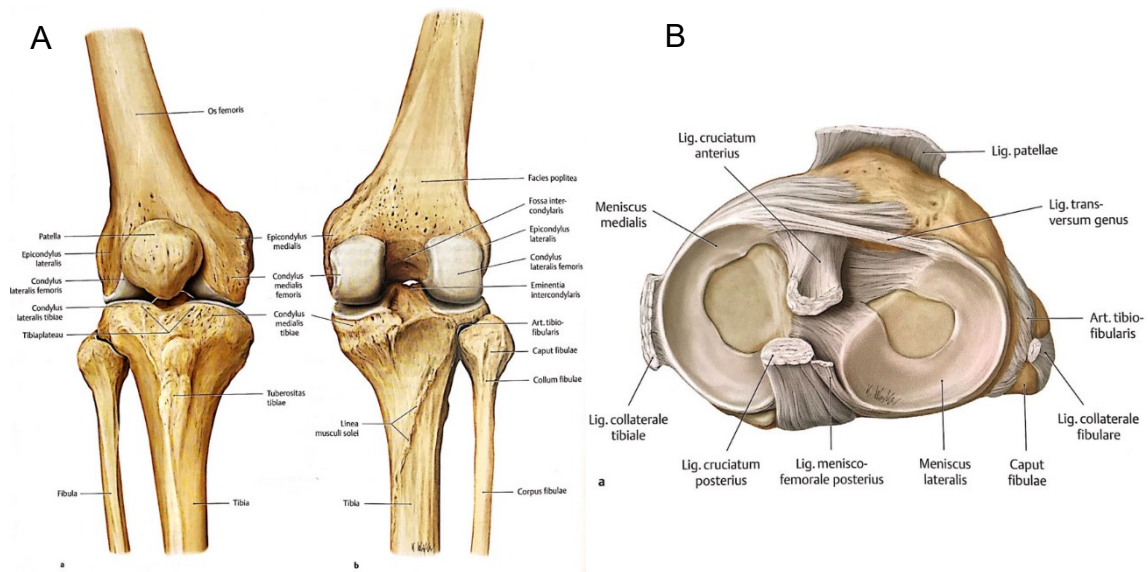


Abb. 1: Knöchernes, rechtes Kniegelenk in der Ansicht von ventral und dorsal (A); Tibiaplateau mit aufliegenden Menisken sowie Insertionsstellen von Menisken und Kreuzbändern (B) (Schünke et al. 2011)

Die Extension und Flexion im Kniegelenk erfolgen um die Transversalachse. Der Bewegungswinkel des Kniegelenkes wird nach der Neutral-Null-Methode gemessen und beträgt bei aktiver Beugung ca. 120-150°. Die Streckung von 5-10° kann wegen der Anspannung des Lig. cruciatum anterius nur bei gleichzeitiger unwillkürlicher Außenrotation von 5° erfolgen (Schlussrotation). Die Rotation des Unterschenkels gegen den Oberschenkel erfolgt um die Sagittalachse. Bei voller Streckung ist eine Rotation wegen der angespannten Ligg. collateralia nicht möglich. Mit zunehmender Beugung im Kniegelenk ist unter physiologischen Bedingungen eine Außenrotation von 30-40° und eine Innenrotation von bis zu 10° möglich (Moll et al. 2006; Schünke et al. 2011).

1.2 Ätiologie und Epidemiologie der Tibiakopffraktur

Tibiakopffrakturen (TKFx) sind mit ca. 1% aller knöcherner Verletzungen seltene Frakturen, die als unikondyläre (mediales oder laterales Plateau) oder bikondyläre Fraktur am häufigsten zwischen dem 50. – 70. Lebensjahr auftreten (Bobrich et al. 2009; Albuquerque et al. 2013).

Bedingt durch die geringere subchondrale Knochendichte der lateralen Kondyle, die konvexe Form und die physiologische Valgusstellung der Beinachsen sind isolierte, laterale Plateaufrakturen mit 55-70% am häufigsten (Scharf et al. 2008; Malik et al. 2019). Bikondyläre Frakturen und isolierte, mediale Frakturen treten in ca. 10-30% der Fälle auf (Berkson et al. 2006). Da von der medialen, konkaven Kondyle ein größerer Teil des Gewichts getragen wird, ist hier die subchondrale Knochendichte höher und die zur Frakturierung des Knochens erforderliche Kraft größer. Ursachen der Frakturen sind direkte Gewalteinwirkung (z.B. Verkehrsunfall), indirekte Gewalteinwirkung (Valgus- und Varusstress), Rotation (z.B. Sportunfälle), axialer Stauchung (Sturz aus hoher Höhe) und Kombinationen zwischen axialer Stauchung mit einer Valgisierung/Varisierung (Bobrich et al. 2009; Malik and Rosenberg 2019). Daraus resultieren Stauchungs-, Luxations- und Trümmerfrakturen (Müller-Mai 2015).

Bei jüngeren, vor allem männlichen Patienten, liegen meist Spalt-, Trümmer- oder Luxationsfrakturen durch Hochrasanztraumata vor. Bei älteren, vor allem weiblichen Patienten, stellen Niedrigrasanztraumata und Bagatellunfälle die häufigere Frakturursache dar. Hier werden gehäuft Depressions- und Impressionsfrakturen beobachtet (Scharf et al. 2008; Albuquerque et al. 2013; Müller-Mai 2015; Reul et al. 2017). 55-70% der Patienten mit TKFx sind älter als 50 Jahre (Su et al. 2004). Bei Frauen über dem 70. Lebensjahr erhöht sich auf Grund der verminderten Knochendichte die Inzidenz der TKFx auf ca. 8% aller knöchernen Verletzungen (Ebraheim et al. 2004; Albuquerque et al. 2013). Wird die Fraktur durch ein Bagatelltrauma ausgelöst, ist von einer Osteoporose auszugehen (Köstert et al. 2011; Rozell et al. 2016). In diesen Fällen ist eine weiterführende Diagnostik zum Ausschluss einer Osteoporose angezeigt. Neben der DXA ist die Pulsechographie ein etabliertes Verfahren.

1.3 Begleitverletzungen, Diagnostik und Therapie der Tibiakopffraktur

Häufig finden sich Meniskusrisse, vordere und hintere Kreuzbandrupturen und Innenbandrupturen als Begleitverletzungen. Meniskusverletzungen zeigten sich in 20-80 %, Bandverletzungen in 3-58 %, Nervenschäden des N. peroneus communis und Läsionen der A. und V. poplitea in 1 bis zu 7 % (Papagelopoulos et al. 2006; Bobrich et al. 2009; Müller-Mai 2015; Roßbach et al. 2016; Reul et al. 2017; Schoepp et al. 2017).

Bei Verdacht auf eine TKFx erfolgt nach klinischer Untersuchung zunächst eine Röntgenuntersuchung des Kniegelenkes in zwei Ebenen (anterior-posterior und lateraler Strahlengang) und bei bestätigter Fraktur eine Röntgentomographie (CT) mit dem Ziel einer exakten Analyse und Planung der weiteren Therapie der Verletzung. Eine zusätzliche Kernspintomographie erlaubt die Beurteilung des Kapsel-Band-Apparates und der Menisci (Scharf et al. 2008; Müller-Mai 2015; Maier et al. 2016).

Frakturen, die keine Dislokation aufweisen, keine Impression der Gelenkfläche größer 2 mm haben und stabile Frakturen ohne begleitende Band- oder Meniskusverletzung sind, können konservativ therapiert werden (Reul et al. 2017; Malik and Rosenberg 2019). Bei Dislokation oder Instabilität der Fraktur besteht die Indikation zur operativen Versorgung (minimalinvasive Verfahren, Schrauben- und Plattenosteosynthese, Fixateur interne und externe). Ziel ist es, eine übungsstabile Osteosynthese durchzuführen und die Therapieziele (Gelenkflächenkongruenz, physiologische Achsenverhältnisse, Kniestabilität) zu erreichen (Müller-Mai 2015).

1.4 Systeme zur Klassifikation der Tibiakopffraktur

Ein gutes System zur Klassifizierung von Verletzungen sollte als Leitfaden für die Behandlung dienen, die Kommunikation zwischen den Behandlern erleichtern und die Prognose beschreiben (Mthethwa et al. 2018).

Von den in der Literatur beschriebenen 38 Klassifikationssystemen für TKFx haben sich nur wenige durchgesetzt (Millar et al. 2018). Am gängigsten im europäischen Raum ist die AO-Klassifikation (Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen) (Müller 1990), zuletzt aktualisiert und angepasst 2018 (Meinberg et al. 2018), gefolgt von der vor allem in den USA verwendeten Schatzker-Klassifikation (Schatzker et al. 1979).

Allerdings sind die AO- und Schatzker-Klassifikation für die Analyse der Fraktur sowie Planung der Osteosynthese bei komplexen TKFx nur bedingt tauglich, da diese auf einer klassischen a.p.-Röntgenaufnahme basieren (Friederichs et al. 2019). Es werden nur Bruchlinien in der Frontalebene dargestellt, während dorsale Frakturen und Verletzungen nicht ausreichend erfasst und beschrieben werden (Luo et al. 2010; Santos et al. 2013; Zeltser et al. 2013; Kokkalis et al. 2016; Mthethwa et al. 2018).

Daher wurde im Jahr 2010 von Luo et al. eine auf CT-Daten basierende Drei-Säulen-Klassifikation (Three-Column-Concept) (Luo et al. 2010) als Basis für die Therapieplanung komplexer TKFx vorgeschlagen.

1.4.1 Klassifikation nach Schatzker

Die Schatzker-Klassifikation (Schatzker et al. 1979) enthält wesentliche Elemente der AO-Klassifikation, ist jedoch weniger detailliert. Sie basiert auf morphologischen, therapeutischen und prognostischen Überlegungen (Abb. 2)

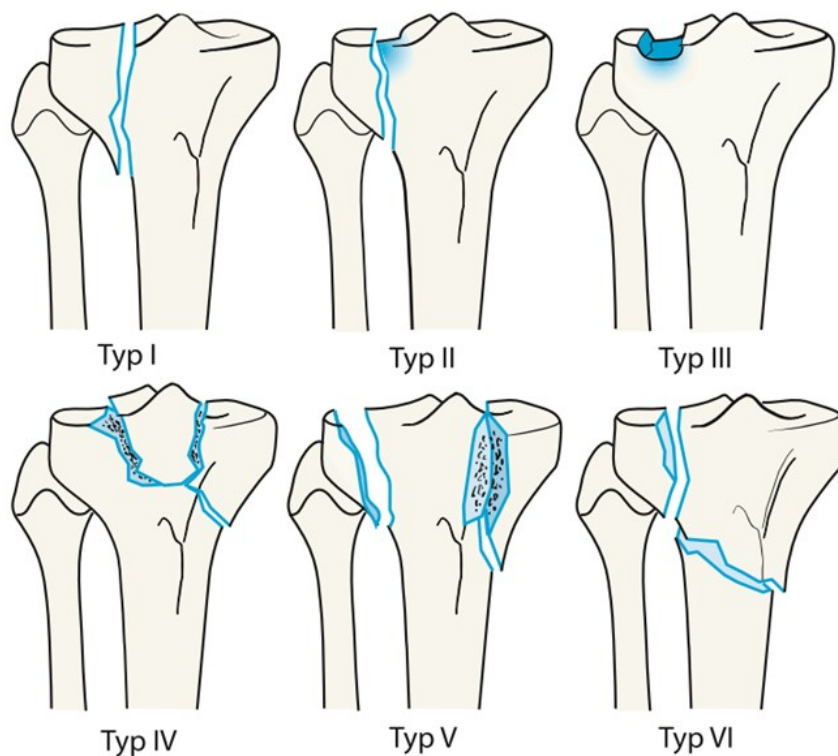


Abb. 2: Kategorisierung der Tibiakopffrakturen anhand der Schatzker-Kriterien (Müller-Mai 2015)

Typ I: lateraler Spaltbruch; Typ II: Spaltbruch des lateralen Plateaus mit Impression der angrenzenden Gelenkfläche; Typ III: reine Impressionsfraktur des lateralen Plateaus; Typ IV: Spaltbruch der medialen Kondyle, oft mit Fraktur der Eminentia intercondylaris; Typ V: bikondyläre Fraktur; Typ VI: metaphysäre Fraktur mit variablem Spaltbruch

1.4.2 AO-Klassifikation

Die AO-Klassifikation (Müller 1990) (Abb. 3) wird im Wesentlichen zur Einteilung von Frakturen der langen Röhrenknochen verwendet. Der vier- bis fünfstellige Zahlen- und Buchstabencode beschreibt Lokalisation, Morphologie und Schweregrad der Fraktur. Die erste Ziffer gibt die Körperregion (4=Tibia), die zweite Ziffer das Segment innerhalb des betroffenen Knochens (1=proximal, 2=diaphysär, 3=distal) an. An dritter Stelle folgt der Buchstabe, der die Morphologie (A=extraartikulär, B=partiell artikulär, C=vollständig artikulär) der Fraktur beschreibt. Zusätzlich wird der Grad der Fragmentierung angegeben (Müller-Mai 2015).

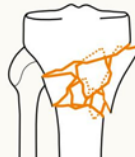
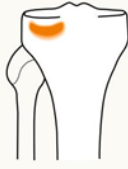
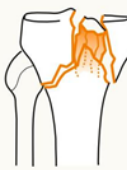
Extraartikuläre Fx	 A1	 A2	 A3
Partiell artikuläre Fx	 B1	 B2	 B3
Vollständig artikuläre Fx	 C1	 C2	 C3

Abb. 3: Kategorisierung der Tibiakopffraktur anhand der AO-Kriterien (Müller-Mai 2015)

1.4.3 Drei-Säulen-Klassifikation nach Luo

Von Luo und Kollegen (Luo et al. 2010) wurde auf Basis der CT ein erweitertes Modell zur Klassifikation der TKFx abgeleitet, um eine verbesserte präoperative Planung und damit auch eine optimierte primäre Versorgung mit besseren funktionellen Ergebnis zu erreichen.

In den transversalen CT-Schnitten der Tibia werden auf Ebene des größten Fibuladurchmessers die anatomischen Landmarken (Abb. 4) identifiziert und die Kopffläche der jeweiligen Säule (lateral, medial, posterior) definiert (Abb. 4).

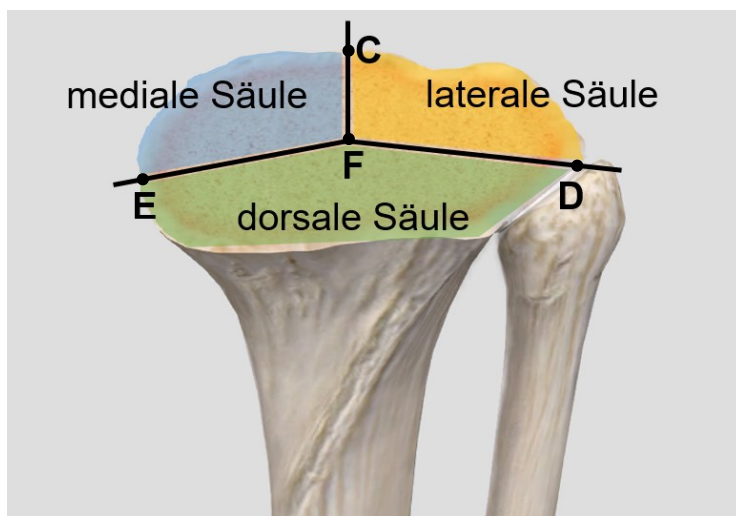


Abb. 4: Knöcherner Unterschenkel in der Ansicht von dorsal mit schematischer Partitionierung des Tibiakopfes auf Höhe des größten Fibuladurchmessers (mod. nach Luo et al. 2010)

Punkt C: Mitte der Tuberositas tibiae; Punkt D: vorderer Rand des Fibulakopfes; Punkt E: hinterer medialer Kamm der Tibia; Punkt F: Zentrum des Tibiaplateaus

Die Fraktur von einer oder mehrerer Säulen ist als artikuläre Vertiefung in Kombination mit einer kortikalen Unterbrechung definiert. Die verschiedenen Frakturtypen sind in Abb. 5 gezeigt. Findet sich auf Höhe des größten Fibuladurchmessers keine Kortikalisunterbrechung, so ist dies eine Null-Säulen-Fraktur.

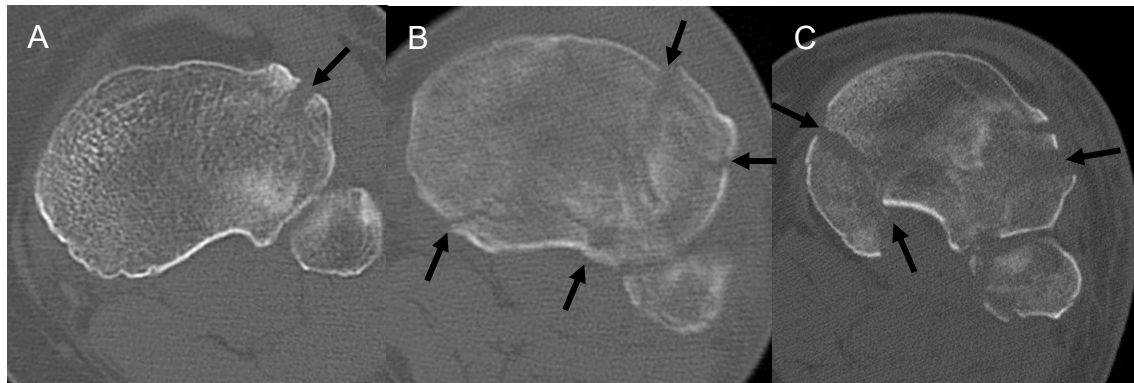


Abb. 5: Transversale CT-Schnitte des Tibiakopfes auf Höhe des größten Fibuladurchmessers. Fraktur der lateralen Säule (A), Fraktur der lateralen und dorsalen Säule (B) und Fraktur aller drei Säulen (C) (Luo et al. 2010)

Die Drei-Säulen-Klassifikation soll als präoperatives Planungstool dem Operateur helfen, Patienten mit einer komplexen TKFx optimal zu versorgen. Jede frakturierte Säule soll einzeln adressiert werden und operativ eine Osteosynthese erhalten. Somit ist es möglich, ein individuelles Behandlungskonzept zu erstellen und einen strukturierten Zugang zur operativen Versorgung zu wählen (Luo et al. 2010; Zhu et al. 2012).

1.5 Postoperative Komplikationen der Tibiakopffraktur

Wie bei allen operativen Versorgungsmethoden besteht auch hier das Risiko für Früh- und Spätkomplikationen. Zu letzteren zählen Fehlstellungen der Beinachsen, Implantatversagen mit Fehlheilung, Gelenkstufen, eingeschränkter Bewegungsumfang im Kniegelenk, Arthrofibrose, Pseudarthrose und posttraumatische Arthrose. Trotz adäquater Primärversorgung erleiden 20-60% der Patienten eine posttraumatische Gonarthrose und das Risiko für diese Komplikation steigt mit dem Schweregrad der Fraktur (Papagelopoulos et al. 2006; Maier et al. 2016; Reul et al. 2017; Schoepp et al. 2017).

1.6 Funktionelles Outcome nach Tibiakopffraktur

Für die subjektive Beurteilung des funktionellen Outcome nach einer TKFx hat sich der „Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score“ (KOOS) (Roos et al. 1998) etabliert, der als Fragebogen sowohl die kurz-, als auch die langfristigen Folgen von Knieverletzungen berücksichtigt. Er ist umfassend und kann bei verschiedenen Bevölkerungsgruppen mit unterschiedlichen Erkrankungen des Kniegelenkes, unterschiedlicher Krankheitsdauer sowie in unterschiedlichen Alters- und Aktivitätsstufen angewendet werden (Kessler et al. 2003; van Dreumel et al. 2015; Collins et al. 2016).

Zusätzlich können neben der klinischen Untersuchung des Kniegelenkes verschiedene Methoden zur Objektivierung des funktionellen Outcomes herangezogen werden. Hier ist neben dem Timed „Up & Go“ Test (TUG), zur einfachen Beurteilung der Mobilität und des Sturzrisikos (Podsiadlo et al. 1991), auch die dynamische Erfassung der Bodenreaktionskräfte unter alltäglichen Bedingungen zu nennen. Dafür kann eine Kraftmesssohle in die Schuhe eingelegt werden. Die den Abrollbewegungen des Fußes, sowie der Schwung- und Standphasen während des Gehens entsprechenden plantare Drücke werden erfasst und in Kräfte umgerechnet.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Knochenqualität, die das funktionelle Outcome stark beeinflussen kann und vor allem bei betagten Patienten hinweisend auf eine vorliegende Osteoporose sein kann. Mit Hilfe einer Pulsechographie und laborchemischen Markern des Knochenstoffwechsels können Aussagen über die Knochengesundheit getroffen werden.

1.7. Die Regulation des Knochenstoffwechsels

Die mechanischen und endokrinologischen Funktionen des Knochens werden durch ein fein reguliertes Wechselspiel zwischen Osteoblasten/Osteozyten und Osteoklasten einerseits, sowie die Reaktion auf und die Sezernierung von Hormonen andererseits reguliert. Letzteres dient insbesondere dazu, die Calcium- und Phosphathomöostase zu gewährleisten und wird durch den von 1,25(OH)₂-cholecalciferol (Vitamin D₃), Parathormon (PTH) und Fibroblast Growth Factor-23 (FGF-23) gebildeten Regelkreis kontrolliert (Abb. 6). Diese Hormone stimulieren einerseits die Freisetzung von Mineral aus dem Knochen sowie die gastrointestinale Resorption und regulieren andererseits die renale Exkretion bzw. tubuläre Resorption. Ob und in welchem Maße die systemische Konzentration von

FGF-23 auch bei physiologischer Nierenfunktion als Marker des Knochenstoffwechsels geeignet ist, wird kontrovers diskutiert (Penido and Alon 2012; Wolf 2012).

Der Knochenumsatz ("bone turnover") wird durch die Aktivitäten von Osteoblasten und Osteoklasten determiniert. Zusätzlich beeinflussen Intensität und Frequenz mechanischer Stimuli und die durch RANK/RANKL vermittelte Reifung der Prä-Osteoklasten das Gleichgewicht zwischen Knochenauf- und Abbau (Jain and Camacho 2018). Um jenseits der (invasiven) Knochenbiopsie und der Bestimmung der Mineraldichte den Knochenstoffwechsel zu beurteilen, kann die Aktivität bzw. Konzentration der knochenspezifischen alkalischen Phosphatase (bone specific alkaline phosphatase, BAP), der Tartrat resistenten sauren Phosphatase 5b (TRAP5b) und des Sclerostins bestimmt werden. Diese Proteine spiegeln die Aktivität der Osteoblasten (BAP), der Osteoklasten (TRAP5b) und der Osteozyten (Sclerostin) wieder (Hannon et al. 2004; van Bezooijen et al. 2005; Fischer et al. 2012).

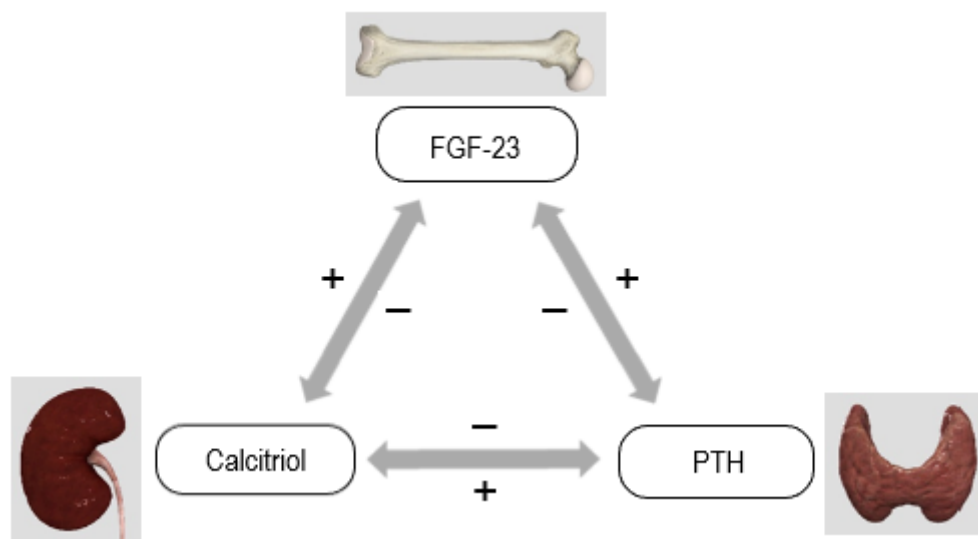


Abb. 6 Schematische Darstellung der Regulation der Sekretion von FGF-23, Calcitriol und PTH

-: inhibiert; +: stimuliert (Kuro-o 2011)

Bei einer Fraktur wird diese Homöostase aus dem Gleichgewicht gebracht und die Regulatoren werden zu Gunsten der Knochenneubildung (Kallus) zu osteoanabolen Mechanismen verschoben.

2 Ziel der Arbeit

Tibiakopffrakturen, und hier insbesondere intraartikuläre komplexe Frakturen, sind mit einer relativ hohen Komplikationsrate behaftet und gehen mit einem hohen Risiko für dauerhafte Funktionseinschränkungen des betroffenen Kniegelenkes einher.

Eine präzise präoperative Frakturanalyse ist für die Therapie essentiell. Das neuere Drei-Säulen-Klassifikationssystem nach Luo soll dem Anwender helfen, Frakturen der dorsalen Säule des Tibiakopfes zu detektieren und operativ zu berücksichtigen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die in der Universitätsmedizin Rostock, Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, zwischen 01/2012 und 12/2016 operativ versorgte Tibiakopffrakturen retrospektiv nach dem von Luo entwickelten System zu klassifizieren und anhand der OP-Dokumentation zu prüfen, ob eine möglicherweise vorliegende Fraktur der dorsalen Säule adäquat adressiert wurde.

Weiterhin soll der Therapieerfolg aus Sicht der Patienten (Fragebogen) und anhand objektiver Tests erfasst werden. Auch diese Befunde sollen in Relation zur 3-Säulen-Klassifikation nach Luo beurteilt werden.

3 Material und Methoden

Für diese retrospektive Studie wurden Patienten, die zwischen Januar 2012 und Dezember 2016 auf Grund einer Tibiakopffraktur in der Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Universitätsmedizin Rostock behandelt wurden, im klinikeigenen Archiv mit Hilfe der ICD-10 identifiziert, pseudonymisiert und die präoperativ erstellten Röntgen- und CT-Aufnahmen nach Schatzker (Schatzker et al. 1979), AO (Müller 1990) und Luo (Zhu et al. 2012) erneut klassifiziert.

Die Patienten wurden, nach manueller Überprüfung auf Ein- und Ausschlusskriterien, zu einer einmaligen Erfassung des Therapieerfolgs in der Wahrnehmung des Patienten (Fragebogen) und durch objektive Untersuchungsverfahren eingeladen. Während der Studienuntersuchung wurden die aktuellen anthropometrischen Daten erhoben, die Mobilität und das funktionelle Outcome beurteilt, sowie die Knochendichte und die Serumkonzentration ausgewählter Knochenmarker bestimmt.

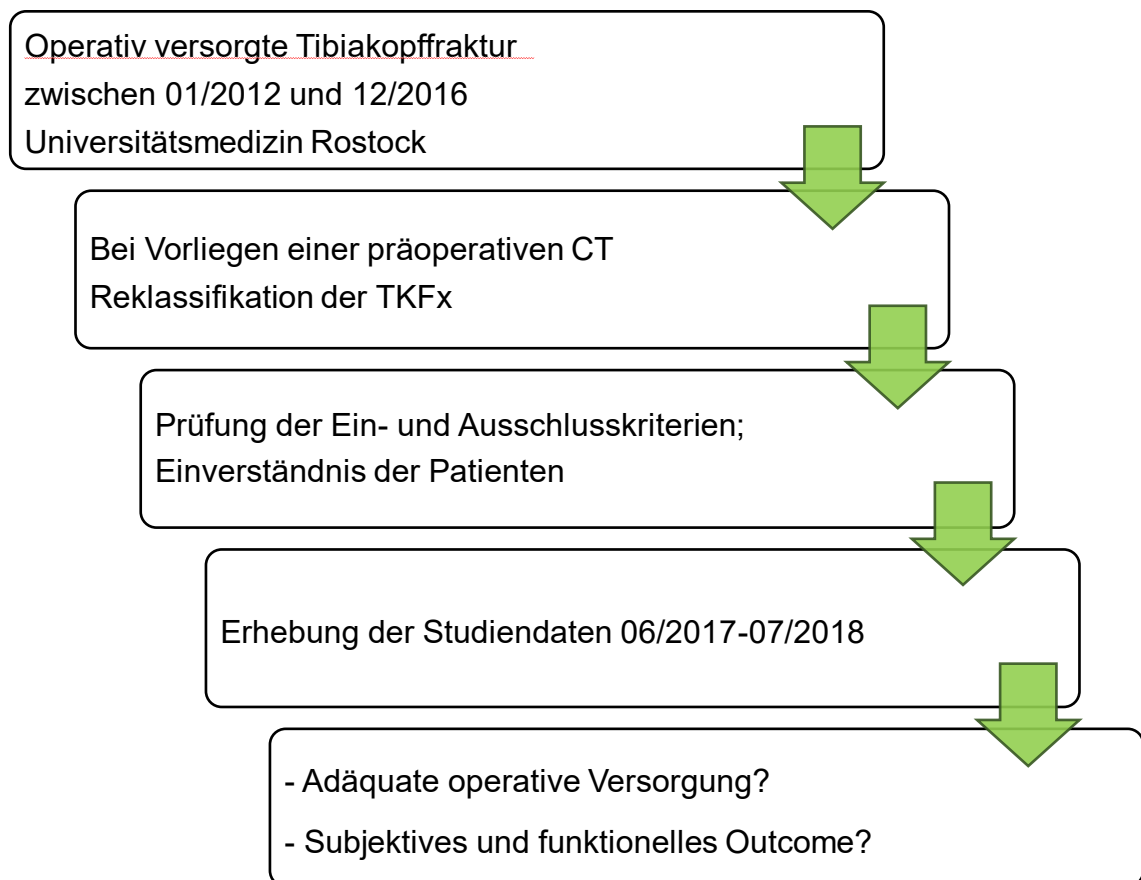


Abb. 7: Studiendesign im Überblick

3.1 Retrospektive Identifizierung der Studienteilnehmer und prospektive Datenerhebung

Die Patienten wurden innerhalb des krankenhausinternen Dokumentationssystems durch die Suche mit den ICD-10-Codes S82.1 (Fraktur des proximalen Endes der Tibia) und S82.2 (Fraktur des Tibiaschaftes) identifiziert. Die präoperativ erstellten Röntgen- und CT-Bilder wurden pseudonymisiert und durch einen erfahrenen Unfallchirurgen der Abteilung nach Schatzker-, AO- und der Drei-Säulen-Klassifikation nach Luo kategorisiert. Die Ergebnisse wurden für die Auswertung zur Verfügung gestellt.

Für die Studienteilnahme gelten folgende Einschlusskriterien

- Unilaterale Tibiakopffraktur (01/2012 – 12/2016)
- ≥ 18 Jahre zum Zeitpunkt der Fraktur
- Präoperative Bildgebung (Röntgen und CT)
- Operative Behandlung in der CUK-UNF

und Ausschlusskriterien

- Keine Einwilligung in die Studienteilnahme
- Pathologische Frakturen bei maligner Grunderkrankung
- Eingeschränkte kognitive Fähigkeiten / Mobilität
- Renale Osteodystrophie
- Chronisch-entzündliche/degenerative Gelenkerkrankungen (z.B. rheumatoide Arthritis, Coxarthrose)
- Chronische Störungen der Calcium-/ und Phosphathomöostase (z. B. hypophosphatämische Rachitiden)

Alle Patienten, die nach Aktenlage die Einschlusskriterien erfüllten, wurden schriftlich über die Studie informiert und zur Teilnahme eingeladen. Ein validierter und standardisierter Fragebogen (Knee and Osteoarthritis Outcome Score, KOOS (Roos et al. 1998; Kessler et al. 2003) wurde mit der Bitte, diesen anonymisiert und unabhängig von der Entscheidung zur Studienteilnahme ausgefüllt zurückzuschicken, mitgesendet.

Patienten, die Interesse an einer Studienteilnahme bekundeten, wurden telefonisch kontaktiert und nach Überprüfung der Ausschlusskriterien zur Untersuchung eingeladen.

Darüber hinaus wurden die Patienten gebeten, möglichst gleichaltrige Personen aus ihrem privaten Umfeld (Ehepartner, Geschwister, Verwandte, Bekannte) als

Kontrollprobanden mitzubringen, da nicht für alle Studienuntersuchungen Referenzwerte verfügbar sind. Voraussetzung für eine Teilnahme als Kontrollproband waren das Mindestalter von 18 Jahren und die frakturfreien unteren Extremitäten.

Zusätzlich wurde bei allen Patienten, die an der Studie teilnahmen, retrospektiv der OP-Bericht analysiert und geprüft, ob bei Frakturierung der dorsalen Säule diese auch explizit adressiert worden ist.

3.2 Fragebogen zur Erfassung des funktionellen Outcomes in der Wahrnehmung des Patienten

Allen Patienten wurde die deutsche Version des „Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score“ (KOOS, 42 Fragen) zugeschickt, um die subjektiv empfundenen Einschränkungen durch die Verletzungen zu erheben.

Der KOOS enthält Fragen zu den Bereichen Schmerz (9 Fragen), Symptome (7 Fragen), Aktivitäten des alltäglichen Lebens (17 Fragen), sportliche Aktivitäten/Freizeit (5 Fragen) und Lebensqualität (4 Fragen) und kategorisiert die Antworten an Hand von fünfstufigen Likert-Skalen (4 = beste Situation, ganzzahlige schrittweise Abstufung bis 0 = schlechteste Situation). Zur Auswertung wurden die den Antworten zugeordneten Punkte pro Subkategorie addiert, gemittelt und auf eine Skala von 0 bis 100 umgerechnet. Ein Subskalenwert von null bedeutet extreme Einschränkungen, ein Wert von 100 steht für keine Einschränkungen. Um die Befunde einer Subskala in die Auswertung aufzunehmen, mussten mindestens 50% der Fragen dieser Kategorie beantwortet sein.

3.3 Studienuntersuchung

Die studienspezifischen Untersuchungen erfolgten unter standardisierten Bedingungen.

Der Untersuchungszeitpunkt wurde so gewählt, dass der Abstand zur Fraktur ganzzahlige vielfache von einem Jahr mit einer Toleranz von acht Wochen betrug. Die Studienuntersuchungen fanden zwischen dem 21.06.2017 und 23.07.2018 statt.

3.3.1 Klinische Untersuchung der Patienten

Körpergröße und Gewicht wurden mit einem geeichten Stadiometer mit integrierter Waage (seca GmbH & Co. KG, Hamburg; Mess-/Ablesegenauigkeit ± 1 mm; $\pm 0,1$ kg) ermittelt und der BMI berechnet. Die Körperzusammensetzung wurde mit einem Multifrequenz-Impedanzspektrometer (BodyCompositionsMonitor, Fresenius Medical Care AG&Co KGaA, Bad Homburg v. d. Höhe) bestimmt.

3.3.2 Bestimmung von Markern des Knochenstoffwechsels im Serum

Um zusätzlich eine Einschätzung des Knochenstoffwechsels zu ermöglichen, wurden die Patienten um eine Blutprobe für die Gewinnung von Serum und Plasma gebeten. Die Aufarbeitung und Analyse der Blutproben erfolgte im Forschungslabor der AG Experimentelle Pädiatrie. Alle Proben wurden pseudonymisiert und bei -80°C bis zur Analyse gelagert. Intaktes FGF-23 (iFGF-23) (Kainos, Bunkyo-ku, Tokyo), sKlotho (Immuno-Biological laboratories, Gunma, Japan), Sclerostin (TecoMedical Group, Bünde, Deutschland), BAP und TRAP5b (MicroVue Bone Health, San Diego, California, USA) wurden mit kommerziell verfügbaren und konfektionierten Reagenzien mit Enzym-Immunoassays (ELISA) bestimmt. Alle Analysen wurden nach Herstellerangaben durchgeführt.

3.3.3 Funktionelle Untersuchung des Kniegelenks

An den unbedeckten Beinen wurden beim stehenden Patienten die Achsen (gerade, varisch, valgisch) inspiziert und der operative Zugang durch Sichtung der Narben verifiziert.

Die Beweglichkeit der Kniegelenke wurde am liegenden Patienten nach der Neutral-Null-Methode mit einem Goniometer gemessen. Die Oberschenkel-, Unterschenkel- und Kniegelenksumfänge wurden mithilfe eines flexiblen Maßbandes an definierten Abständen vom Kniegelenkspalt (20 cm und 10 cm oberhalb, 15 cm unterhalb des Kniegelenkspalts) und auf Höhe der Kniescheibenmitte ermittelt.

Zur Überprüfung der Bandstabilität wurden der Lachmantest herangezogen, das vordere und hintere Schubladenzeichen geprüft und die Seitenbänder durch Varus- und Valgusstresstest überprüft. Zur Prüfung auf Meniskusschäden wurden der modifizierte McMurray-Test und der Apley-Grinding-Test durchgeführt.

Beim modifizierten McMurray-Test wird in Rückenlage das Hüftgelenk 90° gebeugt und der Unterschenkel wird bei 90° gebeugtem Kniegelenk soweit wie möglich nach innen bzw. außen rotiert, um den lateralen bzw. medialen Meniskus zu testen. Gleichzeitig wird während der Rotation der mediale und laterale Kniegelenkspalt palpiert. Wird dabei eine Schmerzreaktion ausgelöst, gilt der Test als positiv. Eine weitere Knieflexion über 90° hinaus provoziert bei geschädigtem Meniskus eine Schmerzzunahme (Hing et al. 2009).

Der Apley-Grinding-Test wird in Bauchlage durchgeführt. Das Kniegelenk wird 90° flektiert. Während axialer Druck auf die Fußsohle ausgeübt wird, wird der Unterschenkel innen- und außenrotiert, um den gegenläufigen Meniskus auf einen Schmerzreiz zu testen (Apley 1947).

Zur Überprüfung auf retropatellare Knorpelschäden wurde das Zohlen-Zeichen getestet. Die tanzende Patella wurde als Hinweis auf einen Kniegelenkserguss gewertet.

3.3.4 Bestimmung der Knochendichte durch Pulsechographie

Die pulsechographische Untersuchung der Knochendichte erfolgte mit einem von der Firma Bone Index (Kuopio, Finnland) entwickeltem Gerät (Bindex®).

Die Kortikalisdicke wird an definierten anatomischen Punkten von Radius und Tibia bestimmt und daraus unter Berücksichtigung spezifischer Merkmale (Alter, Geschlecht, Ethnie, Größe und Gewicht) und Risikofaktoren (bereits ereignete Fraktur, bereits bekannte Osteoporose, Nikotinabusus, Alkoholabusus) ein Dichteindex mit der proprietären Software berechnet. Vor jeder Messung wurde der Pulsechodetektor nach Herstellerangaben kalibriert. Dem Dichteindex (Density-Index) werden Wahrscheinlichkeiten (hoch, moderat, niedrig) für das Vorliegen einer Osteoporose zugeordnet.

Zur Identifizierung der anatomisch definierten Landmarken wurde am liegenden Patienten mit einem Maßstab die Länge des entkleideten Unterarms und Unterschenkels derselben Körperseite vermessen und der Punkt, der ein Drittel der Unterarmlänge vom distalen Radius bzw. jeweils ein Drittel der Tibialänge vom proximalen und distalen Ende entfernt ist, mit einem Stift markiert. An dieser Position wurde der Schallkopf möglichst senkrecht zur Knochenoberfläche aufgesetzt. Eine ausreichende Signalstärke wurde durch ein akustisches Signal angezeigt und die an dieser Stelle bestimmte Kortikalisdicke automatisch von der Soft-

ware akzeptiert und gespeichert. Pro Untersuchungspunkt wurden fünf Messungen durchgeführt und automatisch für die Berechnung des Dichteindex herangezogen. Die Messungen wurden an beiden Körperseiten durchgeführt.

3.3.5 Beurteilung der Mobilität mit dem Timed „Up & Go“ Test (TUG)

Beim TUG wird die Zeit gemessen, die benötigt wird, um von einem Stuhl ohne Armlehnen und ohne Zuhilfenahme der Arme aufzustehen, 3 m zu gehen, sich umzudrehen und erneut auf dem Stuhl Platz zu nehmen (Podsiadlo et al. 1991). Werden für den Test weniger als zehn Sekunden benötigt, besteht keine Mobilitätseinschränkung. Bei 11 - 19 Sekunden besteht eine leichte, bei 20 - 29 eine funktionell relevante und bei über 30 Sekunden eine schwere Mobilitätseinschränkung.

3.3.6 Dynamische Messung der Bodenreaktionskraft während des Gehens auf einer standardisierten Teststrecke

Die Messung der Bodenreaktionskräfte erfolgte mit dem von der Firma novel GmbH entwickelten loadsol®-System (Abb. 8). Einlegesohlen mit einem integrierten Sensor übertragen die Bodenreaktionskräfte während der Bewegung über eine Schnittstelle (Bluetooth) drahtlos an einen Empfänger.



Abb. 8: loadsol®-Einlegesohlen mit geöffnetem Datentransmitter links

Die Elektronik ist mit der Sohle über ein elastisches Band verbunden und kommuniziert über Bluetooth mit der loadsol-App auf einem mobilen Endgerät (Smartphone/Tablet/Portable Media Player). Die beim Gehen auftretende Kräfte (20 - 2500 Newton) werden nach Kalibrierung in Echtzeit übertragen (Abb. 9) und daraus die mittlere Kontaktzeit / Schritt [ms], die mittlere maximale Kraft / Schritt [N] und der Factor of Imbalance (FOIB)⁽¹⁾ errechnet.

$$(1) \text{ FOIB} = \frac{|\text{FTI}_L - \text{FTI}_R|}{\text{FTI}_L + \text{FTI}_R}$$

FTI_L = Kraft-Zeit-Integral der linken Sohle [Ns]

FTI_R = Kraft-Zeit-Integral der rechten Sohle [Ns]

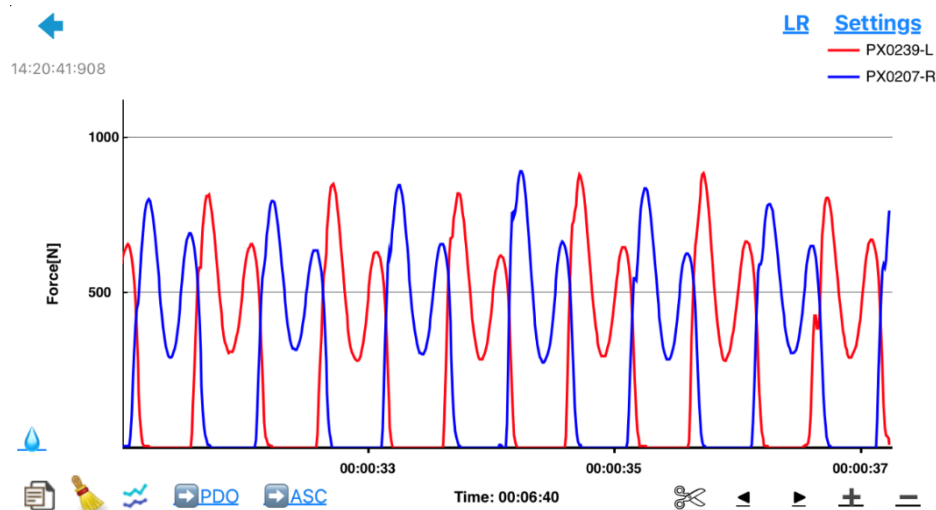


Abb. 9: Exemplarische Darstellung der dynamischen Messung der Bodenreaktionskräfte in Echtzeit

Zur Studienuntersuchung trugen alle Patienten identisches festes Schuhwerk (Sportschuh aus Nylon-Mesh, bestellt über BAUR Versand, Burgkunstadt, Deutschland; Art.Nr. 057933P; Konfektionsgröße 36 - 46) mit den zur Schuhgröße passenden Kraftmesssohlen.

Nach Eingabe von Studien-ID und Gewicht zur Kalibrierung der Sohlen liefen die Patienten auf definierten Wegstrecken mit verschiedenen Untergründen mit selbstgewählter Komfortgeschwindigkeit. Die erste Wegstrecke war ein gerader, ebener Flur mit einer Länge von ca. 54 m im Zentrum für Innere Medizin der Universitätsmedizin Rostock. Auf diesen Flur sind die Patienten ca. 80 m gegangen,

bevor sie im Treppenhaus zwölf Stufen (ein Stockwerk) hinab und nach direkter Wendung wieder hinauf gingen. Als letztes durchliefen die Patienten einen Parcours am Außengelände, der einen geraden gepflasterten Weg (Abb. 10 ;A), einen Abschnitt mit Kopfsteinpflaster (Abb. 10; B) und einen Abschnitt mit gewachsenem Grund (Abb. 10; C) beinhaltete (insgesamt ca. 250 m). Auf allen Wegen wurden die Ergebnisse der dynamischen Druckmessung mit dem Tablet (iPad, 5. Generation; loadsol-App Version 1.2 bis 1.5.10) registriert.



Abb. 10: Wegstrecke des Außenparcours: gepflasterter Weg (A), Kopfsteinpflaster (B) und gewachsener Grund (C)

3.4 Statistische Auswertung

Die Daten wurden in Excel gespeichert. Die statistische Auswertung wurde mit SPSS (IBM SPSS Statistics GmbH) und die Erstellung der Graphen mit SigmaPlot (Systat Software GmbH, Version 10.0 und 13.0) durchgeführt. Die Erhebung der Bodenreaktionskräfte erfolgte mit der loadsol-App (Version 1.2 bis 1.5.10).

Die Normalverteilung der Daten wurde mit dem Shapiro-Wilk-Test geprüft. Normalverteilte Daten sind als Mittelwert $\pm$ Standardabweichung, nicht normal verteilte Daten als Median mit Bereich (Min.-Max.) angegeben.

Für Gruppenvergleiche wurde mit Blick auf die geringe Gruppengröße grundsätzlich nicht-parametrische Testverfahren angewendet. Bei ungepaarten Proben wurde der Mann-Whitney-U-Test, bei gepaarten Proben der Wilcoxon-Test und bei mehreren Stichproben der Kruskal-Wallis-Test verwendet. Unterschiede in der Häufigkeit nominaler Eigenschaften bei Patienten und Kontrollen wurden mit dem χ^2 -Test auf Signifikanz geprüft.

Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt und alle Tests sind zweiseitig.

4 Ergebnisse

4.1 Retrospektive Einteilung der Tibiakopffrakturen in die Klassifikationssysteme

Retrospektiv konnten 157 Patienten, die zwischen 01/2012 und 12/2016 mit einer TKFx in der Klinik für Unfall- Hand- und Wiederherstellungschirurgie der Universitätsmedizin Rostock behandelt wurden, identifiziert werden. 132 Patienten erfüllten die Einschlusskriterien und die Fraktur konnte anhand der präoperativen Bildgebung gemäß den Kriterien von Schatzker (n=124), AO (n=132) und der Drei-Säulen-Klassifikation (nach Luo) (n=110) kategorisiert werden. 8 Frakturen fanden keine Einteilung nach Schatzker (reine Fraktur der Eminentia intercondylaris, mediale Impressionsfrakturen). 22 Frakturen wiesen eine intakte Kortikalis auf, zählen nach den Kriterien der Drei-Säulen-Klassifikation als Null-Säulen-Fraktur und wurden für die weiteren Auswertungen nicht mit einbezogen (Abb. 11; C). Gründe für die nicht erfüllten Einschlusskriterien waren z.B. zusätzliche Tibiaschaftfrakturen, bilaterale TKFx, fehlende CT und Polytraumata mit multiplen Frakturen der unteren Extremitäten.

Zusätzlich wurden AO- und Schatzker-Klassifikation nach einer eigens erstellten Gruppierung nach Schweregrad in einfache und komplexe Frakturmuster kategorisiert (Abb. 11; A; B). Die Komplexität der TKFx bezieht sich nachfolgend lediglich auf das Frakturmuster und nicht auf Begleitverletzungen.

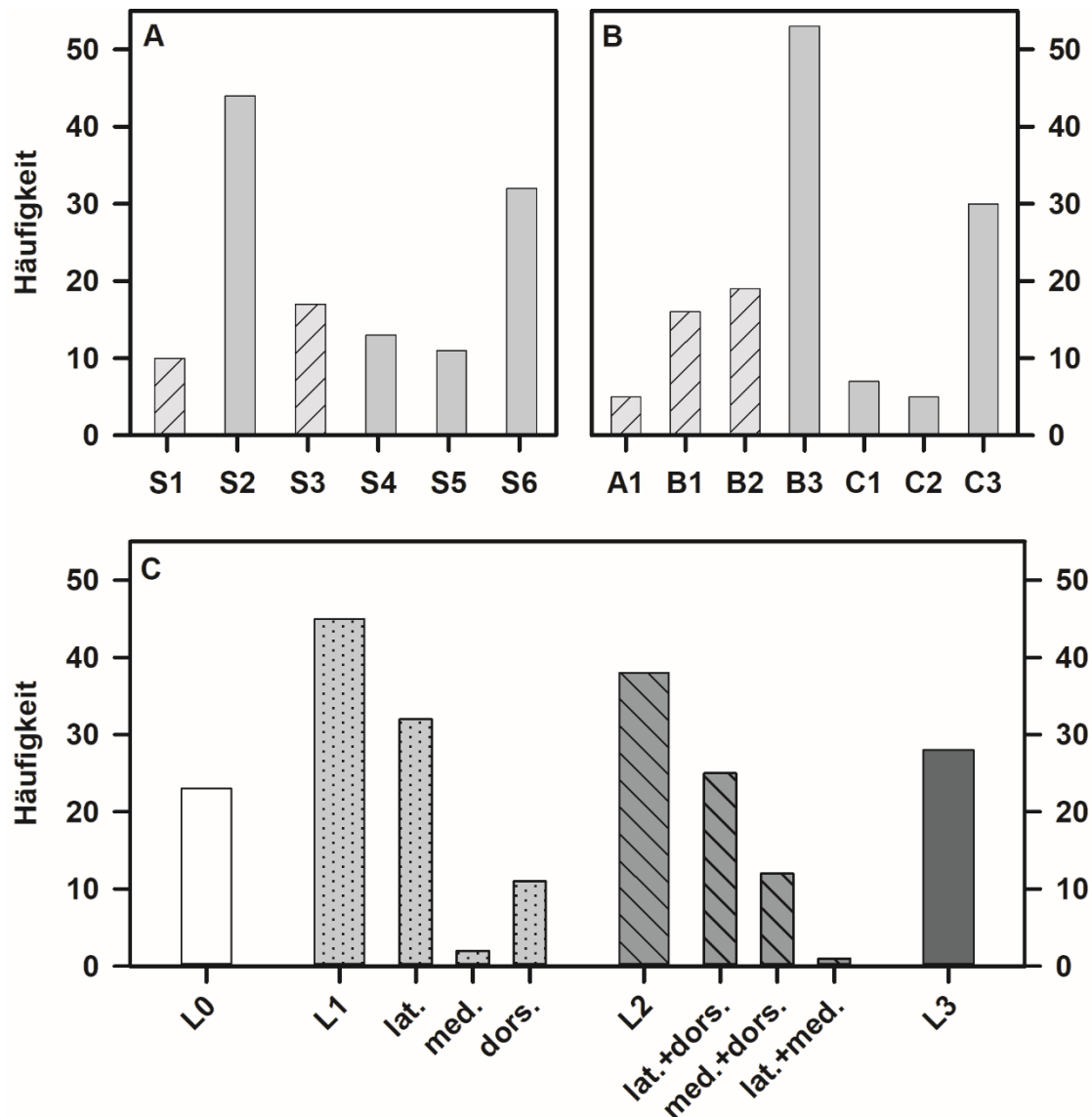


Abb. 11: Die auf die Frakturtypen bezogenen Häufigkeiten für die Klassifikationen nach Schatzker (A) (n=124), AO (B) (n=132) und Luo (C) (L1-L3 n=110; L0 n=22)

A; B: Kategorisierung als einfaches Frakturmuster  und
komplexes Frakturmuster 

C: L0-L3 = Anzahl beteiligter Säulen nach Drei-Säulen-Klassifikation

lat. = lateral; med. = medial; dors. = dorsal: Untergliederung von L1 und L2

Es zeigte sich, dass die laterale und dorsale Säule am häufigsten frakturieren (Abb. 11; C) und bei 56,8% (75 Patienten) die dorsale Säule beteiligt war.

In Tabelle 1 sind die Häufigkeiten der nach Schatzker und AO klassifizierten Frakturen entsprechend des Schweregrades kategorisiert und in Relation zur Beteiligung der ventralen und dorsalen Säulen gesetzt. Eine einfache Fraktur nach Schatzker bzw. AO betrifft seltener die dorsale Säule des Tibiakopfes (3 von 9 vs. 10 von 19), wohin gegen bei komplexen Frakturen über 55% der Fälle eine Beteiligung der dorsalen Säule aufweisen.

Tab. 1: Unterteilung der TKFx nach Schweregrad in Relation zur Beteiligung der Säulen nach der Drei-Säulen-Klassifikation

	Drei-Säulen-Klassifikation (n=105*)	
	ventrale Säulen	dorsale Säule
Schatzker (n=105*)		
einfach (n=9)	6	3
komplex (n=96)	29	67

	Drei-Säulen-Klassifikation (n=110)	
	ventrale Säulen	dorsale Säule
AO (n=110)		
einfach (n=19)	9	10
komplex (=91)	26	65

*: Vermindertes n bei nicht möglicher Klassifizierung nach Schatzker

4.2 Beschreibung des Patientenkollektivs

Von 132 eingeladenen Patienten reagierten 105 Patienten bzw. Angehörige auf die Studieneinladung, 88 Patienten schickten den ausgefüllten Fragebogen zurück und 58 dieser Patienten haben an der Studienuntersuchung teilgenommen (Abb. 12).

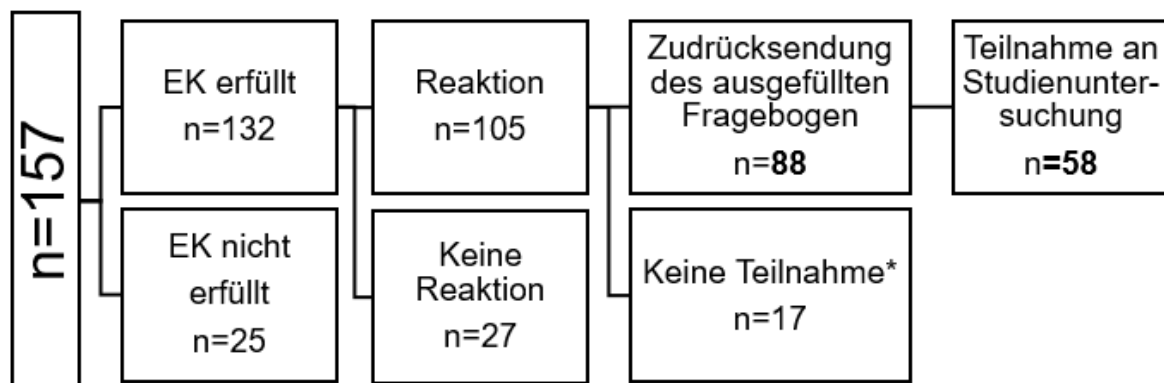


Abb. 12: Übersicht über das Patientenkollektiv

EK = Einschlusskriterien

* Gründe für den nicht ausgefüllten Fragebogen waren: fehlendes Interesse (n=4), Patiententod (n=8) und persönliche Umstände (n=5)

4.3 Auswertung des KOOS-Fragebogens

39 Männer und 49 Frauen (Medianes Alter: 57 Jahre; Min-Max: 23-81 Jahre) sendeten den ausgefüllten Fragebogen zurück. In der Kategorie Sport antworteten 10 Patienten und in der Kategorie Lebensqualität ein Patient nicht ausreichend (Tab. 2).

In den Kategorien Schmerz, Symptome und Aktivitäten des alltäglichen Lebens waren die Patienten im Median mit dem postoperativen Ergebnis zufrieden. Bei sportlichen Aktivitäten/Freizeit zeigten sich deutliche Einschränkungen. Oftmals war es für Patienten nicht mehr möglich, Tätigkeiten wie Knien, in die Hocke gehen, Hüpfen oder Rennen auszuführen. Auch in ihrer Lebensqualität fühlten sich die Patienten nach einer TKFx einschränkt. Sie mussten teilweise ihre Lebensweise anpassen, um mit den aufgetretenen Schwierigkeiten im Alltag (z.B. bei der Gartenarbeit) umzugehen.

Tab 2: Ergebnisse des KOOS-Fragebogen für alle Patienten und in Relation zur Drei-Säulen-Klassifikation

	Score in der Kategorie				
	Schmerz	Symptome	Aktivität	Sport *	QoL *
Alle Patienten (n=88)	67 (6-100)	64 (4-100)	71 (9-100)	34 (0-100)	38 (0-100)
Dorsale Beteiligung					
ja (n=54)	65 (6-100)	63 (11-100)	71 (13-100)	30 (0-100)	38 (0-100)
nein (n=34)	68 (8-100)	64 (4-100)	70 (9-100)	35 (0-100)	41 (0-100)
Anzahl fx Säulen					
0 Säulen (n=9)	81 (11-100)	86 (13-96)	91 (12-97)	75 (0-90)	63 (6-94)
2 Säulen (n=29)	72 (19-100)	68 (21-100)	71 (16-100)	30 (0-100)	44 (0-100)

KOOS-Score: 0 = extreme Einschränkungen; 100 = keine Einschränkungen

* In der Kategorie „Sport“ gibt es Angaben von 78 Patienten, davon 47 Patienten mit dorsaler Beteiligung, 31 Patienten mit einer Fraktur ohne dorsaler Beteiligung und 25 Patienten mit einer Fraktur von zwei Säulen.

In der Kategorie „QoL“ gibt es Angaben von 87 Patienten; davon 53 Patienten mit dorsaler Beteiligung.

Darüber hinaus lässt sich feststellen, dass das subjektive Befinden der Patienten tendenziell besser ist, je geringer der Schaden durch die TKFx ist. In Abb. 13 sind exemplarisch die Befunde in Relation zur Beteiligung von einer und drei Säulen dargestellt.

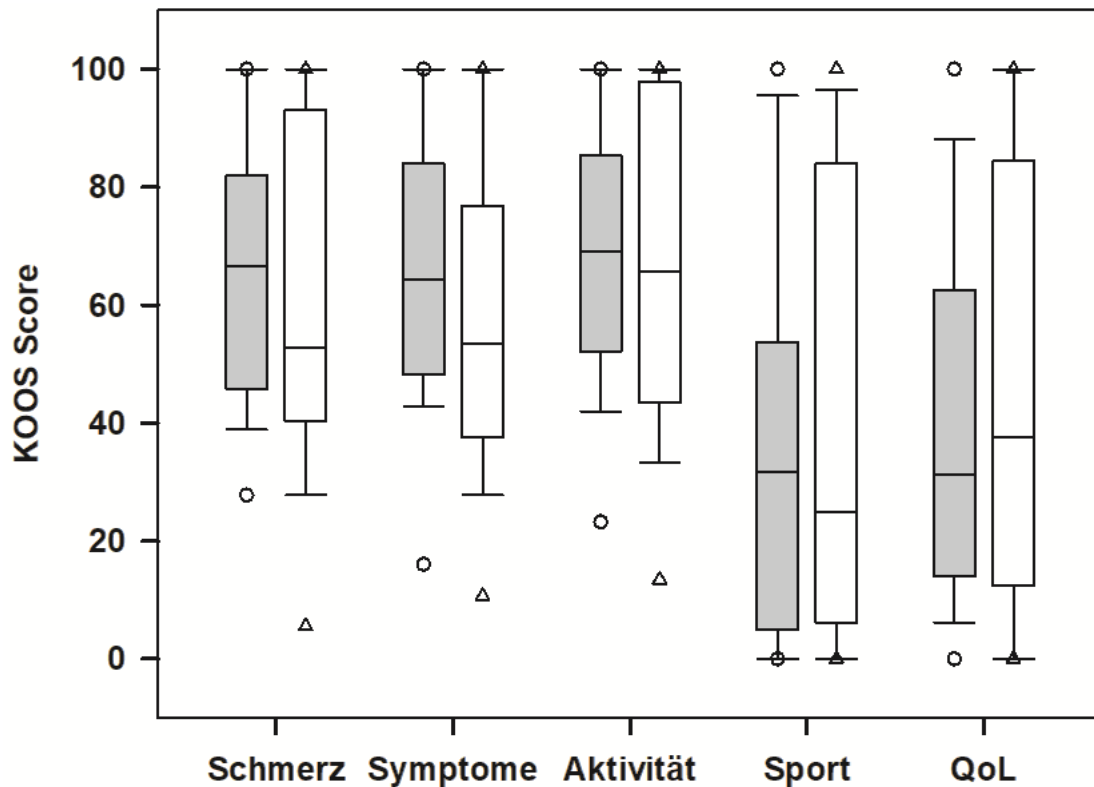


Abb. 13: Ergebnisse des KOOS-Fragebogen in Relation zur Zahl der frakturierten Säulen

grau: Frakturierung einer Säule (Kategorie Schmerz, Symptome, Aktivität n=33; Kategorie Sport n=28; Kategorie QoL n=32)

weiß: Frakturierung von drei Säulen (Kategorien Schmerz, Symptome, Aktivitäten, QoL n=17; Kategorie Sport n=16)

Zusätzlich wurde das subjektive Befinden der Patienten in Relation zum Intervall zwischen Fraktur und Fragebogen analysiert. Es zeigte sich, dass sich das Befinden der Patienten nach 6 Jahren postoperativ signifikant verbesserte (Abb. 14).

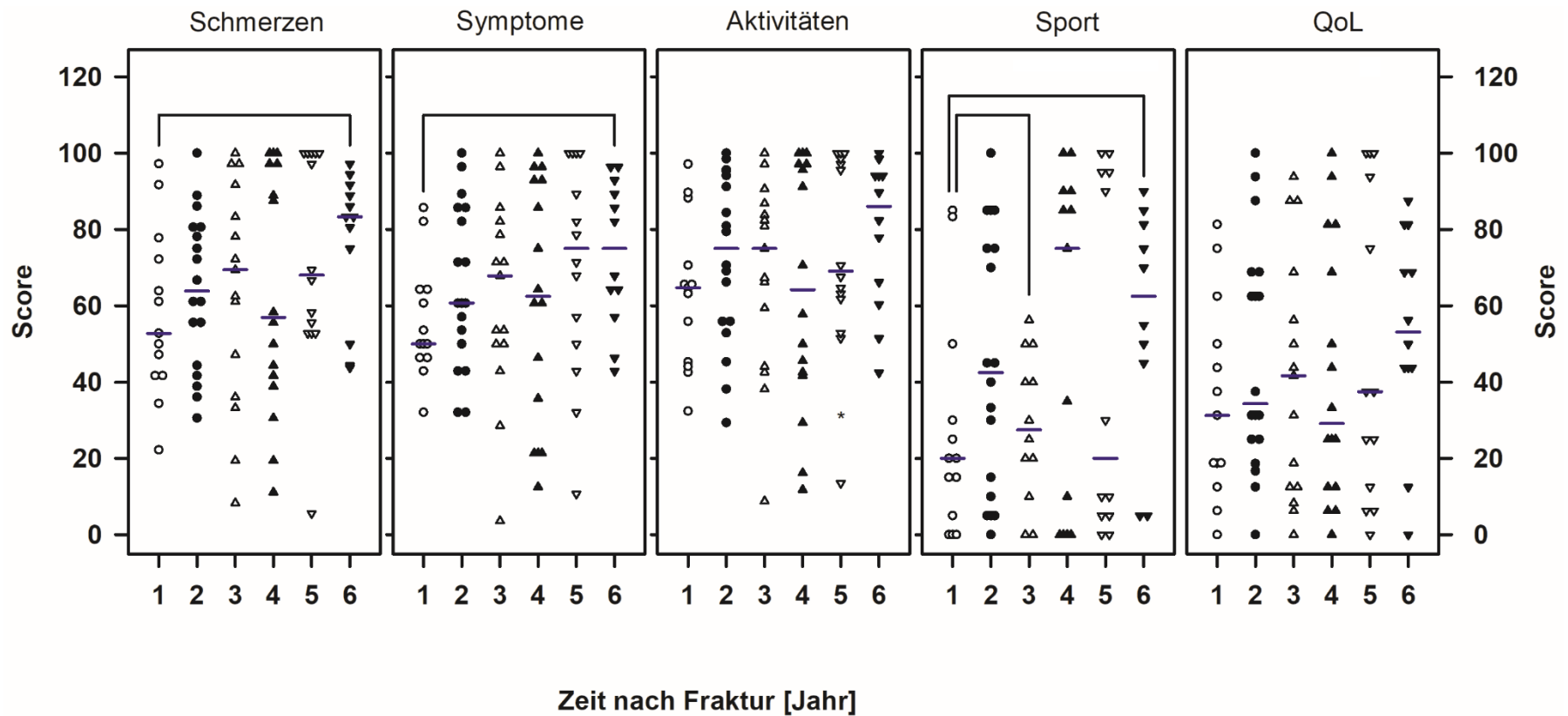


Abb. 14: Ergebnisse des KOOS-Fragebogens in Relation zum Intervall nach Fraktur

1 Jahr: n=13; 2 Jahre: n=18; 3 Jahre: n=15; 4 Jahre: n=16; 5 Jahre: n=14; 6 Jahre: n=12

Signifikante Unterschiede zwischen den Jahren sind durch die Klammern symbolisiert (jedes $p < 0,05$)

Es wurde zudem bei allen Patienten, die den KOOS-Fragebogen zurücksandten, mit Hilfe der OP-Berichte die operative Versorgung entsprechend der Drei-Säulen-Klassifikation geprüft, ob jede frakturierte Säule explizit adressiert worden ist. Bei 53 Frakturen fand eine operative Versorgung nach den Kriterien der Drei-Säulen-Klassifikation statt. In Relation zum KOOS-Fragebogen zeigte sich jedoch kein Unterschied beim subjektiven Befinden zwischen der nach Luo adäquat operierten Fraktur und der nicht adäquat operierten Fraktur.

4.4 Ergebnisse der klinischen Studienuntersuchung

4.4.1 Charakterisierung der Studienpopulation

58 Patienten und 23 Kontrollen haben an der Studienuntersuchung teilgenommen.

Die anthropometrischen Daten aller Teilnehmer sind in Tab. 3 aufgelistet und zeigen eine gute Übereinstimmung der beiden Gruppen.

Tab. 3: Anthropometrische Daten der Studienteilnehmer

	Patienten (27m/31w)	Kontrollen (10m/13w)
Alter bei Fraktur		
männlich	49 (25-75)	
weiblich	57 (23-80)	
Alter bei Untersuchung		
männlich	52 (26-77)	55 (28-69)
weiblich	60 (26-86)	56 (29-68)
Größe [m]		
männlich	1,80 (1,58-1,95)	1,80 (1,75-1,88)
weiblich	1,65 (1,50-1,73)	1,66 (1,54-1,71)
Gewicht [kg]		
männlich	85 (54-120)	85 (73-126)
weiblich	69 (51-96)	62 (55-76)
BMI [kg/m ²]		
männlich	26,3 (17,1-36,2)	26,8 (22,3-35,6)
weiblich	25,5 (18,1-37,8)	22,9 (20,1-27,8)

Tabelle 4 zeigt das Alter der Patienten zum Untersuchungszeitpunkt in Relation zum postoperativen Intervall nach Fraktur.

Tab. 4 Alter der Patienten in Relation zum postoperativen Intervall

	1 Jahr n=8	2 Jahre n=16	3 Jahre n=9	4 Jahre n=9	5 Jahre n=9	6 Jahre n=7
Alter bei Untersuchung	48 (26-60)	63 (26-77)	57 (33-69)	61 (49-68)	48 (29-75)	64 (37-86)

4.4.2 Ergebnisse der klinischen Untersuchung

Das Ergebnis der klinischen Untersuchung des Kniegelenkes zeigt Tab. 5. Die Untersuchungen zur Funktion des vorderen Kreuzbandes und des Meniskus konnte bei einer bzw. zwei Patienten schmerzbedingt nicht durchgeführt werden.

Pathologien bezogen auf die Beinachsen, die Konturen und die Stabilität des vorderen Kreuzbandes waren bei den Patienten signifikant häufiger als bei den Kontrollen zu beobachten. Kniegelenksergüsse und positive Zohlzeichen waren tendenziell bei den Patienten geringfügig häufiger als bei den Kontrollen.

Tab. 5: Ergebnisse der klinischen Kniegelenkuntersuchung

		Patienten n=58	Kontrollen n=23
Beinachsen			
gerade		36	20
varisch/valgisch		7/15	1/2
Konturen			
unauffällig		44	23
verstrichen/verplumpt		2/12	0/0
Kniegelenkserguss			
nicht vorhanden		51	23
einseitig vorhanden:	fx/nfx #	5/1	0/0
beidseitig		1	0
Zahlenzeichen			
bds. negativ		50	23
einseitig positiv:	fx/nfx #	2/5	0/0
bds. positiv		1	0
Bandstabilität			
vorderes Kreuzband			
bds. stabil		39	21
einseitig gelockert:	fx/nfx #	13/0	0/0
bds. elongiert/instabil		5	2
Seitenbänder			
bds. stabil		48	21
einseitig gelockert:	fx/nfx #	10/0	1/1
bds. elongiert/instabil		0	0
Meniskuszeichen			
bds. negativ		51	23
einseitig positiv:	fx/nfx #	4/1	0/0
bds. positiv		0	0

#: bei Kontrollen sind die Befunde der dominanten und nicht dominanten Seite angegeben

Um die Kniegelenksbeweglichkeit und den Umfang des Beines zu beurteilen, wurde die Seitendifferenz (Wert frakturiertes / nicht dominantes Bein subtrahiert von Wert gesundes / dominantes Bein) dieser Größen betrachtet (Tab. 6).

Tab. 6: Unterschiede von Beweglichkeit und Umfang zwischen frakturierten und nicht frakturierten (Patienten) bzw. dominanten und nicht dominanten Bein (Kontrolle)

	Probanden n=58	Kontrollen n=23
Streckungsdifferenz [Grad]	0 * (-5; 25)	0 * (0; 5)
Beugungsdifferenz [Grad]	10 # (-25; 50)	0 # (0; 5)
Umfangsdifferenz [cm]		
20 cm oberhalb	1 (-8; 7)	1 (-5; 2)
10 cm oberhalb	0,5 (-2,5; 5)	0,5 (-1,5; 2,5)
Kniescheibenmitte	0,5 § (-3; 2,5)	0 § (-1; 1,5)
15 cm unterhalb	0 (-3; 7)	0 (-1; 2)

*,#,§ : $p < 0,05$ beim Vergleich von Patienten und Kontrollen

Negativer Wert: frakturiertes / nicht dominantes Bein höherer Bewegungsradius / umfangreicher

Positiver Wert: gesundes / dominantes Bein höherer Bewegungsradius / umfangreicher

4.4.3 Beurteilung der Mobilität durch den Timed „Up & Go“ Test (TUG)

Alle Patienten und Kontrollen konnten den TUG absolvieren, allerdings benötigten die Patienten signifikant mehr Zeit (Pat.: 10,3 Sek. (5,7-48,7 Sek.); Ko: 8,5 Sek. (6,8-11,5 Sek.) ($p < 0,005$).

Nach Kategorisierung hinsichtlich der Beteiligung der dorsalen Säule oder der Zahl betroffener Säulen nach Luo zeigte der TUG keine Unterschiede (Ergebnisse nicht dargestellt).

4.4.4 Marker des Knochenstoffwechsels im Serum

Der fakultativen Blutentnahme stimmten 48 Patienten und 11 Kontrollen zu. In diesen Proben konnten BAP, TRAP5b, iFGF23, Klotho und Sclerostin, bestimmt werden.

Es zeigte sich kein Unterschied zwischen Patienten und Kontrollen und dem zeitlichen Intervall nach Fraktur (Abb. 15, Abb. 16).

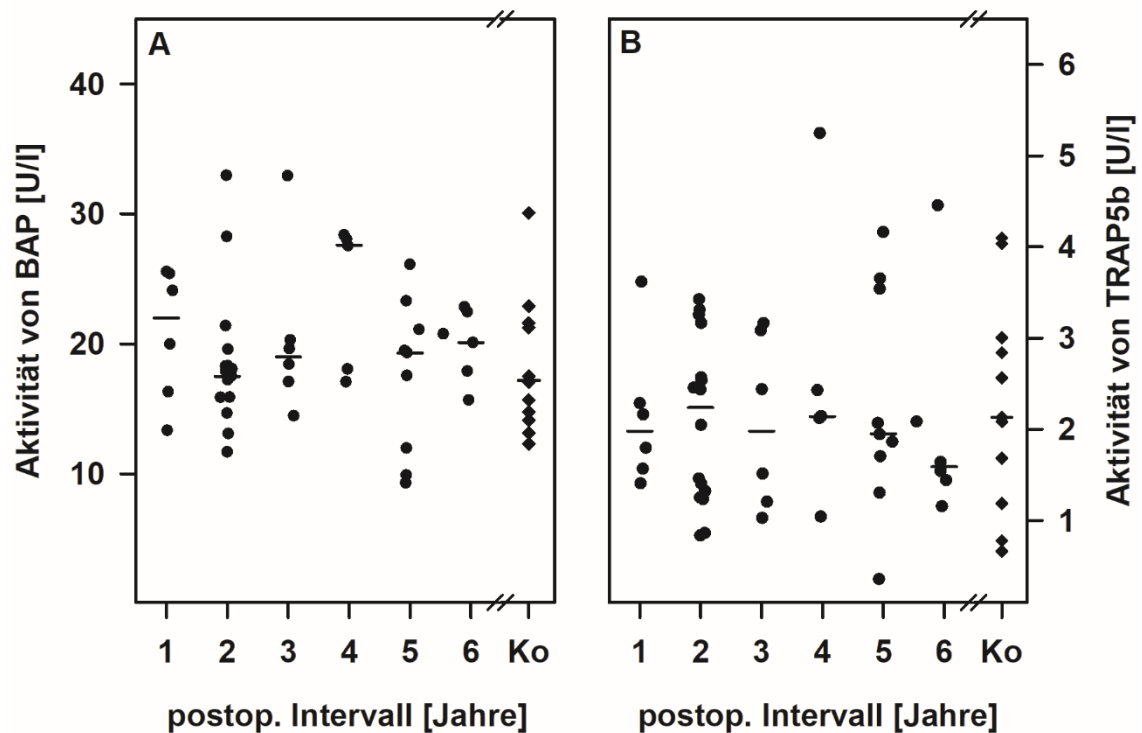


Abb. 15: Aktivität von BAP (A) und TRAP5b (B) in Relation zum postoperativen Intervall und in der Kontrollgruppe (Ko)

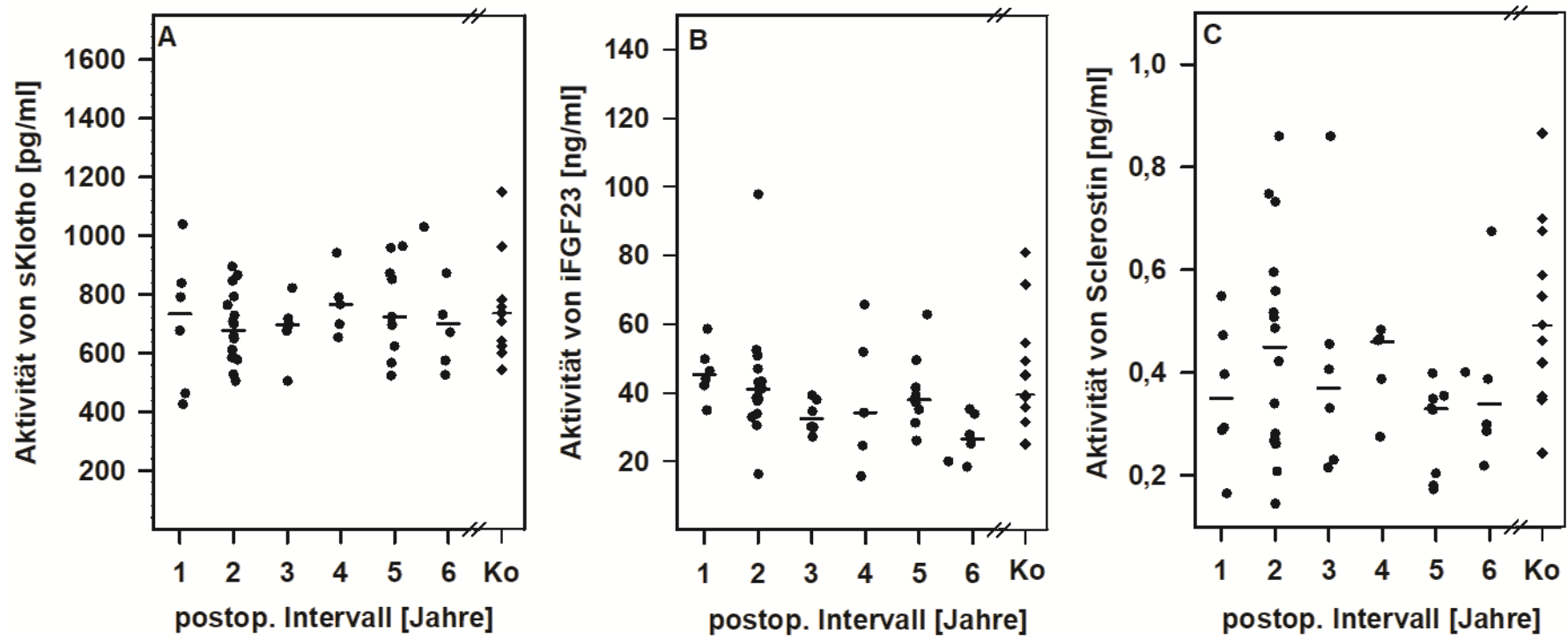


Abb. 16: Aktivität von sKlotho, iFGF23 und Sclerostin in Relation zum postoperativen Intervall und der Kontrollgruppe (Ko)

Tab. 7: Die Marker des Knochenstoffwechsels in Relation zur Drei-Säulen-Klassifikation

	BAP [U/l]	TRAP5b [U/l]	iFGF23 [pg/ml]	Klotho [pg/ml]	Sclerostin [ng/ml]
Alle Patienten (n=48)	18,4 (9,3-33,0)	2,06 (0,36-5,25)	37,9 (16-131)	699 (426-1040)	0,36 (0,15-0,86)
Dorsale Beteiligung					
ja (n=29)	19,6 (9,9-33,0)	1,95 (1,03-5,25)	37,1 (16-98)	698 (426-965)	0,33 (0,15-0,86)
nein (n=19)	17,5 (9,3-32,9)	2,14 (0,36-3,62)	40,7 (20-131)	729 (505-1040)	0,41 (0,21-0,86)
Anzahl fx Säulen					
0 Säulen (n=4)	18,0 (14,7-25,6)	1,67 (0,84-3,43)	38,2 (31-51)	688 (585-895)	0,50 (0,27-0,55)
1 Säule (n=19)	16,3 (9,3-32,9)	2,09 (0,36-3,62)	38,5 (20-313)	764 (505-1040)	0,39 (0,21-0,86)
2 Säulen (n=15)	20,1 (17,1-28,4)	2,12 (1,25-5,25)	35,2 (16-53)	696 (526-942)	0,30 (0,17-0,68)
3 Säulen (n=10)	20,2 (9,9-33,0)	1,91 (1,03-3,31)	40,3 (16-98)	677 (426-965)	0,38 (0,15-0,86)

4.4.5 Ergebnisse der Pulsechographie

Die Knochendichtemessung durch Pulsechographie konnte bei 54 Patienten und 23 Kontrollen durchgeführt werden. Bei vier Patienten war die Messung nicht möglich (zwei Patienten mit Myxödem, bei zwei Patienten Softwareprobleme). Die Knochendichten zeigten zwischen ehemals frakturierter und gesunder bzw. dominanter und nicht dominanter Körperseite keinen Unterschied und wurden daher gemittelt. Die Wahrscheinlichkeit einer Osteoporose ist für Patienten signifikant höher als für die Kontrollen (Pat.: 14 von 49 vs. Ko.: 1 von 19; χ^2 -Test $p < 0,05$) (Tab. 8).

Tab. 8: Osteoporosewahrscheinlichkeit bei Patienten und Kontrollen

	Wahrscheinlichkeit der Osteoporose		
	niedrig	moderat	hoch
Patienten	35	5	14
Kontrollen	18	4	1

Mit zunehmender Komplexität der Fraktur nimmt die Knochendichte ab (Tab. 9).

Tab. 9: Mittlere Knochendichte in Relation zur Drei-Säulen-Klassifikation

	mittlere Knochendichte [g/cm ²]
dorsal beteiligt (n=33)	0,89 (0,68-1,12)
dorsal nicht beteiligt (n=22)	0,94 (0,76-1,17)
0 Säulen (n=5)	0,95 (0,91-1,17) §
1 Säule (n=20)	0,94 (0,68-1,12)
2 Säulen (n=18)	0,89 (0,70-1,12)
3 Säulen (n=11)	0,89 (0,75-1,06) §

Hochgestellte Symbole bezeichnen einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen (§: $p < 0,05$).

Die Knochendichte und die tibiale Kortikalisdicke war unabhängig vom zeitlichen Intervall nach Fraktur (Ergebnisse nicht dargestellt).

Zusätzlich zeigte sich, dass die Kortikalis an der proximalen Tibia auf der frakturierten Seite signifikant dünner ist als auf der nicht frakturierten Seite (Tab. 10).

Tab. 10: Die Dicke der tibialen Kortikalis auf der frakturierten und gesunden Seite in Relation zur Drei-Säulen-Klassifikation

	tibiale Kortikalisdicke fx [mm]	tibiale Kortikalisdicke nfx [mm]
insgesamt (n=54)	2,4 (1,0-4,6)*	2,9 (1,0-5,6)*
dorsal beteiligt (n=32)	1,8 (1,0-4,3)	2,9 (1,0-4,4)
dorsal nicht beteiligt (n=22)	2,8 (1,1-4,6)	2,9 (1,3-4,2)
0 Säulen (n=5)	3,3 (1,1-4,4)	2,9 (2,5-3,8)
1 Säule (n=20)	2,7 (1,1-4,6)	2,8 (1,3-4,3)
2 Säulen (n=18)	2,4 (1,1-4,3)	3,1 (1,0-4,3)
3 Säulen (n=11)	1,6 (1,0-3,6)	2,7 (1,2-3,6)

* : $p < 0,05$

4.4.6 Funktionsbewertung durch die dynamische Messung der Bodenreaktionskräfte

Alle Patienten waren in der Lage, die ebene Strecke auf dem Flur zu gehen. Drei Patienten war es wegen der Benutzung eines Rollators nicht möglich, die Treppe und den Außenparcours zurück zu legen.

Für die Auswertung wurden die drei Wegstrecken im Außengelände als „Gehweg“ zusammengefasst. Es zeigte sich, dass die Patienten das gesunde Bein länger und mit mehr Gewicht belasten als die ehemals frakturierte Seite. Signifikante Unterschiede der Bodenreaktionskräfte zwischen ehemals frakturierter und gesunder Seite traten auf allen drei Wegstrecken auf. Ebenso war die Kontaktzeit beim Gehen auf einer Treppe unterschiedlich (Abb. 17).

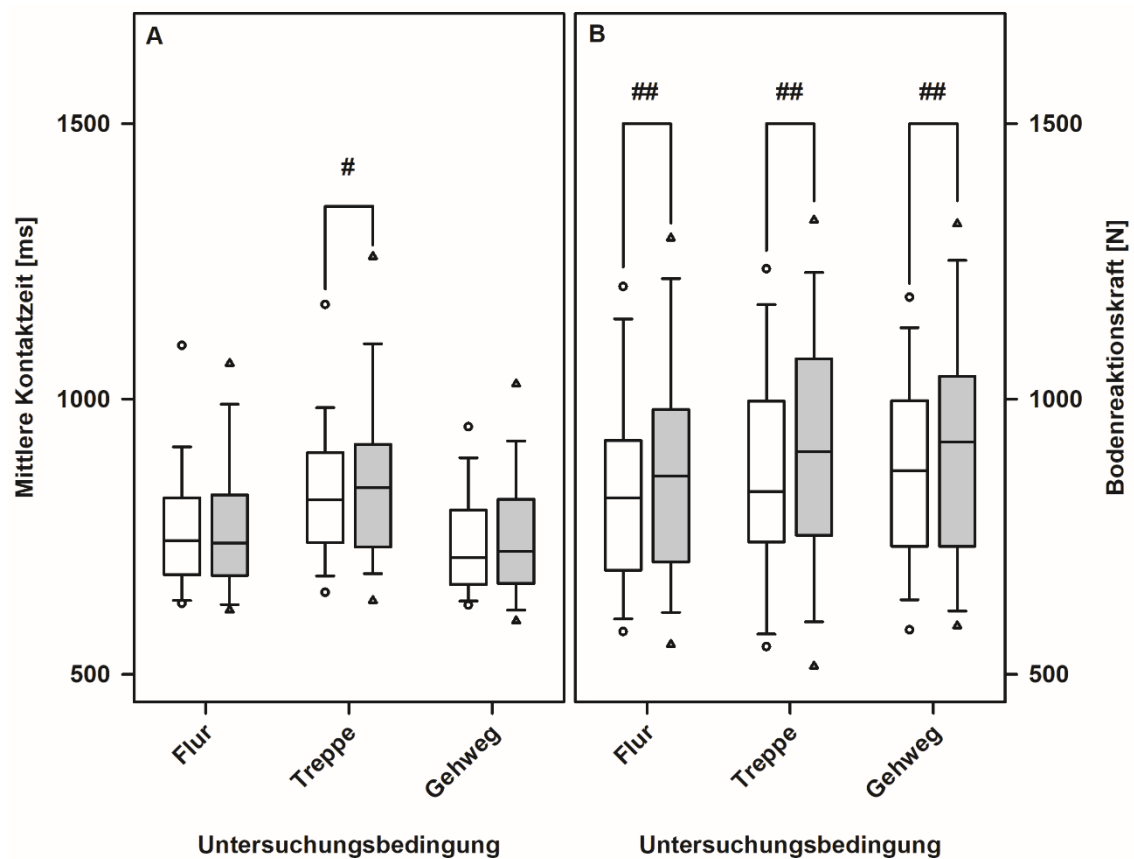


Abb. 17: Ergebnisse der Ganganalyse: Kontaktzeit und Bodenreaktionskräfte

Mittlere Kontaktzeit pro Schritt (A) und mittlere Bodenreaktionskraft pro Schritt (B) für die ehemals frakturierte Seite (weiß) und nicht frakturierte Seite (grau) in Relation zu den Eigenschaften des Untergrundes

#: $p < 0,05$, ##: $p < 0,005$

Der Factor of Imbalance (FOIB) unterschied sich zwischen Patienten und Kontrollen auf ebener Strecke nicht. Sobald der Untergrund anspruchsvoller wurde (Treppen, gepflasterter Gehweg, Kopfsteinpflaster und gewachsenem Grund) zeigten sich zur Kontrollgruppe jeweils signifikante Unterschiede (Abb. 18).

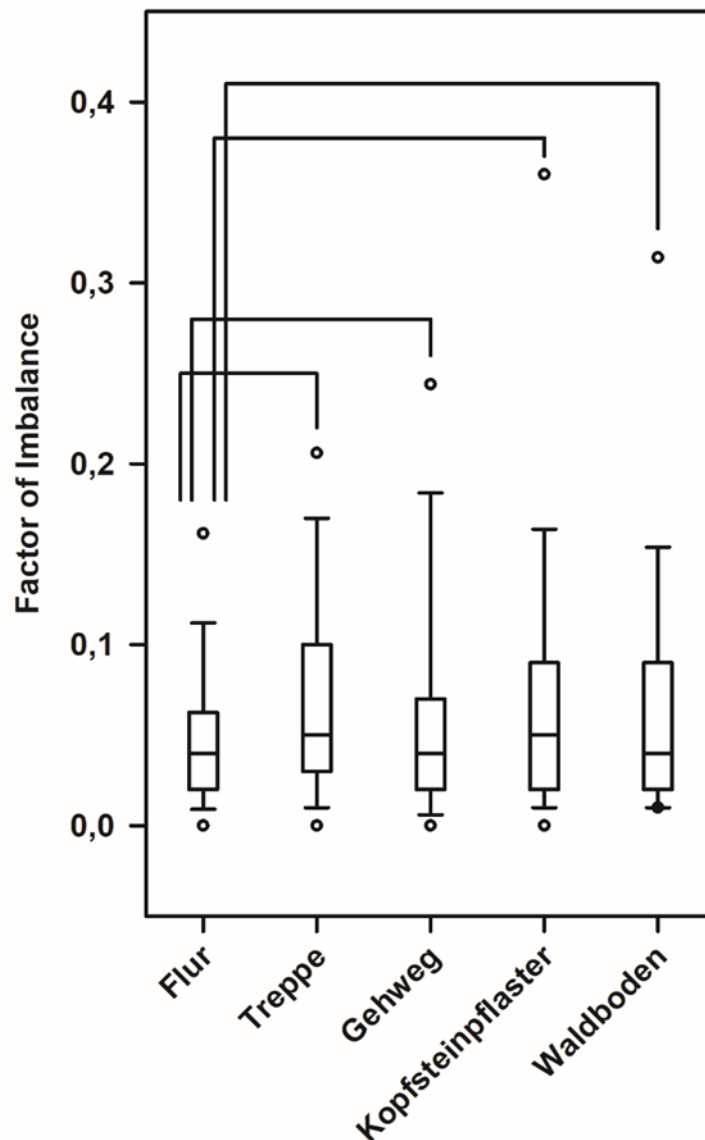


Abb. 18: FOIB nach TKFx in Relation zu den Untergründen

Signifikante Unterschiede zwischen der ebenen Flurstrecke und den anspruchsvolleren Untergründen sind durch die Klammern symbolisiert (jedes $p < 0,01$)

Der FOIB war unabhängig vom Intervall nach Fraktur und der Drei-Säulen-Klassifikation (Ergebnisse nicht dargestellt).

4.4.7 Ergebnisse der Studienuntersuchung in Relation zur adäquaten operativen Versorgung nach Luo

Die Ergebnisse des TUG, die gemittelten Knochendichte und der FOIB wurden in Relation zur operativen Versorgung entsprechend den Kriterien der Drei-Säulen-Klassifikation gesetzt (Tab. 11).

Tab. 11 Operative Versorgung entsprechend dem Drei-Säulen-Konzept (nach Luo) in Relation zu den verschiedenen Studienuntersuchungen

	operative Versorgung entsprechend der Kriterien nach Luo	
	ja n=31	nein n=27
Timed up and go-Test [sec]	9,5 (5,7-17,5)	10,5 (7,1-48,7)
gemittelte Knochendichte * [g/cm ²]	0,94 (0,75-1,17)	0,88 (0,68-1,12)
FOIB		
Flur	0,03 (0,00-0,38)	0,04 (0,00-0,45)
Treppe [#]	0,05 (0,00-0,30)	0,05 (0,00-0,20)
Gehweg [#]	0,04 (0,00-0,60)	0,05 (0,01-0,30)

[#] für diese Wegstrecken lagen folgende Daten vor:

Treppe: 30 Patienten der Kategorie „ja“, 24 der Kategorie „nein“

Gehweg: 31 Patienten der Kategorie „ja“, 24 der Kategorie „nein“

Das jeweilige funktionelle Outcome zwischen den Gruppen unterschied sich nicht.

5. Diskussion

Anlass für diese retrospektive Studie war die Vermutung, dass die bisher gängigen Klassifikationssysteme für die Tibiakopffraktur Ausmaß und Bedeutung einer Beteiligung der dorsalen Gelenkabschnitte unterbewerten und dies zu einem schlechteren Outcome der Versorgung führt.

In dieser Studie wurde von 88 Patienten mit TKFx ein spezifischer Fragebogen nach Knieverletzungen ausgewertet und bei 58 Patienten anschließend das funktionelle Outcome bei einer einmaligen Studienuntersuchung bewertet.

TKFx sind häufig postoperativ mit persistierenden Einschränkungen behaftet. Die subjektiven Beschwerden der Patienten wiesen eine große Variabilität und besonders Beeinträchtigungen in der Lebensqualität und der Freizeit/Sport auf. Die Funktionalität des Kniegelenkes und die Mobilität der Patienten wiesen ebenfalls quantifizierbare Einschränkungen auf, welche sich im Laufe der Jahre nicht mehr deutlich verbesserten.

Ein schlechteres Outcome bei Beteiligung der dorsalen Tibiasäule konnte nicht nachgewiesen werden.

5.1 Tibiakopffrakturen und ihre Klassifikationssysteme

Es gibt keinen verbindlichen Standard für die Klassifikation der TKFx, sondern mehrere verwendete Kategorisierungen, die je nach Begleitverletzungen, Unfallmechanismus und unterschiedlicher landesspezifischer Etablierung variieren. Für ein gutes Klassifikationssystem ist eine gute Reproduzierbarkeit zwischen den Behandlern wichtig, sie sollte als Leitfaden für die Behandlung dienen und ggf. eine Prognoseabschätzung zulassen (Zhu et al. 2013). Für diese Studie wurden die seit Jahrzehnten gängigsten Systeme nach Schatzker (Schatzker 1974) und AO (Müller 1990) herangezogen, die sich, wie die Drei-Säulen-Klassifikation, an der radiologischen Frakturmorphologie orientieren. Die beiden Kategorisierungen geben erste Hinweise auf die Komplexität der Fraktur, gelten weiterhin als primärer Standard und dienen als Behandlungsleitfaden für einfache Frakturen (Mthethwa et al. 2018).

In der Literatur sind am häufigsten die Klassifikationseinteilung 2 (35%) und 6 (21%) nach Schatzker und B3 (37%), C3 (21%) und B1 (18%) nach AO beschrieben (Albuquerque et al. 2013). Dies spiegelt sich auch in dieser Studie weitgehendst wieder (Schatzker 2 (33%), 6 (22%); AO B3 (40%), C3 (22%), B1 (12%)).

In dieser Studie fand eine eigens erstellte Unterteilung der AO- und Schatzker-Klassifikation in „einfache“ und „komplexe“ Fraktur statt, um aufzuzeigen, dass es sich bei TKFx überwiegend um komplexe Frakturen handelt.

In der Literatur wird kontrovers diskutiert, ob eine routinemäßige CT die präoperative Planung im Vergleich zu Röntgenaufnahmen wirklich beeinflusst. Während einige Autoren postulieren, dass das CT den Behandlungsplan signifikant geändert hat, sehen andere keine signifikanten Vorteile gegenüber der Verwendung des CT (Chan et al. 1997; Markhardt et al. 2009; Brunner et al. 2010; te Stroet et al. 2011; Lima Lopes et al. 2014).

Die CT gewinnt in der Planung der operativen Versorgung der Tibiakopffrakturen zunehmend an Bedeutung. Die Klassifikation nach Luo bietet eine einfache und gut reproduzierbare Klassifikationsmöglichkeit der TKFx, die insbesondere auch die dorsalen Gelenkabschnitte berücksichtigt. Die Einteilung gibt dem Operateur Entscheidungshilfen bei der Planung von Zugang und Art der operativen Versorgung. Sie wird vor allem bei komplexen TKFx nach Hochrasanztraumata empfohlen (Zhu et al. 2013; Kokkalis et al. 2016; Reul et al. 2017; Trikha et al. 2019). Studien zeigen ebenfalls eine gute Reproduzierbarkeit der Drei-Säulen-Klassifikation zwischen den Anwendern, die von Zuh et al. höher als bei der Schatzker- und AO-Klassifikation eingestuft wird (Zhu et al. 2013; Patange Subba Rao et al. 2014; Hoekstra et al. 2017).

Eine aktualisierte Fassung der Drei-Säulen-Klassifikation (Wang et al. 2016) bezieht zusätzlich den Verletzungsmechanismus in der präoperativen Planung mit ein, wurde in dieser Studie aber nicht mit berücksichtigt. Auch das Osteosynthesematerial und -verfahren wurde nach dem Drei-Säulen-Konzept aktualisiert, so dass durch einen lateralen operativen Zugang das laterale Fragment der dorsalen Säule mit versorgt wird und kein expliziter posteriorer Zugang nötig ist (Hoekstra et al. 2017). Auch finden sich in der Literatur mittlerweile Klassifikationen, die auf dem Prinzip der Drei-Säulen-Klassifikation aufgebaut sind, so z.B. die „10-Segment-Klassifikation“ (Krause et al. 2016).

5.2 Outcome nach operativ versorgter Tibiakopffraktur

Sowohl das subjektive als auch das funktionelle Outcome der Patienten zeigt eine große Variabilität. Dies hängt größtenteils von der Frakturmorphologie ab. TKFx haben eine hohe Komplexität und Variabilität in Kombination mit Weichteilverletzungen und einer großen Auswahl an Fixierungsmethoden, sodass eine Standardisierung der Therapie sich häufig schwierig gestaltet (Kokkalis et al.

2016). Langfristige klinische Studien zeigen, dass TKFx einen großen Einfluss auf die zukünftige sportliche Aktivität der Patienten haben und verdeutlichen, dass die Schwere der Fraktur mit einem schlechteren Outcome und einer geringeren Wahrscheinlichkeit, wieder sportlich aktiv zu sein, einhergeht (Kraus et al. 2016).

Die Fragen des Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) (Roos et al. 1998; Kessler et al. 2003) spiegeln weitgehend subjektive Anzeichen und Symptome des Kniezustandes wieder und wie sich dies auf alltägliche Aufgaben auswirkt. Es wird davon ausgegangen, dass in den Kategorien Schmerz, Symptome, Aktivitäten des alltäglichen Lebens und sportliche Aktivität/Freizeit beim KOOS der emotionale Einfluss relativ gering ist, ausgenommen von der Lebensqualität, die die emotionalste Komponente des Fragebogens darstellt und am wahrscheinlichsten durch andere Lebensereignisse beeinflusst werden kann (Collins et al. 2011).

Am häufigsten wurden die Fragen in der Kategorie sportliche Aktivitäten und Freizeit nicht beantwortet. Das Nichtbeantworten dieser Fragen liegt einerseits daran, dass der Median des Alters der Patienten bei 57 Jahren liegt und sportliche Aktivitäten wie Rennen und Hüpfen in diesem Alter häufig nicht mehr regelmäßig ausgeübt werden, andererseits haben viele Patienten nach einer TKFx Schwierigkeiten und können extreme Kniebewegungen (z.B. in die Hocke gehen, Hinknien) nicht mehr schmerzfrei und in vollen Bewegungsumfang ausführen. Die im gesamten Fragebogen am schlechtesten bewerteten Fragen waren die Fragen nach Schwierigkeiten beim Rennen, Hüpfen und Hinknien.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass Patienten nach TKFx vorsichtig auftreten und auch lange nach Fraktur nicht immer sichtbare, jedoch messbare Differenzen bei der Belastung der unteren Extremität bestehen. Ein Streckdefizit bewirkt ein unrundes, teils hinkendes Gangbild, ein Beugedefizit bringt Einschränkungen in alltäglichen Lebenssituationen mit sich, welche sich negativ auf die Lebensqualität der Patienten auswirken. Dies spiegelt sich auch in der Mobilität und der Ganganalyse wider, wo nicht immer sichtbare, jedoch messbare Differenzen dokumentiert wurden.

Tendenziell ist zu sehen, dass Patienten mit hoher bzw. niedriger Punktzahl im KOOS-Fragebogen auch gute bzw. schlechtere Untersuchungsergebnisse aufweisen. Jedoch sind auch hier die Ergebnisse sehr variabel und Patienten mit erheblichen bzw. keinen Einschränkungen in der Untersuchung können auch ein

gutes bzw. schlechtes subjektives Befinden äußern. Der Grund hierfür können verschiedene Faktoren sein wie der Allgemeinzustand vor der Fraktur, die körperliche Fitness, die persönlichen körperlichen Reserven, die persönliche Motivation und dem Umfang der physiotherapeutischen Nachbehandlung.

Das funktionelle Ergebnis und subjektive Befinden wird im Wesentlichen von den Spätfolgen wie Steifheit, Verlust des Bewegungsumfanges, Instabilität, Arthrofibrose und der posttraumatischen Arthrose bestimmt (Reul et al. 2017).

Die Schwierigkeiten nach TKFx im zeitlichen Verlauf zeigten in dieser Studie in den Kategorien Schmerzen, Symptome und Sport signifikante Unterschiede zwischen 1 und 6 Jahren, jedoch wurden unterschiedliche Individuen in kleinen Gruppengrößen ($n = 8$ (Min.) – 16 (Max.)) und großer Unterschiede im medianen Alter der Gruppen (48 (Min.) - 64 (Max.) Jahren) verglichen. Eine Aussage über die Beschwerden im zeitlichen Verlauf kann deswegen nur bedingt getroffen werden. Es wäre möglich, dass in den ersten Jahren nach Fraktur Patienten noch an den unmittelbaren Frakturfolgen leiden und im Verlauf zunehmend die Spätfolgen an Einfluss gewinnen, diese nach 6 Jahren noch nicht in voller Ausprägung vorhanden sein können.

Auch die Knochenqualität nimmt Einfluss auf das Outcome nach TKFx. Einhergehend mit der Anzahl der frakturierten Säulen ist eine verminderte Knochendichte und tibiale Kortikalisdicke zu beobachten, was darauf schließen lässt, dass komplexe TKFx durch eine verminderte Knochenqualität gekennzeichnet sein können und somit eine höhere Wahrscheinlichkeit für gravierendere Spätfolgen sowie Heilungskomplikationen aufweisen. Dies trifft vor allem auf weibliche Patienten zu, die bei Niedrigrasanztrauma eine TKFx erleiden.

In der Literatur wird beschrieben, dass mehr Männer durch Hochrasanztrauma um das 50. Lebensjahr als betagte Frauen eine TKFx erleiden (Albuquerque et al. 2013). Das Geschlechtsverhältnis unserer Studie spiegelte das auf Grund des relativ kleinen Patientenkollektives nicht exakt wider, kommt dem aber nahe und weist das typische Frakturalter für Männer und Frauen auf.

Eine Frakturierung der dorsalen Tibiasäule zeigte in dieser Studie keine subjektiven und klinische Unterschiede im Outcome. Zum Beginn dieser Studie war die Drei-Säulen-Klassifikation nach Luo noch wenig gebräuchlich. Die Patienten dieser Studie wurden nicht explizit nach den Kriterien der Drei-Säulen-Klassifikation

behandelt, allerdings wurde bei mehr als der Hälfte der dorsalen Frakturen die frakturierte dorsale Säule instinktiv vom Operateur primär operativ versorgt.

In der Literatur sind sich die meisten Autoren einig, dass das funktionelle Ergebnis nach komplexen TKFx vorrangig von der Qualität der exakten Gelenkreposition abhängt und der Frakturtyp als unabhängiger Prädiktor angesehen werden kann (Bhattacharyya et al. 2005; Barei et al. 2006; Manidakis et al. 2010; Hoekstra et al. 2015; van Dreumel et al. 2015; Kokkalis et al. 2016; Trikha et al. 2019). Als Leitfaden für die Optimierung der Ergebnisse sollte neben der exakten artikulären Reposition und deren Fixierung auch gleichzeitig die mechanische Rekonstruktion unter Berücksichtigung der Weichteilverhältnisse dienen. Die Behandlung der TKFx entwickelt sich hierfür ständig weiter, was die Komplexität der Fraktur und deren unterschiedliche Ergebnissen widerspiegelt (Mthethwa and Chikate 2018).

Das Outcome nach einer TKFx hat viele Einflussfaktoren. Um die vielfältigen Behandlungsoptionen etwas zu standardisieren, wird in der Literatur neben der Schatzker- und AO-Klassifikation mittlerweile die Drei-Säulen-Klassifikation bei komplexen TKFx als Standardklassifikation mit aufgelistet (Mthethwa et al. 2018). Der Operateur kann somit bei zunehmend innovativeren Osteosynthesematerialien die Rekonstruktion des Tibiaplateau exakter planen und dem Patienten eine adäquate Versorgung ermöglichen.

5.3 Grenzen der vorliegenden Arbeit

Bei der Studie handelt es sich um eine Querschnittanalyse, bei der unterschiedliche Individuen mit unterschiedlichem postoperativem Intervall miteinander verglichen wurden. Die Vergleichbarkeit aufgrund unterschiedlicher Frakturmorphologie, unterschiedlicher OP-Techniken, Altersunterschiede, persönlicher Fitness und unterschiedlicher Motivation bei geringer Patientenzahl gestaltete sich als schwierig.

Es wäre von Vorteil gewesen, die präoperative Ausgangssituationen (Allgemeinzustand, körperliche Fitness, Mobilität, Knochenqualität, Knochenstoffwechselparameter) der Patienten zu kennen, um diese im Verlauf zu Beurteilen und Parameter wie Komorbiditäten, Patientenengagement (z.B. physikalische Therapie) und körperliche Fitness in die Bewertung mit einfließen zu lassen.

Zudem fand bei den Patienten dieser Studie nur eine retrospektive Klassifikation nach dem Drei-Säulen-Konzept statt, sodass unklar ist, ob die damit einhergehende veränderte präoperative Planung das funktionelle Outcome der Patienten beeinflusst hätte. Diese Frage wäre nur mit einem prospektiven Studiendesign zu beantworten.

5.4 Fazit und Ausblick

Die Drei-Säulen-Klassifikation nach Luo ist bei komplexen TKFx bereits etabliert und eignet sich für die Wahl der operativen Behandlungsstrategie. Die hier für vorgesehene CT ist bereits Goldstandard bei einer TKFx und bedeutet somit keinen Mehraufwand.

Die Therapie der TKFx hat sich in den letzten Jahren weiterentwickelt und die dorsale Säule hat zunehmend an Bedeutung gewonnen, sodass auch die Osteosyntheseverfahren modifiziert worden sind und eine bessere Versorgung der dorsalen Säule und somit eine exaktere Reposition möglich ist.

Es wäre eine multizentrische, longitudinale, prospektive Studie mit einem größeren Patientenkollektiv nötig, um zu zeigen, wie sich die Drei-Säulen-Klassifikation und deren verbesserte Behandlungsstrategie auf das Outcome der Patienten auswirkt.

6 Zusammenfassung

TKFx sind mit ca. 1% aller knöcherner Verletzungen seltene Frakturen, die am häufigsten zwischen dem 50. – 70. Lebensjahr auftreten und je nach Verletzungsmechanismus eine große Variabilität in der Frakturmorphologie aufweisen können. Bei jüngeren, vor allem männlichen Patienten entstehen TKFx meist durch Hochrasanztraumata (z.B. Verkehrsunfälle, Sturz aus Höhen), wohin gegen bei älteren, vor allem weiblichen Patienten TKFx durch Niedrigenergietraumata (z.B. Bagateltrauma) entstehen und auf eine Osteoporose hinweisen können.

Die Klassifizierung von Verletzungen dient als Leitfaden für die Behandlung, kann die Prognose beschreiben und soll die Kommunikation zwischen den Behandlern erleichtern. Während die Klassifikation der TKFx nach den AO- bzw. Schatzker-Kriterien auf den Befunden einer konventionellen a.p.-Röntgenaufnahme basiert, berücksichtigt die von Luo et al. eingeführte Drei-Säulen-Klassifikation die Geometrie des Tibiakopfes und beruht auf einer transversalen CT-Ansicht.

In dieser Studie wurden retrospektiv Tibiakopffrakturen anhand präoperativer CT-Aufnahmen kategorisiert und das funktionelle Outcome der Patienten analysiert. Hierfür wurden geeignete Patienten, die zwischen Januar 2012 und Dezember 2016 eine unilaterale TKFx erlitten, über das hauseigene Dokumentationssystem identifiziert und nach Überprüfung der Ein- und Ausschlusskriterien die präoperative Bildgebung reevaluiert. Während einer einmaligen Nachuntersuchung zwischen Juni 2017 und Juli 2018 wurden die Studiendaten erhoben.

132 Patienten haben die Einschlusskriterien erfüllt und die Frakturen wurden zusammen mit einem erfahrenen Unfallchirurgen der Abteilung klassifiziert. Da bei 22 Frakturen eine intakte tibiale Kortikalis bestand, wurden diese Frakturen nach den Kriterien der Drei-Säulen-Klassifikation als Null-Säulen-Fraktur gewertet und in die weitere Auswertung nicht mit einbezogen. Es zeigte sich, dass die laterale und dorsale Säule am häufigsten frakturieren und bei 56,8% (75 von 132 Patienten) die dorsale Säule mit beteiligt war.

Neben der Studieneinladung wurden die Patienten gebeten, den Fragebogen „Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)“ ausgefüllt zurück zu senden. Insgesamt zeigten die Ergebnisse von 88 Fragebögen (39m / 49w; Median des Alters: 57 Jahre) eine große Variabilität, was auf die unterschiedlichen Frakturmorphologien, unterschiedlichen OP-Techniken, Altersunterschiede, persönlicher Fitness und unterschiedlichem persönlichen Anspruch zurück zu führen

ist. In den Fragebogenkategorien Schmerz, Symptome und Aktivitäten des alltäglichen Lebens zeigten sich im Mittel die Patienten mit Einschränkungen zufriedener, wohin gegen in den Kategorien Sport/Freizeit und Lebensqualität die Patienten deutliche Einschränkungen empfanden.

Von 58 Studienteilnehmern wurden die anthropometrischen Daten erhoben, eine klinische Untersuchung des Kniegelenkes durchgeführt, die einfache Mobilität mit dem Timed „Up & Go“ Test bestimmt, eine Ganganalyse durch eine dynamische Messung der Bodenreaktionskraft durchgeführt, die Knochenqualität durch Pulsexchographie und laborchemische Marker des Knochenstoffwechsels bestimmt. Eine Kontrollgruppe (n=23) wurde generiert.

Ein Streck- und Beugedefizit, mehr Zeit zur Absolvierung des Timed „Up & Go“ Test, Imbalancen beim Gehen und eine höhere Wahrscheinlichkeit einer Osteoporose konnten bei den Patienten gegenüber den Kontrollen nachgewiesen werden.

Die Studienergebnisse in Bezug zur Drei-Säulen-Klassifikation nach Luo konnte keinen Zusammenhang mit der Frakturierung der dorsalen Säule und einem schlechteren Outcome aufzeigen.

Die Funktionalität des Kniegelenkes und das subjektive Befinden der Patienten haben viele Einflussfaktoren, diese bestmöglich minimiert werden sollten, um so eine adäquate Versorgung der Fraktur gewährleisten zu können.

7 Thesen

Tibiakopffrakturen sind mit ca. 1% aller knöcherner Verletzungen seltene Frakturen, die am häufigsten zwischen dem 50. – 70. Lebensjahr auftreten und je nach Verletzungsmechanismus ausgesprochene variable Frakturmorphologien aufweisen. Ein gutes System zur Klassifizierung von Verletzungen sollte als Leitfaden für die Behandlung dienen, die Prognose beschreiben, einfach anwendbar sein und die Kommunikation zwischen den Anwendern erleichtern.

1. In der präoperativen Diagnostik einer TKFx sollte eine CT durchgeführt werden.
2. Die Drei-Säulen-Klassifikation nach Luo hat sich als ein ausgezeichnetes präoperatives Planungstool erwiesen und kann bei der Wahl der operativen Behandlungsstrategie verwendet werden.
3. Das funktionelle Ergebnis nach TKFx ist vorrangig von der Qualität der exakten Gelenkreposition abhängig
4. Patienten weisen nach einer TKFx deutliche funktionelle Einschränkungen auf.
5. Je komplexer die Fraktur, desto schlechter ist tendenziell das subjektive Befinden und das funktionelle Outcome der Patienten.
6. Komplexe Frakturmuster treten vor allem bei Patienten mit einer verminderten Knochenqualität auf.
7. Patienten haben nach einer TKFx eine hohe Wahrscheinlichkeit an Spätfolgen zu leiden.

8 Literaturverzeichnis

- Albuquerque RPE, Hara R, Prado J, Schiavo L, Giordano V, do Amaral NP (2013). Epidemiological study on tibial plateau fractures at a level I trauma center. *Acta Ortop Bras* 21:109–115.
- Apley AG (1947). The diagnosis of meniscus injuries; some new clinical methods. *J Bone Joint Surg Am* 29:78–84.
- Barei DP, Nork SE, Mills WJ, Coles CP, Henley MB, Benirschke SK (2006). Functional outcomes of severe bicondylar tibial plateau fractures treated with dual incisions and medial and lateral plates. *J Bone Joint Surg Am* 88:1713–1721.
- Berkson EM, Virkus WW (2006). High-energy tibial plateau fractures. *J Am Acad Orthop Surg* 14:20–31.
- Bhattacharyya T, McCarty LP3, Harris MB, Morrison SM, Wixted JJ, Vrahas MS, Smith RM (2005). The posterior shearing tibial plateau fracture. *J Orthop Trauma* 19:305–310.
- Bobrich E, Haupt C, Grass R, Zwipp H (2009). Tibiakopffraktur und Luxationsfraktur. *Trauma Berufskrankh* 11:154–159.
- Brunner A, Horisberger M, Ulmar B, Hoffmann A, Babst R (2010). Classification systems for tibial plateau fractures; does computed tomography scanning improve their reliability? *Injury* 41:173–178.
- Chan PS, Klimkiewicz JJ, Luchetti WT, Esterhai JL, Kneeland JB, Dalinka MK, Heppenstall RB (1997). Impact of CT scan on treatment plan and fracture classification of tibial plateau fractures. *J Orthop Trauma* 11:484–489.

Collins NJ, Misra D, Felson DT, Crossley KM, Roos EM (2011). Measures of knee function: International Knee Documentation Committee (IKDC) Subjective Knee Evaluation Form, Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Physical Function Short Form (KOOS-PS), Knee Outcome Survey Activities of Daily Living Scale (KOS-ADL), Lysholm Knee Scoring Scale, Oxford Knee Score (OKS), Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC), Activity Rating Scale (ARS), and Tegner Activity Score (TAS). *Arthritis Care Res* 63 Suppl 11:S208-28.

Collins NJ, Prinsen CAC, Christensen R, Bartels EM, Terwee CB, Roos EM (2016). Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): systematic review and meta-analysis of measurement properties. *Osteoarthritis Cartilage* 24:1317–1329.

Ebraheim NA, Sabry FF, Haman SP (2004). Open reduction and internal fixation of 117 tibial plateau fractures. *Orthopedics* 27:1281–1287.

Fischer D-C, Mischek A, Wolf S, Rahn A, Salweski B, Kundt G, Haffner D (2012). Paediatric reference values for the C-terminal fragment of fibroblast-growth factor-23, sclerostin, bone-specific alkaline phosphatase and isoform 5b of tartrate-resistant acid phosphatase. *Ann Clin Biochem* 49:546–553.

Friederichs J, Stuby F (2019). Tibiakopf – Klassifikation und Prinzipien der Behandlung. *OP-JOURNAL* 35:93-99.

Hannon RA, Clowes JA, Eagleton AC, Al Hadari A, Eastell R, Blumsohn A (2004). Clinical performance of immunoreactive tartrate-resistant acid phosphatase isoform 5b as a marker of bone resorption. *Bone* 34:187–194.

Hing W, White S, Reid D, Marshall R (2009). Validity of the McMurray's Test and Modified Versions of the Test: A Systematic Literature Review. *J Man Manip Ther* 17:22–35.

Hoekstra H, Kempenaers K, Nijs S (2017). A revised 3-column classification approach for the surgical planning of extended lateral tibial plateau fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg* 43:637–643.

- Hoekstra H, Rosseels W, Luo C-F, Nijs S (2015). A combined posterior reversed L-shaped and anterolateral approach for two column tibial plateau fractures in Caucasians: A technical note. *Injury* 46:2516–2519.
- Jain S, Camacho P (2018). Use of bone turnover markers in the management of osteoporosis. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes* 25:366–372.
- Kessler S, Lang S, Puhl W, Stove J (2003). Der Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score--ein Funktionsfragebogen zur Outcome-Messung in der Knieendoprothetik. *Z Orthop* 141:277–282.
- Kokkalis ZT, Iliopoulos ID, Pantazis C, Panagiotopoulos E (2016). What's new in the management of complex tibial plateau fractures? *Injury* 47:1162–1169.
- Kösters C, Schliemann B, Raschke MJ (2011). Tibiakopffrakturen im Alter. *Unfallchirurg* 114:251-60.
- Kraus TM, Freude T, Stockle U, Stuby FM (2016). Pearls and pitfalls for the treatment of tibial head fractures. *Orthopäde* 45:24–31.
- Krause M, Preiss A, Müller G, Madert J, Fehske K, Neumann MV, Domnick C, Raschke M, Südkamp N, Frosch K-H (2016). Intra-articular tibial plateau fracture characteristics according to the "Ten segment classification". *Injury* 47:2551–2557.
- Kuro-o M (2011). Phosphate and Klotho. *Kidney Int Suppl* 79:S20-S23.
- Lima Lopes C de, da Rocha Cândido Filho CA, Lima E Silva TA de, Gonçalves MCK, Oliveira RL de, Lima PRG de (2014). Importance of radiological studies by means of computed tomography for managing fractures of the tibial plateau. *Rev Bras Ortop* 49:593–601.
- Luo C-F, Sun H, Zhang B, Zeng B-F (2010). Three-column fixation for complex tibial plateau fractures. *J Orthop Trauma* 24:683–692.
- Maier C, Kiener H-C, Bingel U (2016). Spezielle Unfallchirurgie (1. Auflage). Urban & Fischer. S366-S378.
- Malik S, Rosenberg N (2019). StatPearls: Tibial Plateau Fractures, Treasure Island (FL).

- Manidakis N, Dosani A, Dimitriou R, Stengel D, Matthews S, Giannoudis P (2010). Tibial plateau fractures: functional outcome and incidence of osteoarthritis in 125 cases. *Int Orthop* 34:565–570.
- Markhardt BK, Gross JM, Monu JUV (2009). Schatzker classification of tibial plateau fractures: use of CT and MR imaging improves assessment. *Radiographics* 29:585–597.
- Meinberg EG, Agel J, Roberts CS, Karam MD, Kellam JF (2018). Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. *Journal of orthopaedic trauma* 32 Suppl 1:S1-S170.
- Millar SC, Arnold JB, Thewlis D, Fraysse F, Solomon LB (2018). A systematic literature review of tibial plateau fractures: What classifications are used and how reliable and useful are they? *Injury* 49:473–490.
- Moll K-J, Moll M (2006). *Anatomie* (18. Auflage). Urban und Fischer, München. S233-S235.
- Mthethwa J, Chikate A (2018). A review of the management of tibial plateau fractures. *Musculoskeletal Surg* 102:119–127.
- Müller ME (1990). *The comprehensive classification of fractures of long bones*. Springer, Berlin. S148-S149.
- Müller-Mai C (ed) (2015). *Frakturen auf einen Blick* (1. Auflage). Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. S177-S196.
- Papagelopoulos PJ, Partsinevelos AA, Themistocleous GS, Mavrogenis AF, Korres DS, Soucacos PN (2006). Complications after tibia plateau fracture surgery. *Injury* 37:475–484.
- Patange Subba Rao SP, Lewis J, Haddad Z, Paringe V, Mohanty K (2014). Three-column classification and Schatzker classification: a three- and two-dimensional computed tomography characterisation and analysis of tibial plateau fractures. *Eur J Orthop Surg Trumatol* 24:1263–1270.
- Penido MGMG, Alon US (2012). Phosphate homeostasis and its role in bone health. *Pediatr Nephrol* 27:2039–2048.

- Podsiadlo D, Richardson S (1991). The timed "Up & Go". J Am Geriatr Soc 39:142–148.
- Reul M, Nijs S, Rommens PM, Hoekstra H (2017). Intraartikuläre Tibiakopffrakturen. Z Orthop Unfall 155:352–370.
- Roos EM, Roos HP, Lohmander LS, Ekdahl C, Beynnon BD (1998). Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)--development of a self-administered outcome measure. J Orthop Sports Phys Ther 28:88–96.
- Roßbach BP, Faymonville C, Müller LP, Stützer H, Isenberg J (2016). Lebensqualität und Arbeitsfähigkeit nach operativer Behandlung von Tibiakopffrakturen. Der Unfallchirurg 119:27–35.
- Rozell JC, Vemulapalli KC, Gary JL, Donegan DJ (2016). Tibial Plateau Fractures in Elderly Patients. Geriatr Orthop Surg Rehabil 7:126–134.
- Scharf H-P, Rüter Axel, Pohlemann T (2008). Orthopädie und Unfallchirurgie. Urban & Fischer, München. S829-S839.
- Schatzker J (1974). Compression in the surgical treatment of fractures of the tibia. Clin Orthop Relat Res 105:220–239.
- Schatzker J, McBroom R, Bruce D (1979). The tibial plateau fracture. The Toronto experience 1968--1975. Clin Orthop Relat Res 138:94–104.
- Schoepp C, Rixen D, Tingart M (eds) (2017). Kniechirurgie (1. Auflage). Urban & Fischer, München. S145-S207.
- Schünke M, Schulte E, Schumacher U (2011). Prometheus Lernatlas der Anatomie (3. Auflage). Georg Thieme, Stuttgart. S440;S446.
- Su EP, Westrich GH, Rana AJ, Kapoor K, Helfet DL (2004). Operative treatment of tibial plateau fractures in patients older than 55 years. Clin Orthop Relat Res 421:240–248.
- te Stroet MAJ, Holla M, Biert J, van Kampen A (2011). The value of a CT scan compared to plain radiographs for the classification and treatment plan in tibial plateau fractures. Emerg Radiol 18:279–283.

- Trikha V, Gaba S, Agrawal P, Das S, Kumar A, Chowdhury B (2019). CT based management of high energy tibial plateau fractures: A retrospective review of 53 cases. *J Clin Orthop Trauma* 10:201–208.
- van Bezooijen RL, Dijke P ten, Papapoulos SE, Löwik CWGM (2005). SOST/sclerostin, an osteocyte-derived negative regulator of bone formation. *Cytokine Growth Factor Rev* 16:319–327.
- van Dreumel RLM, van Wunnik BPW, Janssen L, Simons PCG, Janzing HMJ (2015). Mid- to long-term functional outcome after open reduction and internal fixation of tibial plateau fractures. *Injury* 46:1608–1612.
- Wang Y, Luo C, Zhu Y, Zhai Q, Zhan Y, Qiu W, Xu Y (2016). Updated Three-Column Concept in surgical treatment for tibial plateau fractures - A prospective cohort study of 287 patients. *Injury* 47:1488–1496.
- Wolf M (2012). Update on fibroblast growth factor 23 in chronic kidney disease. *Kidney Int* 82:737–747.
- Zhu Y, Hu C-F, Yang G, Cheng D, Luo C-F (2013). Inter-observer reliability assessment of the Schatzker, AO/OTA and three-column classification of tibial plateau fractures. *J Trauma Manag Outcomes* 7:7.
- Zhu Y, Yang G, Luo C-F, Smith WR, Hu C-F, Gao H, Zhong B, Zeng B-F (2012). Computed tomography-based Three-Column Classification in tibial plateau fractures. *J Trauma Acute Care Surg* 73:731–737.

9 Anhang

9.1 Knee and Osteoarthritis Outcome Score – German Version

Knee and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS), German version LK1.01

„KOOS“ KNIEFRAGEBOGEN

Datum: ____/____/____ Geburtsdatum: ____/____/____

Patienten Nr: _____

ANLEITUNG: Dieser Ankreuzbogen befragt Sie, welchen Eindruck Sie von Ihrem Knie haben. Die dadurch gewonnene Information wird uns helfen zu überwachen, wie es Ihnen mit Ihrem Knie geht und wie gut Sie in der Lage sind, Ihre üblichen Aktivitäten zu verrichten.

Beantworten Sie bitte jede Frage durch ankreuzen des zugehörigen Kästchens. Bitte nur ein Kästchen pro Frage ankreuzen. Wenn Sie sich unsicher sind, wie Sie die Frage beantworten sollen, wählen Sie die Antwort aus, die Ihnen am zutreffendsten erscheint.

Symptome

Diese Fragen beziehen sich auf Beschwerden von Seiten Ihres Kniegelenkes in der **vergangenen Woche**.

S1. Haben Sie Schwellungen an Ihrem Knie?

niemals	selten	manchmal	oft	immer
☐	☐	☐	☐	☐

S2. Fühlen Sie manchmal ein Mahlen, hören Sie manchmal ein Klicken oder irgendein Geräusch, wenn Sie Ihr Knie bewegen?

niemals	selten	manchmal	oft	immer
☐	☐	☐	☐	☐

S3. Bleibt Ihr Knie manchmal hängen, oder blockiert es, wenn Sie es bewegen?

niemals	selten	manchmal	oft	immer
☐	☐	☐	☐	☐

S4. Können Sie Ihr Knie ganz ausstrecken?

immer	oft	manchmal	selten	nie
☐	☐	☐	☐	☐

S5. Können Sie Ihr Knie ganz beugen?

immer	oft	manchmal	selten	nie
☐	☐	☐	☐	☐

Steifigkeit

Die nachfolgenden Fragen betreffen die Steifigkeit Ihres Kniegelenkes während der **letzten Woche**. Unter Steifigkeit versteht man ein Gefühl der Einschränkung oder Verlangsamung der Fähigkeit Ihr Kniegelenk zu bewegen.

Für jede der nachfolgenden Aktivitäten sollen Sie das Ausmaß der Schwierigkeiten angeben, welche Sie durch Ihr Kniegelenk innerhalb der letzten Woche erfahren haben.

S6. Wie stark ist Ihre KniestEIFigkeit morgens direkt nach dem Aufstehen?

keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
☐	☐	☐	☐	☐

S7. Wie stark ist Ihre KniestEIFigkeit nach dem Sie saßen, lagen, oder sich ausruhten im **Verlauf des Tages**?

keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
☐	☐	☐	☐	☐

Schmerzen

P1. Wie oft tut Ihnen Ihr Knie weh?

niemals	monatlich	wöchentlich	täglich	immer
☐	☐	☐	☐	☐

Wie ausgeprägt waren Ihre Schmerzen in der **vergangenen Woche** als Sie z.B.:

P2. sich im Knie drehen?

keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
☐	☐	☐	☐	☐

P3. Ihr Knie ganz ausstrecken?

keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
☐	☐	☐	☐	☐

P4. Ihr Knie ganz beugen?

keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
☐	☐	☐	☐	☐

P5. auf ebenem Boden gehen?

keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
☐	☐	☐	☐	☐

P6. Treppen herauf oder heruntergehen?

keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
☐	☐	☐	☐	☐

P7. nachts im Bett liegen?

keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
☐	☐	☐	☐	☐

P8. saßen oder lagen, z.B. auf der Couch?

keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
☐	☐	☐	☐	☐

P9. aufrecht stehen?

keine	schwach	mäßig	stark	sehr stark
☐	☐	☐	☐	☐

Aktivitäten des täglichen Lebens

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Leistungsfähigkeit. Hierunter verstehen wir Ihre Fähigkeit sich selbständig zu bewegen bzw. sich selbst zu versorgen.

Für jede der nachfolgenden Aktivitäten sollen Sie das Ausmaß der Schwierigkeiten angeben, welche Sie durch Ihr Kniegelenk innerhalb der **letzten Woche** erfahren haben.

Welche Schwierigkeiten hatten Sie **letzte Woche** als Sie z.B.:

A1. Treppen herunterstiegen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A2. Treppen hinaufstiegen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A3. vom Sitzen aufstanden?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

Welche Schwierigkeiten hatten Sie **letzte Woche** als Sie z.B.:

A4. standen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A5. sich bückten um z.B. etwas vom Boden aufzuheben?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A6. auf ebenen Boden gingen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A7. ins Auto ein- oder ausstiegen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A8. einkaufen gingen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A9. Strümpfe/Socken anziehen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A10. vom Bett aufstehen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A11. Strümpfe/Socken ausziehen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A12. im Bett lagen und sich drehen, ohne das Knie dabei zu beugen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A13. in oder aus der Badewanne kamen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A14. saßen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A15. sich auf die Toilette setzten oder aufstehen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A16. schwere Hausarbeit verrichteten (schrubben, Garten umgraben, ...)?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

A17. leichte Hausarbeit verrichteten (Staub wischen, kochen, ...)?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

Sport und Freizeit

Die nachfolgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Belastbarkeit im Rahmen eher sportlicher Aktivitäten. Für jede der nachfolgenden Aktivitäten sollen Sie das Ausmaß der Schwierigkeiten angeben, welche Sie durch Ihr Kniegelenk innerhalb der **letzten Woche** erfahren haben.

Hatten Sie Schwierigkeiten **letzte Woche** als Sie z.B.:

SP1. in die Hocke gingen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

SP2. rannten?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

SP3. hüpfen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

SP4. sich auf Ihrem kranken Knie umdrehen?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

SP5. sich hinknieten?

keine	wenig	einige	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

Beeinflussung der Lebensqualität durch das betroffene Knie

Q1. Wie oft spüren Sie Ihr erkranktes Knie?

nie	monatlich	wöchentlich	täglich	immer
☐	☐	☐	☐	☐

Q2. Haben Sie Ihre Lebensweise verändert um eventuell Ihrem Knie schadende Tätigkeiten zu vermeiden?

nicht	wenig	etwas	stark	vollständig
☐	☐	☐	☐	☐

Q3. Wie sehr macht es Ihnen zu schaffen, daß Ihr Knie nicht stabil ist?

gar nicht	wenig	einiges	schlimm	sehr schlimm
☐	☐	☐	☐	☐

Q4. Wie würden Sie insgesamt die Schwierigkeiten bewerten die Sie durch das Knie haben?

keine	wenig	etwas	große	sehr große
☐	☐	☐	☐	☐

Vielen Dank für die Beantwortung aller Fragen dieses Fragebogens

10 Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Thomas Mittlmeier für das Thema dieser Dissertation.

Zudem gilt mein Dank an Dr. med. Philipp Herlyn für die Unterstützung bei der Erhebung der Studiendaten.

Explizit möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. rer. nat. Dagmar-Christiane Fischer für die intensive Betreuung und den unzähligen Treffen, die mit wertvollen Erkenntnissen endeten, bedanken. Durch konstruktive Kritik und ihren kompetenten Rat hat sie einen Großteil zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Ich bedanke mich bei Frau Anja Rahn für die Aufarbeitung und Analyse der Blutproben, sowie einer sehr angenehmen Arbeitsatmosphäre.

Großen Anteil an meiner Arbeit tragen auch die untersuchten Patienten selbst, die sich die Zeit für die Teilnahme an der Nachuntersuchung nahmen.

Ich danke außerdem meiner Familie, Freunden und Kommilitonen, welche mir immer mit Rat und Tat beistanden.

Zum Schluss möchte ich mich noch bei meinem wunderbaren Ehemann für die stetige und unermüdliche Unterstützung sowie aufbauenden Worten in all den letzten Jahren bedanken.

11 Curriculum Vitae

Persönliche Daten

Name	Anja Grau
Adresse	Zanderweg 5, 18198 Kritzmow
Geburtstag	15.06.1990
Geburtsort	Forchheim (Bayern)
Familienstand	verheiratet, ein Sohn

Berufserfahrung

seit Oktober 2020	Ärztin in Weiterbildung zur Fachärztin Innere Medizin, Klinikum Südstadt Rostock
2015 – 2018	Dozentin für Erste-Hilfe-Kurse am Standort Rostock, Fa. Tronomed GmbH, Braunschweig
2009 – 2015	Medizinische Fachangestellte in der unfallchirurgischen Praxis Dres. Lang/Lechner, Spardorf (Bayern)

Abschlüsse

2020	Dritter Abschnitt der ärztlichen Prüfung (M3)
2018	Zweiter Abschnitt der ärztlichen Prüfung (M2)
2015	Erster Abschnitt der ärztlichen Prüfung (Physikum)
2013	Erhalt der fachgebundenen Hochschulreife
2009	Abschluss der Ausbildung als med. Fachangestellte
2006	Mittlere Reife

Hochschulausbildung

2019 – 2020	Praktisches Jahr der Humanmedizin
2015 – 2018	Medizinstudium (Klinik) an der Universität Rostock
2013 – 2015	Medizinstudium (Vorklinik) an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen/Nürnberg

Wissenschaftliche Arbeiten

2017-2021	Anfertigung der vorliegenden Promotion zur Untersuchung des funktionellen Outcomes 1-6 Jahre nach Tibiakopffraktur unter Berücksichtigung der Drei-Säulen-Klassifikation nach Luo
-----------	---

12 Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, Anja Grau, geboren am 15.06.1990 in Forchheim, dass ich diese Dissertation selbständig ohne Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst habe.

Diese Arbeit ist bislang keiner anderen Hochschule vorgelegt worden und auch nicht veröffentlicht worden.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Kritzmow, den 24.09.2021

Anja Grau