

Aus der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik
Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie an der
Universität Tübingen

**MRT-morphologische Varianten des Patello-femorales
Gelenkes bei Patienten mit Patellaluxationen**

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

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

**vorgelegt von
Tobias Eisenmann**

2020

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Professor Dr. S. Schröter

2. Berichterstatter: Professor Dr. T. Kluba

Tag der Disputation: 19.11.2020

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	VII
ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....	VIII
TABELLENVERZEICHNIS.....	IX
1 EINLEITUNG	1
1.1 DAS KnieGELENK UND DIE PATELLALUXATION	2
1.1.1 <i>Die Anatomie des Kniegelenkes</i>	2
1.1.2 <i>Die Patellaluxation</i>	6
1.1.3 <i>Die Versorgung der Patellaluxation</i>	8
1.1.4 <i>Fragestellung</i>	11
2 MATERIAL UND METHODEN.....	12
2.1 AUSWAHL DER PATIENTEN	12
2.2 GRUPPENEINTEILUNG	13
2.3 STUDIENBESCHREIBUNG.....	15
2.4 DIAGNOSTISCHE MRT-PARAMETER.....	16
2.4.1 <i>Tuberositas tibiae</i>	16
2.4.2 <i>Lage der Patella</i>	17
2.4.3 <i>Patella-Höhe</i>	19
2.4.4 <i>Trochleadysplasie</i>	24
2.4.5 <i>Weitere Parameter</i>	25
2.5 STATISTISCHE AUSWERTUNG.....	26
3 ERGEBNISSE	27
3.1 SULKUSWINKEL	27
3.2 LATERALE TROCHLEA-INCLINATION (LTI).....	28
3.3 TT-TG	29
3.4 INSALL-SALVATI-INDEX	31
3.5 PATELLA TILT	33
3.6 PATELLA SHIFT	34
3.7 CATON-DECHAMPS-INDEX (CDI).....	36
3.8 KOSHINO-INDEX.....	37
3.9 BLACKBURNE-PEEL-INDEX (BPI).....	40
3.10 PATELLO-TROCHLEÄRER INDEX.....	41

3.11	TIBIAL SLOPE	44
3.12	FEMORAL-PATELLA-HEIGHT-INDEX (FPHI).....	46
3.13	ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	46
4	DISKUSSION	50
4.1	LIMITIERUNG	62
5	SCHLUSSFOLGERUNG	64
6	LITERATURVERZEICHNIS.....	66
7	ANHANG	73
7.1	INFORMATION ZUR STUDIE	73
7.2	ANSCHREIBEN RADIOLOGIE.....	75
7.3	ENTBINDUNG DER SCHWEIGEPFLICHT	78
8	ERKLÄRUNG ZUM EIGENANTEIL DER DISSERTATIONSSCHRIFT	79
9	DANKSAGUNG	80

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
BGU	Berufsgenossenschaftliche Unfallklinik
BPI	Blackburn-Peel-Index
bzw.	beziehungsweise
CDI	Caton-Deschamps-Index
CT	Computertomographie
FPHI	Femoral-Patella-Height-Index
lat.	lateral
LTI	Lateraler Trochlea-Index
M	Mittelwert
Max.	Maximum
med.	medial
Min.	Minimum
mm	Millimeter
MPFL	Mediales patellofemorales Ligament
MRT	Magnetresonanztomographie
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
TT-TG	Tibial-Tuberosity-Trochlear Groove
vgl.	vergleiche

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Einteilung nach Wiberg (Quelle:Thieme [109])	2
Abbildung 2 Trochleadysplasie nach Dejour (Quelle [40])	3
Abbildung 3: Flow Chart Patienten Rekrutierung (Quelle: eigene Darstellung)	12
Abbildung 4: Flow Chart Gruppeneinteilung (Quelle: eigene Darstellung)	13
Abbildung 5: Bestimmung des TT-TG (Quelle: eigene Darstellung)	17
Abbildung 6: Bestimmung Patella tilt (nach Bildfusion, Quelle: eigene Darstellung)...	18
Abbildung 7: Bestimmung Patella shift (nach Bildfusion, Quelle: eigene Darstellung) 19	
Abbildung 8: Bestimmung Patellotrochleärer Index nach Biedert und Albrecht (2006) (Quelle: eigene Darstellung).....	20
Abbildung 9: Bestimmung des Koshino Index (Quelle: eigene Darstellung)	20
Abbildung 10: Bestimmung des Insall-Salvati-Score (Quelle: eigene Darstellung)	21
Abbildung 11: Fusionsbilder med./lat. Tibiaplateau und retropatelläre Gelenkfläche zur Ermittlung des BPI (Quelle: eigene Darstellung)	22
Abbildung 12: Ermittlung des Caton-Deschamps Index (Quelle: eigene Darstellung)..	23
Abbildung 13: Ermittlung FPHI (Quelle: [63]).....	23
Abbildung 14: Lateraler Trochlea-Index (Quelle: eigene Darstellung).....	24
Abbildung 15: Bestimmung Sulkuswinkel (Quelle: eigene Darstellung)	25
Abbildung 16: Bestimmung Tibial Slope (Quelle: eigene Darstellung).....	26
Abbildung 19: TT-TG in den Behandlungsgruppen (Quelle: eigene Darstellung).....	29
Abbildung 20: Insall-Salvati-Index in den Altersgruppen (Quelle: eigene Darstellung) 32	
Abbildung 21: Patella-Shift in den Altersgruppen (Quelle: eigene Darstellung)	35
Abbildung 22: Kohino-Index in den Behandlungsgruppen (Quelle: eigene Darstellung)	37
Abbildung 23: Koshino-Index in der Luxations-Reluxationsgruppe (Quelle: eigene Darstellung)	39
Abbildung 24: BPI in der Luxations-Reluxationsgruppe (Quelle: eigene Darstellung). 41	
Abbildung 25: Patello-trochleärer Index in den Behandlungsgruppen (Quelle: eigene Darstellung)	42
Abbildung 26: Patello-trochleärer Index in der Luxations-Reluxationsgruppe (Quelle: eigene Darstellung)	43
Abbildung 27: Tibial Slope der Geschlechter (Quelle: eigene Darstellung).....	45

Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Ergebnisse der Sulkuswinkel in den Behandlungsgruppen
- Tab. 2: Ergebnisse des LTI in den Behandlungsgruppen
- Tab. 3: Ergebnisse des TT-TG in den Behandlungsgruppen
- Tab. 4: Ergebnisse des Insall-Salvati-Index in den Behandlungsgruppen
- Tab. 5: Ergebnisse des Insall-Salvati-Index in den Altersgruppen
- Tab. 6: Ergebnisse des Patella Tilt in den Behandlungsgruppen
- Tab. 7: Ergebnisse des Patella Shift in den Behandlungsgruppen
- Tab. 8: Ergebnisse des Patella Shift in den Altersgruppen
- Tab. 9: Ergebnisse des CDI in den Behandlungsgruppen
- Tab. 10: Ergebnisse des Koshino-Index in den Behandlungsgruppen
- Tab. 11: Ergebnisse des Koshino-Index in der Reluxations-/Luxations-Gruppe
- Tab. 12: Ergebnisse des BPI in den Behandlungsgruppen
- Tab. 13: Ergebnisse des BPI in der Reluxations-/Luxations-Gruppe
- Tab. 14: Ergebnisse des Patello-Trochleären Index in den Behandlungsgruppen
- Tab. 15: Ergebnisse des Patello-Trochleären Index in der Reluxation-/Luxations-Gruppe
- Tab. 16: Ergebnisse des Tibial Slope in den Behandlungsgruppen
- Tab. 17: Ergebnisse des Tibial Slope der Geschlechter
- Tab. 18: Ergebnisse des FPHI in den Behandlungsgruppen

1 Einleitung

Das Kniegelenk ist ein sehr komplex aufgebautes Gelenk, welches im Alltag enormen Widerständen und Beanspruchungen ausgesetzt ist. Insbesondere deshalb ist es sehr häufig von Verletzungen betroffen, weshalb die Versorgung und Behandlung von Kniegelenksverletzungen einen großen Stellenwert in den chirurgischen und orthopädischen Fachrichtungen einnimmt.

Eine sehr häufig vorkommende Verletzung ist dabei die Patellaluxation, welche sowohl traumatisch als auch atraumatisch auftreten kann. Ihre Versorgungsmöglichkeiten sind sehr unterschiedlich und hängen unter anderem von Ursache, Häufigkeit und auch morphologischen Gegebenheiten ab. Neben der klinischen Untersuchung spielt insbesondere die Magnetresonanztomografie (MRT) in der Diagnostik eine sehr wichtige Rolle. Dabei gibt es eine Vielzahl von Parametern, die für das Kniegelenk erhoben werden können. In der Literatur finden sich allerdings relativ häufig Abweichungen gegenüber von Normwerten beziehungsweise können Normwerte teilweise nicht von einem Bildgebungsverfahren auf ein weiteres übertragen werden. Außerdem wurde bisher wenig beschrieben, wie sich Abweichungen der Parameter auf Behandlungsverfahren und Reluxationsrisiko auswirken [1].

Ziel dieser Studie ist es, anhand von verschiedenen MRT-Parametern bei Patienten nach stattgehabter Patellaluxation ein „Risikoprofil“ zu entwickeln, eine patellofemorale Instabilität beziehungsweise eine Reluxation zu erleiden, um so Rückschlüsse auf optimale Behandlungsmöglichkeiten ziehen zu können.

Die folgende Arbeit beginnt zunächst mit einem kurzen Überblick über die anatomischen Gegebenheiten des Kniegelenkes. Außerdem werden die verschiedenen Formen der Patellaluxation und ihre Behandlungsmöglichkeiten beschrieben. Im zweiten Teil werden Material und Methoden und anschließend die Ergebnisse der Untersuchungen präsentiert. Es folgt eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse mit anschließender Zusammenfassung und Schlussfolgerung der Studienresultate. Am Ende der Arbeit werden Schwachstellen und Nachteile sowie Verbesserungsvorschläge der Untersuchungen diskutiert.

1.1 Das Kniegelenk und die Patellaluxation

1.1.1 Die Anatomie des Kniegelenkes

Das Kniegelenk (Articulatio genu)

Das Kniegelenk ist ein sehr komplex aufgebautes Gelenk und setzt sich aus zwei Einzelgelenken beziehungsweise drei Knochen zusammen. Das Femorotibialgelenk ist das größere der beiden Einzelgelenke und verbindet den Femur mit der Tibia. In diesem Gelenk können sowohl Flexions- und Extensionbewegungen als auch Drehbewegungen durchgeführt werden. Das zweite Teilgelenk bildet das Femoropatellargelenk, welches die Patella mit dem Femur verbindet. Dieses Gelenk spielt besonders bei der Kraftübertragung der vom Musculus quadriceps femoris ausgeübten Kräfte auf den Unterschenkel eine wichtige Rolle. Mit zunehmender Flexion gleitet dabei die Patella physiologisch bedingt von proximal nach distal [78, 104].

Die Patella besitzt eine annähernd dreieckige Form. Man unterscheidet die proximal gelegene Basis vom distalen Apex patellae. Die Rückseite der Patella ist wie auch die Gelenkflächen von Femur und Tibia mit einer dicken Knorpelschicht überzogen. Man unterscheidet dabei eine mediale von einer lateralen Facette. [104].

Das Patellofemoralgelenk

Das Patellofemoralgelenk wurde erstmals von Wiberg 1941 in vier verschiedene Typen eingeteilt. Dabei wurde beim 45 Grad flektierten Knie eine axiale Röntgenaufnahme durchgeführt und anschließend die Form der Patellarückfläche beurteilt [120].

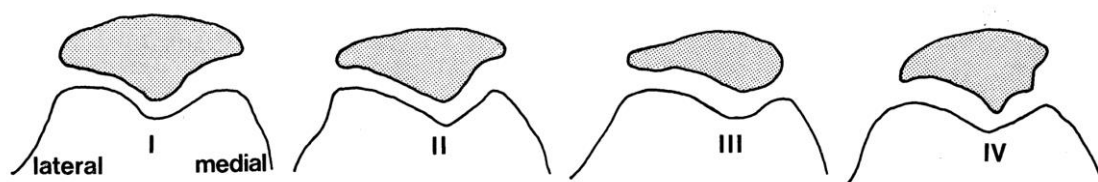


Abbildung 1: Einteilung nach Wiberg (Quelle: Thieme [109])

Typ 1 stellt einen Normalbefund mit gleichgroßen, konkaven Gelenkfacetten dar. Grad 2 stellt eine kleinere, konkave mediale Gelenkfacette im Vergleich zur lateralen dar. Wiberg Grad 3 unterscheidet sich zu Grad 2 durch eine konvexe mediale Gelenkfacette

und zu Grad 4 durch eine deformierte mediale Gelenkfacette. Baumgartl 1964 [21] ergänzte die Formen durch einen sogenannten Jägerhut, bei welchem die mediale Gelenkfacette nicht mehr vorhanden ist [92, 104, 120].

Abgesehen von der Form der Patella kann auch eine Trochleadysplasie zu einer Patellainstabilität führen [7, 37, 43]. Dejour entwickelte 1990 eine Klassifikation an Röntgenbildern in der lateralen Projektion um die Trochleadysplasie in die Formen A bis D zu unterteilen. Typ A wird als leichte Abflachung der lateralen Trochleafacette und bei Typ B eine zusätzliche konkave Ausbildung der lateralen Trochlea beschrieben. Typ C ist durch Medialisierung des Sulcus trochleae und eine größere mediale Trochleafacette definiert. Typ D zeigt eine zusätzliche Osteophytenbildung als Zeichen der Fehlbelastung [41].

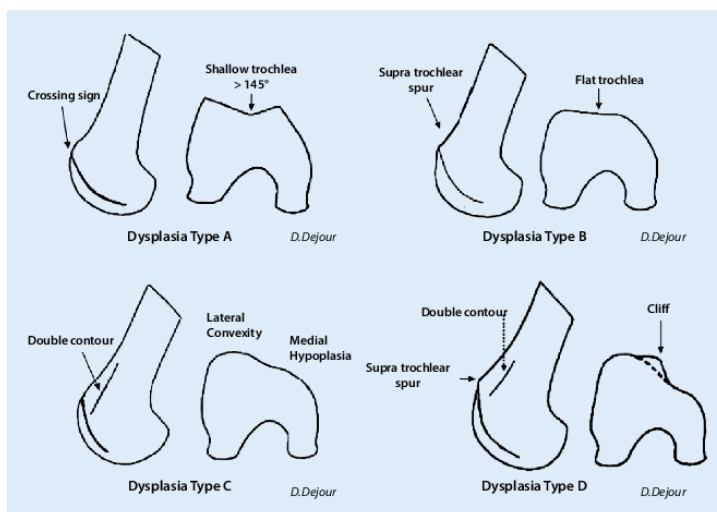


Abbildung 2 Trochleadysplasie nach Dejour (Quelle [40])

Menisken

Um die Inkongruenz der Gelenkflächen von Femur und Tibia auszugleichen, befinden sich zwischen diesen beiden Knochen zwei Menisken. Die Menisken, die nach ihrer Lage, als Innen- und Außenmeniskus bezeichnet werden, unterscheiden sich leicht in ihrer Form. Dabei wird der Außenmeniskus als ringförmig, der Innenmeniskus als eher sichelförmig beschrieben. Da der Innenmeniskus zusätzlich über eine Verbindung mit dem Innenband (Ligamentum collaterale mediale) und der Gelenkkapsel verfügt und

dadurch weniger beweglich als der Außenmeniskus ist, treten Verletzungen auch wesentlich häufiger im Bereich des Innenmeniskus auf [80, 104].

Der Bandapparat des Kniegelenkes

Das Kniegelenk wird von zahlreichen Bändern stabilisiert, wobei die wichtigsten die Kollateralbänder und die Kreuzbänder sind.

Bei den Kreuzbändern wird zwischen dem vorderen und dem hinteren Kreuzband unterschieden. Das vordere Kreuzband (Ligamentum cruciatum anterius) verläuft von der Area intercondylaris anterior zum Kondylus lateralis des Femurs. Es dient vor allen Dingen der Verhinderung einer vorderen Translationsbewegung, die im klinischen Sprachgebrauch auch als „vordere Schublade“ bezeichnet wird. Das hintere Kreuzband (Ligamentum cruciatum posterius) zieht von der Area intercondylaris posterior zum Kondylus medialis des Femurs. Es verhindert die posteriore Translationsbewegung der Tibia gegenüber dem Femur und wird im klinischen Sprachgebrauch auch als „hintere Schublade“ bezeichnet [104].

Das Außenband (Ligamentum collaterale laterale/fibulare) verläuft vom Epicondylus lateralis des Femurs zum Fibulaköpfchen und schränkt die seitliche Aufklappbarkeit des Kniegelenkes ein.

Das Innenband (Ligamentum collaterale mediale/tibiale) zieht vom Epicondylus medialis des Femurs zur Facies lateralis an der Tibia und verhindert dadurch die mediale Aufklappbarkeit des Kniegelenkes. Durch den Kontakt zur Gelenkkapsel und zum Innenmeniskus ist das Innenband wesentlich verletzungsanfälliger und wird in Verbindung mit einem Riss des Innenmeniskus und des vorderen Kreuzbandes auch als „Unhappy Triad“ bezeichnet [104].

Zur Stabilisierung der Patella dienen insbesondere proximal die Ansatzsehne des Musculus rectus femoris und distal das Ligamentum patellae, welches an der Tuberositas tibiae ansetzt. Die seitliche Stabilität wird vor allem durch die Ansatzsehnen des Musculus vastus medialis und lateralis und durch die Retinacula patellae longitudinalia beziehungsweise transversalia garantiert. Für zusätzliche Stabilität sorgen die kleineren meniskopatellaren Bänder [59, 104]

Ein weiteres Band, welches insbesondere für die patellofemorale Stabilität eine wichtige Rolle spielt, ist das sogenannte mediale patellofemorale Band oder auch als MPFL (Mediales patellofemorales Ligament) bezeichnet. Es verläuft vom medialen Patellarand zum Kondylus medialis des Femurs und ist insbesondere in Streckstellung des Kniegelenkes ein wichtiger Stabilisator des patellofemorales Gelenkes. Wird das Kniegelenk aus Streckstellung in eine Flexion geführt, dient das MPFL die ersten 20° als alleiniger Stabilisator. Erst mit zunehmender Beugung wird es durch weitere Stabilisatoren wie den Muskulus quadrizeps oder den Sulkus trochleae unterstützt [6, 87, 119].

Die Muskulatur des Kniegelenkes

Im Folgenden werden lediglich die wichtigsten Muskelgruppen in Bezug auf eine patello-femorale Instabilität beziehungsweise eine Patellaluxation besprochen.

Eine davon ist der Muskulus quadriceps femoris. Er gehört zur Extensorengruppe und ist damit unter anderem für die Streckung des Kniegelenkes verantwortlich. Der Muskulus quadriceps femoris setzt sich aus vier beziehungsweise je nach Betrachtung auch aus fünf Muskeln zusammen. Der Muskulus rectus femoris bildet dabei den einzigen zweigelenkigen Muskel der Gruppe und ist somit auch an Bewegungen des Hüftgelenkes beteiligt. Er führt im Hüftgelenk eine Flexionsbewegung und im Kniegelenk eine Extensionsbewegung durch. Die restlichen Anteile des Muskulus quadriceps femoris sind lediglich für die Kniegelenksexension zuständig [104].

Die drei weiteren Köpfe des Muskulus quadriceps femoris werden durch die Muskeln Muskulus vastus lateralis, intermedius und medialis gebildet. Der Muskulus articularis genus, dessen genaue Funktion noch nicht bekannt ist, wird als Abspaltung des Muskulus vastus intermedius betrachtet und bildet demnach keinen eigenständigen Muskel [57, 104].

Ein zweiter wichtiger Muskel der Extensorengruppe, der über zwei Gelenke zieht, ist der Muskulus sartorius. Er ist, wie auch der Muskulus rectus femoris, zusätzlich an Bewegungen des Hüftgelenkes beteiligt und setzt unterhalb des Kniegelenkes medial der Tuberositas tibiae am Pes anserinus superficialis an. Auch der Muskulus sartorius führt im Hüftgelenk eine Flexionsbewegung und zusätzlich eine Abduktions- und

Außenrotationsbewegung durch. Im Kniegelenk ist er unter anderem für eine Flexions- und Innenrotationsbewegung verantwortlich [104].

Zur Flexorengruppe des Kniegelenkes werden die Muskeln Muskulus biceps femoris, Muskulus semimembranosus, Muskulus semitendinosus und Muskulus popliteus gezählt, wobei diese hinsichtlich der patellofemorale Instabilität eine eher untergeordnete Rolle spielen. Sie sind, abgesehen vom Muskulus popliteus, welcher nur an Bewegungen des Kniegelenkes beteiligt ist, im Hüftgelenk für Extensionsbewegungen und im Kniegelenk für Flexionsbewegungen verantwortlich. Der Muskulus biceps femoris führt zusätzlich eine Außenrotationsbewegung und die Muskeln Muskulus semimembranosus und semitendinosus eine Innenrotationsbewegung im Knie durch. Auch der Muskulus popliteus führt zusätzlich eine Innenrotation im Kniegelenk durch [104].

1.1.2 Die Patellaluxation

Bei der Patellaluxation handelt es sich um eine Kniegelenksverletzung, bei der die Kniescheibe ihr ursprüngliches Gleitlager verlässt und dadurch angrenzende Strukturen verletzen kann. Mit einer Inzidenz von 7-49 pro 100.000 Einwohnern gehört die Patellaluxation mit zu den häufigsten Kniegelenksverletzungen [13, 89, 99].

Als Ursache kann sowohl ein Trauma als auch ein atraumatisches Geschehen in Betracht gezogen werden. Besonders bei letzterem spielen genetische beziehungsweise anatomische Auffälligkeiten eine entscheidende Rolle. In zahlreichen Studien konnte gezeigt werden, dass im Wesentlichen drei Faktoren eine Patellaluxation begünstigen. Zum einen eine kongenitale Trochleadysplasie [7, 25, 37, 43], bei welchem das knöcherne Gleitlager für die Patella nicht gewährleistet ist. Normalerweise verhindert eine physiologisch, leicht vergrößerte laterale Trochleafacette das Lateralgleiten der Patella. Dies wird unter anderem durch den sogenannten Q-Winkel beziehungsweise Quadrizepswinkel ausgelöst, welcher die lateralisierende Kraft des Muskulus Quadrizeps auf die Patella beschreibt [5, 29]. Eine abgeflachte oder verkleinerte laterale Trochleafacette kann somit der Lateralisierung durch den Muskulus Quadrizeps nicht mehr entgegenwirken und führt somit insbesondere im extendierten Knie, bei welchem die Patella nach proximal gleitet und somit die knöcherne Führung durch den Sulkus verlässt, zu einer erhöhten patello-femorale Instabilität [7, 125]. Der

stabilitätsgefährdeter Abschnitt wird dabei zwischen 0 und 60° angegeben. Wird das Knie aus der Streckung gebeugt, dient das sogenannte MPFL (Mediales Patellofemorales Ligament) während der ersten 20° als einziger Stabilisator. Erst ab ungefähr 60° wird durch zunehmende Kraft der aktiven Stabilisatoren, wie dem Muskelquadrizeps, die Patella in den Sulkus femoralis gepresst und gewährleistet so eine zusätzliche knöcherne Stabilität [5, 12, 29, 46].

Ein weiterer wichtiger Risikofaktor stellt ein erhöhter Tibial Tuberosity-Trochlear Groove (TT-TG) Abstand dar. Durch ihn wird der Abstand zwischen dem tiefsten Punkt des Sulkus trochleae und der Tuberositas tibiae, mit Ansatz des Ligamentum patellae, bestimmt. Ein vergrößerter TT-TG führt durch die Zugrichtung des Muskelquadrizeps zu einer stärkeren Lateralisierungskraft auf die Patella und fördert insbesondere in Kombination mit einer Trochleadysplasie die femoro-patelläre Instabilität [43, 125].

Der Patellahochstand, auch als Patella alta bezeichnet, stellt einen weiteren Risikofaktor dar. Er steht in engem Zusammenhang mit der Trochleadysplasie und der Funktion des medialen Patellofemoralbandes (MPFL). In strecknaher Kniegelenksstellung, zwischen 0 und 20 Grad Knieflexion, fungiert das MPFL als einziger Stabilisator der Patellaposition. Wird das Kniegelenk weiter gebeugt, folgt die Unterstützung durch die knöcherne, laterale Trochleafacette zur Stabilisierung der Patellaposition [38, 44].

Eine Insuffizienz des MPFL und/oder eine zu flache oder fehlgeformte Trochlea führen dazu, dass die Patella ihr natürliches Gleitlager unzureichend nutzen kann und somit verspätet oder überhaupt nicht während der Knieflexion in den Sulkus trochleae eingleiten kann. Hierdurch fehlt der Patella, wie auch schon im oberen Abschnitt beschrieben das knöcherne Gleitlager. Folge sind Patellahochstand, patello-femorale Instabilität sowie unphysiologischer retropatellärer Anpressdruck mit der Gefahr von chondralen Langzeitschäden. Eine Patella alta kann allerdings auch unabhängig von MPFL und Trochleadysplasie durch verkürzte Weichteilstrukturen wie zum Beispiel dem Muskelquadrizeps femoris entstehen und somit durch fehlende knöcherne Stabilisierung zu patellofemoraler Instabilität führen. [12, 14, 27, 43].

Weitere Ursachen können ein erhöhter patellarer Tilt, vermehrte tibiale Außentorsion beziehungsweise vermehrte femorale Innentorsion oder ein Genu valgum sein.

Außerdem können ein zu straffer lateraler Bandapparat oder eine insuffiziente mediale ligamentäre Führung der Patella als Ursachen in Frage kommen [17, 43, 67, 90].

1.1.3 Die Versorgung der Patellaluxation

Die Konservative Versorgung

Die Versorgung der Patellaluxation kann sowohl konservativ als auch operativ erfolgen. Die Reluxationsrate nach Erstluxation wird in der Literatur mit bis zu 60 Prozent angegeben[107].

Die Wahl des entsprechenden Verfahrens hängt vom Ausmaß der Verletzung, von der Luxationshäufigkeit und von eventuell vorhandenen Risikofaktoren ab.

Patellaluxationen, die zum ersten Mal aufgetreten sind, bei denen es zu keinen Begleitverletzungen kam und der Patient an keinen weiteren Risikofaktoren für eine erneute Patellaluxation leidet, können konservativ behandelt werden[1, 15, 107]

Bei der konservativen Behandlung der Patellaluxation spielt in erster Linie die Analgesie und rasche Reposition der Patella eine wichtige Rolle, um Schmerzen und mögliche Begleitverletzungen zu verhindern beziehungsweise deren Risiko zu minimieren.

Nach Erstluxation reponiert die Patella in den meisten Fällen spontan, sodass die Patienten in der Klinik bereits mit reponierter Patella eintreffen [12, 84]. Ist dies nicht der Fall wird die Patella in gestreckter Kniegelenksstellung durch medialisierenden Druck des Arztes vorsichtig ins knöcherne Gleitlager zurückgeführt [84, 99]. Die Patienten erhalten anschließend eine Orthese und gegebenenfalls eine Belastungsreduktion mit Limitierung des Bewegungsumfangs für ungefähr sechs Wochen. In dieser Zeit soll der Patient, auch mit Unterstützung durch Physiotherapie, an seinen ursprünglichen Belastungs- und Bewegungsumfang herangeführt werden. Besonders wichtig ist hierbei die Kräftigung der medialisierenden Muskulatur, insbesondere des Musculus vastus medialis, um eine muskuläre Stabilisierung der Patella zu erreichen und lateralisierende Muskel- und Bandstrukturen zu dehnen beziehungsweise zu entlasten [1, 12, 15].

Die Operative Versorgung

Operative Maßnahmen werden gewählt, wenn sich die Patella manuell nicht reponieren lässt oder konservative Maßnahmen nicht zum gewünschten Erfolg geführt haben. Darüber hinaus sollte eine Operation in Betracht gezogen werden, wenn es zu mehreren Re-Luxationen kam und die Patellaluxation zu osteochondralen Schädigungen oder anderen schweren Begleitverletzungen geführt hat [1, 12].

Smith et al. konnte in seiner Metaanalyse allerdings zeigen, dass die Behandlung konservativ versus operativ keinen entscheidenden Einfluss auf die Reluxationsrate hat [12, 107].

Zur operativen Versorgung stehen eine Vielzahl an Behandlungsmethoden zur Wahl. Im Folgenden werden lediglich die am häufigsten eingesetzten Versorgungsarten beschrieben.

Mediale Raffung

Die mediale Raffung ist eine Operationstechnik, die insbesondere bei Patienten angewendet wird, die keine oder nur geringe Begleitverletzungen haben. Zudem stellt eine Beinachsenfehlstellung mit einem Genu valgum über 10° eine wichtige Kontraindikation für die mediale Raffung dar.

Das Prinzip der Technik besteht darin, das mediale Retinaculum und den Musculus vastus medialis zu durchtrennen und in verkürzter Form an der medialen Patella zu vernähen. Somit wird die mediale muskulo-ligamentäre Stabilität wiederhergestellt. Dieses Verfahren kann sowohl in arthroskopischer als auch in offener Form durchgeführt oder auch mit anderen Eingriffen kombiniert werden [65, 121].

MPFL-Plastik

Das mediale patellofemorale Ligament gehört zu den wichtigsten Stabilisatoren des patellofemorales Gelenkes. Ist dieses Band durch einfache oder multiple Patellaluxationen gerissen oder insuffizient, entsteht eine mangelhafte mediale Stabilisierung der Patella, die wiederum eine Patellaluxation begünstigen kann [5, 6].

Mithilfe einer Sehnenplastik kann die mediale Stabilität wiederhergestellt werden. Als Sehnenmaterial kann die Sehne des Muskulus Quadriceps femoris [47] oder des Muskulus gracilis beziehungsweise des Muskulus semitendinosus verwendet werden.

Es sind diverse Operationstechniken beschrieben. Die Fixation sowohl an der Patella wie auch am Femur hängt von Sehne und Technik ab. Klassische Methoden sind über zwei querangelegte Bohrlöcher[35], die Fixation über Fadenanker am Patellarand[118], mittels Swivlock Fadenanker über zwei Sacklöcher[101, 102, 113] oder auch andere Anker-freie Techniken[47, 77]. Am Femur findet in der Regel die Fixation über Interferenzschrauben statt.

Knorpelrefixation/Knorpelresektion

Ist durch die Patellaluxation ein osteochondraler Schaden entstanden, bei dem der Knorpel eingerissen oder sogar abgetrennt wurde, so muss dieser Schaden in offener oder arthroskopischer Form behoben werden. Dabei ist die Operationsmethode abhängig vom jeweiligen Schaden[12].

Handelt es sich bei dem osteochondralen Schaden um ein refixierbares Fragment, so kann dieses mithilfe eines bioresorbierbaren Materials, zum Beispiel Polypin, wieder verankert werden [1, 45, 117]. Ist durch die Patellaluxation ein komplettes Knochen-Knorpel-Fragment abgebrochen und nicht refixierbar, so muss dieses entfernt werden, da es sonst als freier Gelenkkörper zu Schmerzen, Bewegungseinschränkungen und gegebenenfalls auch zu weiteren Schäden führen könnte [1, 12].

Trochleoplastik

Eine zu flache Trochlea beziehungsweise ein zu großer Sulkuswinkel führen insbesondere in zunehmender Streckstellung des Kniegelenkes zu einer Luxationstendenz, da dadurch das physiologische Gleitlager der Patella verloren geht [41, 43]. Damit zählt die Trochleadysplasie wie bereits erwähnt zu den Hauptrisikofaktoren für eine Patellaluxation. Um das physiologische Gleitlager wiederherzustellen, gibt es verschiedene Möglichkeiten.

Eine oft verwendete Operationsmethode stellt dabei die Variante nach Bereiter und Gautier dar [23]. Bei dieser Methode wird zunächst im Bereich der dysplastischen Trochlea ein Knorpel-Knochen-Fragment mithilfe eines Meißels abgelöst, um anschließend in den darunterliegenden Knochen eine ausreichend tiefe Trochlea zu formen. Anschließend wird das zuvor entnommene Knorpel-Knochen-Fragment auf die neu geformte Trochlea wieder aufgesetzt und mit transossären Durchzugsfäden fixiert.

Die dadurch entstandene Vertiefung des Sulkus bietet der Patella ein Gleitlager und damit eine bessere artikuläre Stabilität.

Laterales Release

Das sogenannte „Laterale Release“ war in der Vergangenheit ein Standardverfahren zur Versorgung von patellären Instabilitäten und Patellaluxationen. Auch diese Methode kann in offener oder arthroskopischer Variante durchgeführt werden. Das Prinzip des Lateralen Releases besteht darin, das laterale Retinaculum zu durchtrennen, um so die lateralen Zugkräfte auf die Patella zu minimieren und einer Lateralisierungstendenz der Patella entgegen zu wirken [75, 79, 114].

Heutzutage wird dieser Eingriff allerdings nur noch sehr selten als eigenständige Methode angewendet, sondern eher in Kombination mit anderen Eingriffen [1]. Grund dafür ist, dass durch die Spaltung des lateralen Retinaculums die patellofemorale Instabilität eher zunimmt, da den medialisierenden Kräften nicht mehr ausreichend entgegengewirkt werden kann wie in Studien von Christoforakis et al. (2006) und Fithian et al. (2004) nachgewiesen werden konnte [36, 48, 99]. Im schlimmsten Fall kann dies zudem zu einem erhöhten medialen Anpressdruck der Patella führen, wodurch wiederum Knorpelschäden verursacht werden können [103].

1.1.4 Fragestellung

Ziel der vorliegenden Studie ist es anhand MRT-morphologischer Auffälligkeiten ein „Risikoprofil“ für Patienten nach stattgehabter Erstluxation und Erstversorgung die eine Reluxation erleiden zu erarbeiten. Damit ergibt sich die Fragestellung:

Lassen sich anhand MRT-morphologischer Auffälligkeiten bei Patienten mit einer Patellaluxation Rückschlüsse auf die patellofemorale Instabilität beziehungsweise das Reluxationsrisiko schließen?

2 Material und Methoden

2.1 Auswahl der Patienten

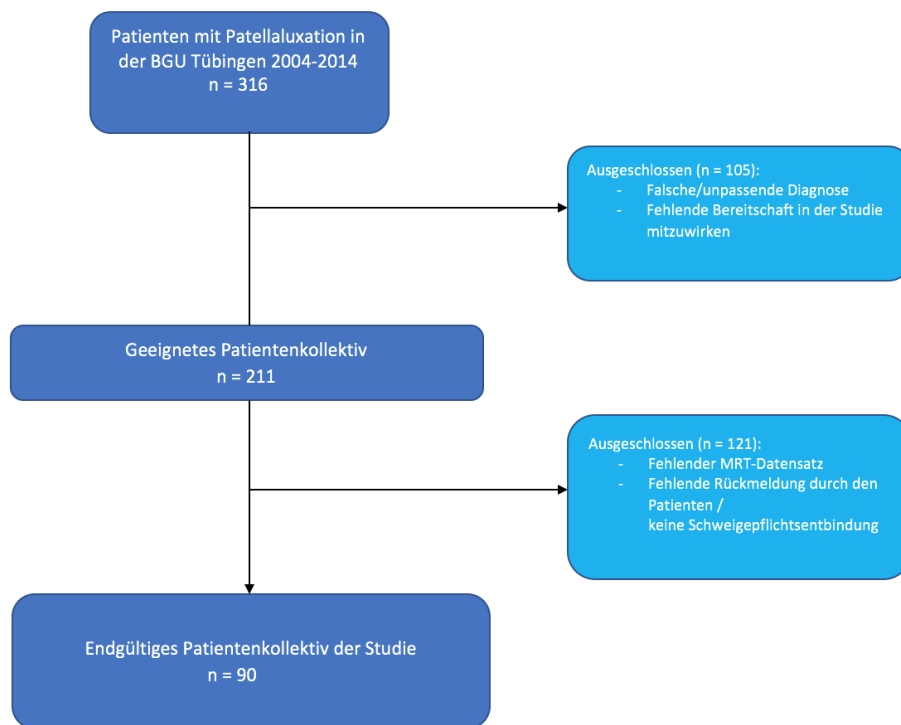


Abbildung 3: Flow Chart Patienten Rekrutierung (Quelle: eigene Darstellung)

Im Rahmen einer Studie aus derselben Arbeitsgruppe erfolgte eine Datenbankabfrage mit gesonderter Fragestellung [64]. Es wurde eine Liste mit Patientinnen und Patienten erstellt, die sich im Zeitraum zwischen Januar 2004 und Dezember 2014 in der BG Unfallklinik Tübingen mit der Diagnose Patellaluxation in Behandlung befanden. Durch Kontrolle der Diagnosen und die eingeschränkte Bereitschaft, bei einer Studie mitzuwirken, resultierte eine Patientenliste mit zweihundertelf Patientinnen und Patienten.

Nach Zustimmung der Ethikkommission (195/2014BO2) erfolgte die Datenerfassung. Bei der Arbeit mit den Patientendaten wurde wie folgt vorgegangen. Zunächst wurde überprüft, von welchen der Personen sich bereits MRT-Bilder in der Datenbank der BGU Tübingen befanden, da ein Einschlusskriterium die Verfügbarkeit von MRT Aufnahmen der Patienten war. Anschließend wurde den Patienten ein

Informationsschreiben zur Studie, ein Formular für die Entbindung von der Schweigepflicht und ein Adressformular für den zuständigen Radiologen, Orthopäden oder Unfallchirurgen, welcher die Bildgebung durchgeführt hatte, per Post zugesendet. Mit Patienten, die sich nach Ablauf von vier Wochen nicht zurückgemeldet hatten, wurde versucht, telefonisch Kontakt aufzunehmen.

Die zuständigen Radiologen, Orthopäden oder Unfallchirurgen wurden zunächst telefonisch kontaktiert, um ihnen anschließend die Entbindung von der Schweigepflicht und die Patientendaten per Fax zuzusenden. Die jeweiligen MRT-Bilder wurden dann an die BGU Tübingen geschickt.

Daraus resultierte ein Patienten-Pool aus neunzig Patientinnen und Patienten, deren MRT-Bilder in die vorliegende Studie eingeschlossen werden konnten.

2.2 Gruppeneinteilung

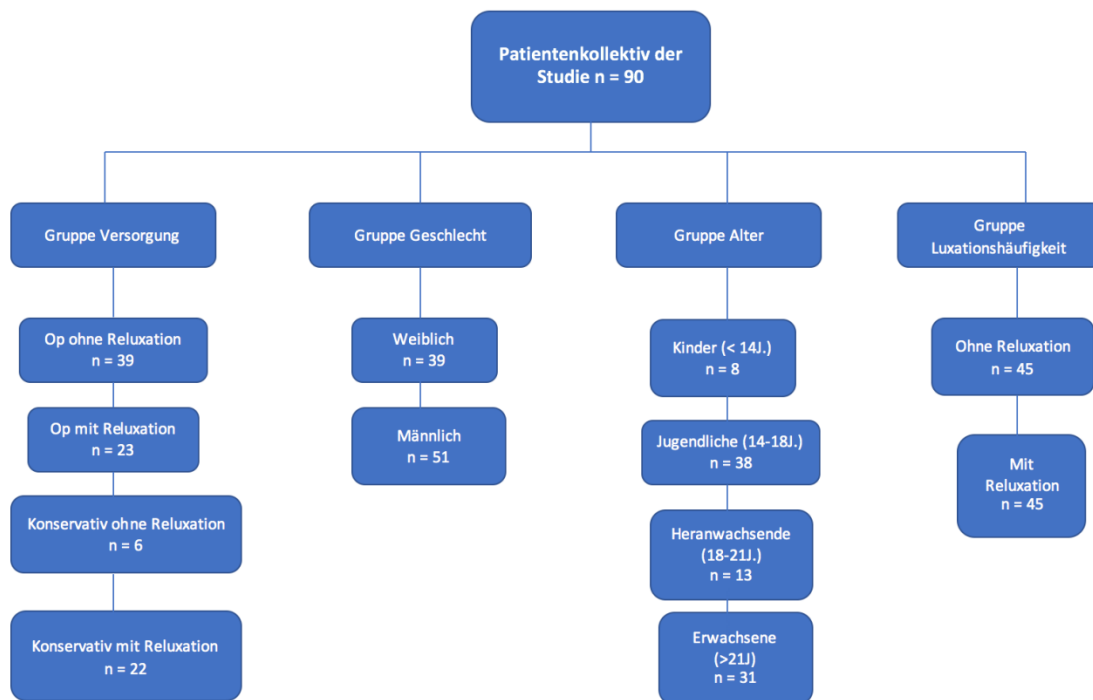


Abbildung 4: Flow Chart Gruppeneinteilung (Quelle: eigene Darstellung)

Für die 90 Patientinnen und Patienten, deren MRT-Bilder dem Autor dieser Arbeit vorlagen, wurde jeweils durch Lesen der Arztbriefe die Erst- und gegebenenfalls auch die Zweit- und Drittversorgung dokumentiert.

Bei Überprüfung der Versorgungsliste fiel auf, dass die operativ versorgten Patienten größtenteils mittels medialer Raffung therapiert wurden. Andere operative Verfahren wie MPFL, Tuberositasversetzung und viele weitere kamen im Patienten-Pool nur sehr selten zum Einsatz. Wegen der sich daraus ergebenden geringen Fallzahlen wurde beschlossen, auf eine vergleichende Untersuchung unterschiedlicher operativer Verfahren im Rahmen dieser Studie zu verzichten. Die Einteilung in vier Untersuchungsgruppen wurde daraufhin wie folgt vorgenommen.

Patientinnen und Patienten, die nach ihrer Erstluxation sofort operativ versorgt wurden, wurden einer ersten Gruppe zugeordnet. Die zweite Gruppe bestand aus Patientinnen und Patienten, die nach ihrer operativen Versorgung eine Reluxation erlitten. Erstluxationen, die zunächst konservativ behandelt wurden, wurden einer dritten Gruppe zugeteilt und Patientinnen und Patienten, bei denen es nach konservativer Versorgung zu einer Reluxation kam, einer vierten Gruppe.

In die erste Gruppe, welche also aus Patienten bestand, die mittels medialer Raffung versorgt wurden und keine Reluxation erlitten („Op ohne Reluxation“), wurden neununddreißig Patienten eingeschlossen. Dreiundzwanzig Patienten wurden der Gruppe „Mediale Raffung mit anschließender Reluxation“ („Op mit Reluxation“) zugeteilt. Die dritte Gruppe, „Konservative Versorgung ohne Reluxation“ („konservativ ohne Reluxation“) zählte sechs Patienten und die vierte Gruppe, welche Patienten beinhaltete, die nach konservativer Behandlung eine Reluxation erlitten („konservativ mit Reluxation“) zweiundzwanzig Patienten.

Zusätzlich zu den Versorgungsgruppen wurden die Patientinnen und Patienten verschiedenen Altersgruppen zugeteilt. Da sich der Patienteneinschluss über einen Zeitraum von zehn Jahren erstreckte, wurde zunächst das Behandlungsalter aus Geburtsdatum und Behandlungsdatum errechnet. Anschließend wurden die Patientinnen und Patienten in vier verschiedene Altersgruppen eingeteilt. Die Gruppe „Kinder“ (< 14 Jahre) bestand aus acht Patienten. Achtunddreißig Patienten wurden in die Gruppe „Jugendliche“ (14 bis 18 Jahre) eingeschlossen. Zur Gruppe „Heranwachsende“ (18 bis

21 Jahre) wurden dreizehn Patienten zugeordnet und in der Gruppe „Erwachsene“ (> 21 Jahre) befanden sich einunddreißig Patienten.

Eine dritte Einteilung der Patienten erfolgte anhand ihres Geschlechts. Im Patienten-Pool befanden sich entsprechend einundfünfzig Männer und neununddreißig Frauen.

Im Rahmen einer vierten Gruppenkategorisierung wurden die Patientinnen und Patienten in zwei weitere Gruppen unterteilt. In Personen, die lediglich eine einmalige Patellaluxation erlitten („ohne Relaxation“) sowie in Patientinnen und Patienten, die nach einer Patellaluxation eine Relaxation erlitten („mit Relaxation“).

2.3 Studienbeschreibung

Wie bereits beschrieben, hat die vorliegende Arbeit zum Ziel, anhand MRT-morphologischer Auffälligkeiten ein „Risikoprofil“ für Patientinnen und Patienten zu entwickeln, nach stattgehabter Patellaluxation und Erstversorgung eine Relaxation zu erleiden. Um dieses Profil zu entwickeln, wurden anhand der MRT Aufnahmen für jede/n Patienten/in zwölf Parameter erhoben. Die Auswahl der Parameter fand im Rahmen einer Literaturrecherche [8, 24, 27, 30, 39, 43, 86, 93, 124] statt. Wichtig dabei war, dass Parameter ausgewählt wurden, die Aussagen zur Patellastellung (Höhe und Tilt), Trochleadysplasie, Patelladysplasie und knöchernen Morphologie der Trochlea sowie der Patella und Relation der Trochlea zur Tuberositas tibiae des/r Patienten/in zulassen, umso eine ganzheitliche Beurteilung des Kniegelenkes vornehmen zu können. Daraus resultierten die folgenden zwölf Parameter

Zur Untersuchung der Patellahöhe:

1. Insall-Salvati-Index (ISI)
2. Blackburne-Peel-Index (BPI)
3. Caton-Deschamps-Index (CDI)
4. Patellotrochleärer Index
5. Koshino-Index
6. Femoral Patella Height Index (FPHI)

Zur Untersuchung der Trochleadysplasie:

7. Lateraler-Trochlea-Index (LTI)
8. Sulkuswinkel

Tuberositas tibiae:

9. Tibial-tuberosity trochlea-groove Abstand (TT-TG)

Zur Bestimmung der Lage der Patella:

10. Patella tilt
11. Patella shift

Weitere Indizes

12. Tibial slope nach Brazier

2.4 Diagnostische MRT-Parameter

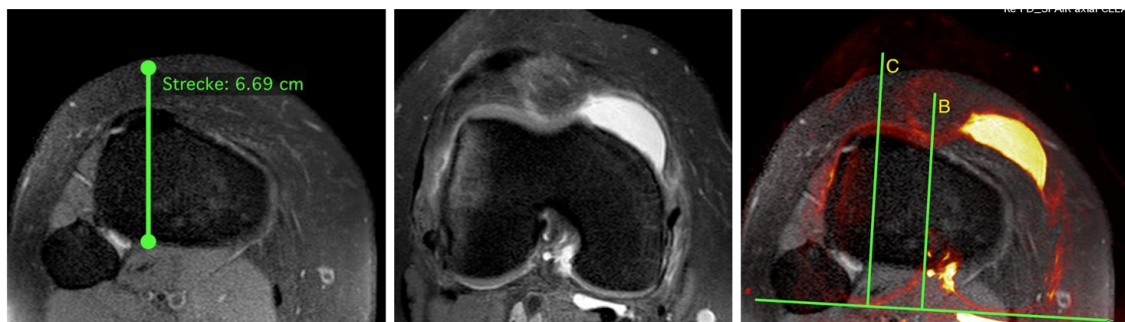
Im Folgenden werden die einzelnen Parameter und ihre Berechnungsmöglichkeiten kurz vorgestellt.

2.4.1 Tuberositas tibiae

Tibial tuberosity-trochlear groove (TT-TG)

Der TT-TG gibt die Entfernung von Tuberositas tibiae an der Tibia zum Sulcus trochleae am Femur an. Zur Bestimmung dieses Abstands wird die axiale Schnittbildführung gewählt [54]. Dazu werden zunächst einzeln in eigenen Schnittbildern sowohl die Tuberositas tibiae als auch der Sulcus trochleae aufgesucht und gekennzeichnet. Anschließend werden die beiden Bilder mit Hilfe eines Bildbearbeitungsprogramms (OsiriX Lite, Hersteller: Pixmeo, Bernex, Schweiz)) unter Verwendung des PlugIns „Fusion_Tool“ fusioniert. Durch die Fusionierung sind nun beide relevanten Referenzpunkte auf einem Bild dargestellt, wodurch sich der Abstand bestimmen lässt.

Eine Distanz von mehr als 20 mm wird dabei als pathologisch angesehen [43]. Ursprünglich wurde der TT-TG-Abstand anhand von Röntgenbildern bestimmt [54], später auch mit Hilfe von CT-Bildern. Allerdings konnten im Jahr 2006 Schoettle et al. zeigen, dass die MRT-Bildgebung eine gute Alternative zur Bestimmung des TT-TG-Abstands darstellt [100].



a) Tuberositas tibiae

b) Sulcus trochlea

c) Bildfusion

Abbildung 5: Bestimmung des TT-TG (Quelle: eigene Darstellung)

- a) Axialer Schnitt proximale Tibia mit Ansatz des Lig. patellae
- b) Darstellung des tiefsten Punktes der Trochlea
- c) Bildfusion, Tangente an die posteriore Kondyle und Senkrechte durch die TT und TG (Abstand: B-C wird als TT-TG gemessen)

2.4.2 Lage der Patella

Patella tilt

Der Patella tilt ist ein Parameter zur Bestimmung der Lage der Patella. Er wurde erstmals 1993 von Grelsamer et al. anhand von Röntgenbildern beschrieben [55]. Der physiologische Patella tilt liegt bei $\pm 2^\circ$, ab 5° spricht man von einem pathologischen Patella tilt [55, 56, 81].

Zur Bestimmung des patellaren Tilts wird zunächst in der axialen Schnittbildgebung eine Linie durch den medialen und lateralen Rand des subchondralen Knochens der Patella gelegt. Anschließend wird in einem zweiten Schnittbild im Bereich des subchondralen Knochens vom medialen zum lateralen Femurkondylus eine weitere Linie eingezeichnet. Nach Fusion beider Bilder lässt sich der Winkel zwischen den beiden Geraden bestimmen [42, 52, 55, 56, 81].

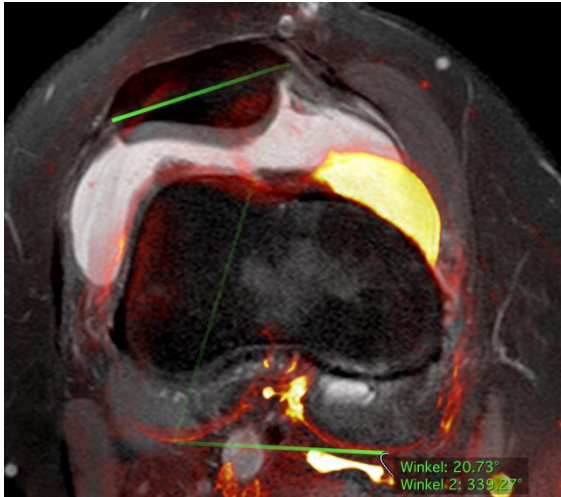


Abbildung 6: Bestimmung Patella tilt (nach Bildfusion, Quelle: eigene Darstellung)

Patella shift

Auch der Patella shift gehört zu den Parametern zur Lagebestimmung der Patella. Er ist definiert als der Abstand von Sulcus trochleae des Femurs zum retropatellären Giebel der Patella. Auch hier wird die axiale Schnittbildgebung gewählt und mit einem Schnittbild gearbeitet, sofern sich die Referenzpunkte auf einem Bild bestimmen lassen. Ansonsten werden zwei Schnittbilder fusioniert [99] [42]. Die Linie A bildet dabei die Senkrechte zu den Markierungslinien B (Sulcus trochleae) und C (retropatellärer Giebel) (vgl. Abb. 7).

Ein gemessener Abstand größer als 2,5 mm spricht für eine Subluxationsstellung [22, 42, 99].

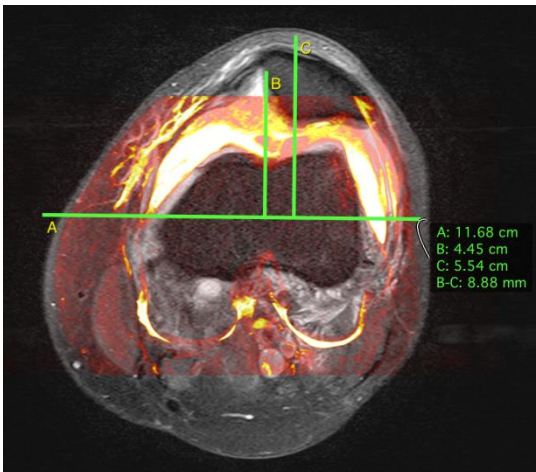


Abbildung 7: Bestimmung Patella shift (nach Bildfusion, Quelle: eigene Darstellung)

Axialer Schnitt, Darstellung retropatellärer Giebel + tiefster Punkt der Trochlea, nach Bildfusion, Bestimmung des Abstandes der beiden Referenzpunkte (B-C) zur Messung des Patella shifts

2.4.3 Patella-Höhe

Patellotrochleärer Index nach Biedert und Albrecht – femoral referenziert

Der Patellotrochleäre Index nach Biedert und Albrecht ist ein Parameter zur Bestimmung der artikulierenden Gelenkflächen von Patella und Femur und wurde erstmals im Jahre 2006 beschrieben [24]. Zur Ermittlung des Patellotrochleären Indexes wird zunächst in der sagittalen Schnittbildführung die Länge der retropatellären Gelenkfläche bestimmt. Anschließend wird die Länge des artikulierenden femoralen Anteiles am Femuro-patellaren Gelenkes gemessen und ihr prozentualer Anteil an der Länge der retropatellären Fläche berechnet. Die Linie A setzt dabei am distalen Ende der retropatellären Fläche an und bildet eine Senkrechte zur Linie C (femuraler Anteil des Femuro-patellaren Gelenkes) (vgl. Abb. 8) [20, 24].

Ab Werten von weniger als 12,5% spricht man von einer Patella alta, Werte von über 50% deuten auf eine Patella infera hin. Dazwischenliegende Werte werden als normal betrachtet [97].

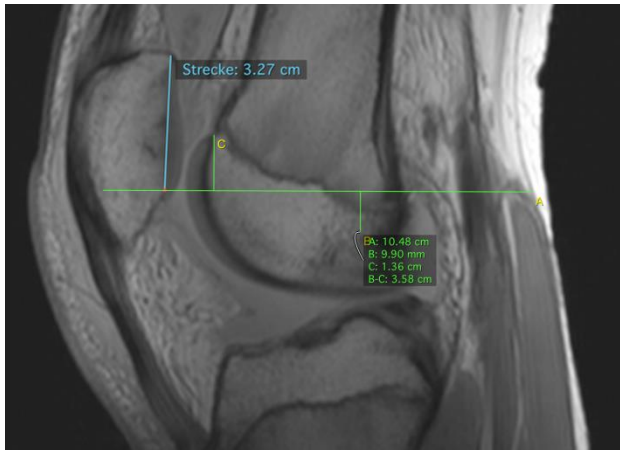


Abbildung 8: Bestimmung Patellotrochleärer Index nach Biedert und Albrecht (2006) (Quelle: eigene Darstellung)

Koshino-Index

Der Koshino-Index wurde erstmals 1989 an Röntgenbildern beschrieben und dient ebenfalls als Parameter zur Bestimmung der Patellahöhe. Zu seiner Bestimmung wird zunächst der Mittelpunkt der retropatellären Fläche bestimmt und von diesem eine Linie zum Mittelpunkt der proximalen Epiphysenlinie der Tibia gelegt (X, siehe Abbildung 9). Vom Mittelpunkt der proximalen Epiphysenlinie der Tibia wird wiederum eine zweite Linie zum Mittelpunkt der distalen Epiphysenlinie des Femurs angelegt (Y, siehe Abbildung 9). Anschließend wird das Verhältnis der beiden so entstandenen Strecken berechnet [76, 93]. Die Normwerte liegen zwischen 0,99 und 1,2 [76, 115].

$$\text{Koshino Index} = \frac{x}{y}$$

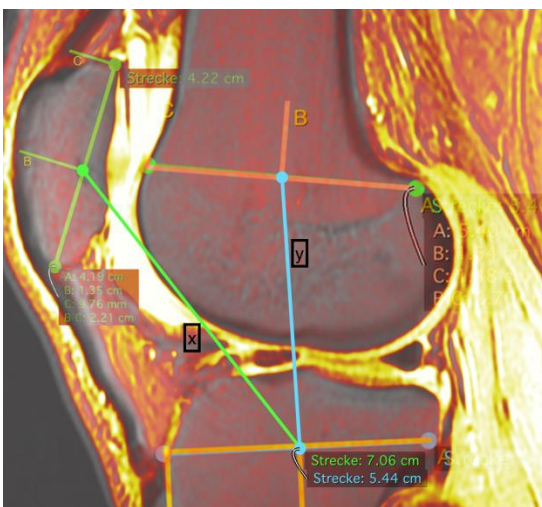


Abbildung 9: Bestimmung des Koshino Index (Quelle: eigene Darstellung)

Insall-Salvati-Index

Der Insall-Salvati-Index ist ein Parameter, der mit am Häufigsten zur Bestimmung der Patellahöhe genutzt wird. Auch er wurde erstmals an Röntgenbildern ermittelt. Allerdings konnte gezeigt werden, dass er gleichermaßen an sagittalen Schnittbildgebungen im MRT zu ermitteln ist [86].

Zur Bestimmung wird zum einen die Länge der Patella gemessen (A, siehe Abbildung 10) und zum anderen der Abstand zwischen dem distalen Patella-Pol und der Tuberositas tibiae (B, siehe Abbildung 10) ermittelt. Anschließend wird das Verhältnis beider Strecken berechnet.

Werte zwischen 0,8 und 1,3 werden als normal betrachtet. Werte, die kleiner als 0,8 sind, werden als Patella baja (infera), ein Streckenverhältnis größer als 1,3 wird als Patella alta angesehen [66, 73, 86, 95, 105].

$$\text{Insall-Salvati} = \frac{B}{A}$$

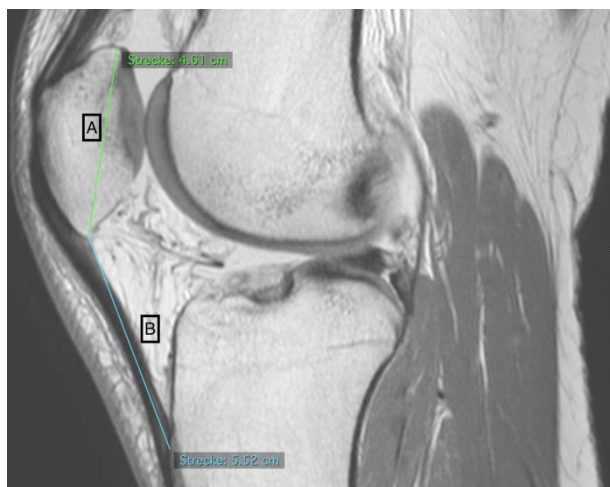


Abbildung 10: Bestimmung des Insall-Salvati-Score (Quelle: eigene Darstellung)

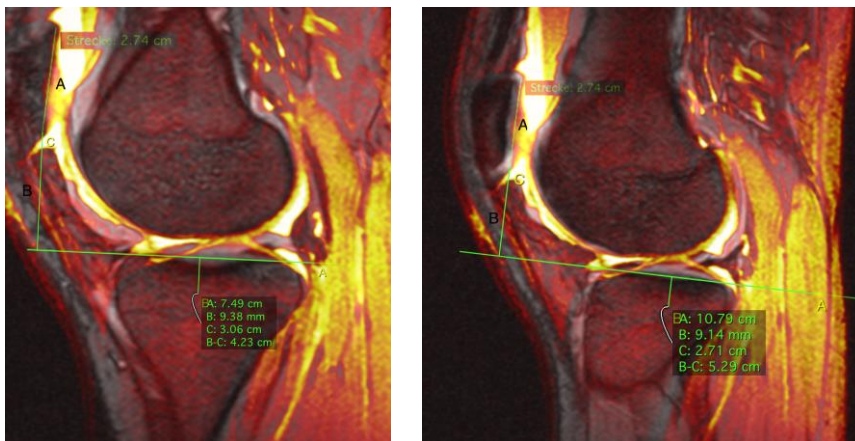
Blackburn-Peel-Index (BPI)

Der BPI ist ein weiterer Score zur Ermittlung der Patellahöhe. Er wird ermittelt, indem man das Streckenverhältnis zwischen der Länge der retropatellären Gelenkfläche (A vgl. Abbildung 11) und des Abstandes des distalen Patella-Pols zur verlängerten

Tangente zum Tibiaplateau (B, vgl. Abbildung 11) bestimmt. Da das mediale und laterale Tibiaplateau nicht als gleichwertig zu betrachten sind, sollte man bei den Messungen zwischen diesen beiden Plateaus unterscheiden, um so die Inkongruenz der beiden Flächen nicht zu vernachlässigen.

Die Normwerte für den BPI liegen zwischen 0,54 und 1,06 [20, 27, 88, 123].

$$\text{Blackburn-Peel-Index} = \frac{B}{A}$$



a.) med. Tibiaplateau

b.) lat. Tibiaplateau

Abbildung 11: Fusionsbilder med./lat. Tibiaplateau und retropatelläre Gelenkfläche zur Ermittlung des BPI (Quelle: eigene Darstellung)

Caton-Deschamps-Index (CDI)

Zur Bestimmung des Caton-Deschamps-Index wird wiederum ein Streckenverhältnis ermittelt, mit dessen Hilfe eine Aussage über die Patellahöhe getroffen werden kann. Der CDI setzt sich aus dem Abstand vom distalen Ende der retropatellären Gelenkfläche zur anterioren Tibiakante (B, vgl. Abbildung 12) und der Länge der retropatellären Gelenkfläche (A, vgl. Abbildung 12) zusammen, die zueinander ins Verhältnis gesetzt werden.

Der Normwert beträgt 1,0. Ist der Quotient größer als 1,3 wird die Höhe als Patella alta und kleiner als 0,6 als Patella infera betrachtet [32, 33, 39, 99].

$$\text{Caton-Deschamps-Index} = \frac{B}{A}$$

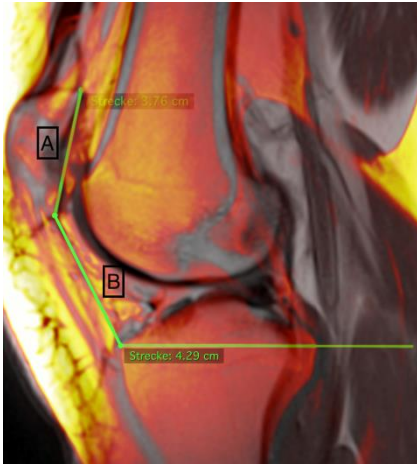


Abbildung 12: Ermittlung des Caton-Deschamps Index (Quelle: eigene Darstellung)

Femoral-Patella-Height-Index (FPHI)

Beim Femoral-Patella-Height-Index handelt es sich um eine weitere Alternative die Patellahöhe zu bestimmen. Er wurde erstmals von Ihle et al. (2017) an Röntgen-Ganzbeinaufnahmen entwickelt und angewendet [63].

Der FPHI wird gebildet, indem eine Strecke A (horizontale Verbindungslinie zwischen medialer und lateraler Femurkondyle, durch eine Strecke B (vertikale Verbindungslinie zwischen Patellabasis und Femurkondylen-Gelenkfläche) dividiert wird. In der Studie von Ihle et al. (2017) ergaben sich dabei Werte von 1,52 bis 1,58 [63].

$$\text{FPHI} = \frac{A}{B}$$



Abbildung 13: Ermittlung FPHI (Quelle: [63])

2.4.4 Trochleadysplasie

Lateraler Trochlea-Index (LTI)

Der Laterale Trochlea-Index oder auch Lateral trochlear Inclination ist ein Parameter zur Beurteilung der Trochleamorphologie und wird in Winkelgrad angegeben. Zu seiner Bestimmung wird im axialen Schnittbild eine Linie am hinteren Knorpelrand von medialer zu lateraler Femurkondyle gezogen. Anschließend wird eine zweite Linie auf den Knorpelrand der lateralen Trochlea gelegt, um dann den Winkel zwischen den beiden Geraden zu bestimmen [71].

Winkel kleiner als 11 Grad sprechen für eine Trochleadysplasie [31, 71].

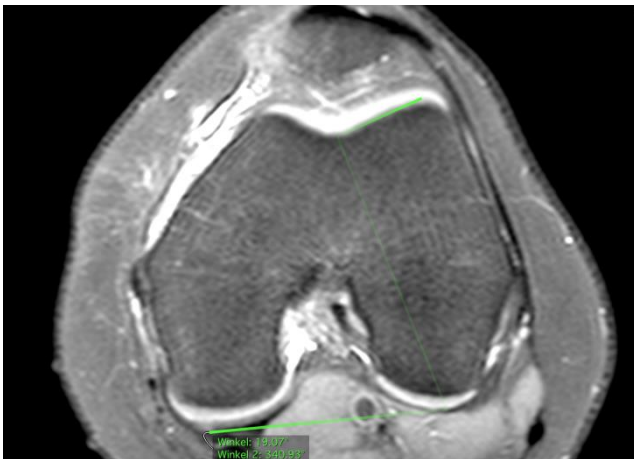


Abbildung 14: Lateraler Trochlea-Index (Quelle: eigene Darstellung)

Sulkuswinkel

Der Sulkuswinkel ist ein Parameter, mit dem eine mögliche Trochleadysplasie festgestellt werden kann. Er wurde erstmals 1964 von Brattström an Röntgenbildern angewendet. In der axialen Schnittbildführung wird der Winkel zwischen medialer und lateraler Femurkondyle bestimmt. Dabei wird das Schnittbild gewählt, auf welchem zuerst der komplette Sulkus mit Knorpel überzogen ist [29, 98].

Normwerte für den Sulkuswinkel liegen zwischen 135 und 145 Grad. Insbesondere größere Sulkuswinkel sind ein Anzeichen für patellare Instabilität aufgrund eines mangelnden knöchernen Gleitlagers für die Patella [22, 29, 74, 98].

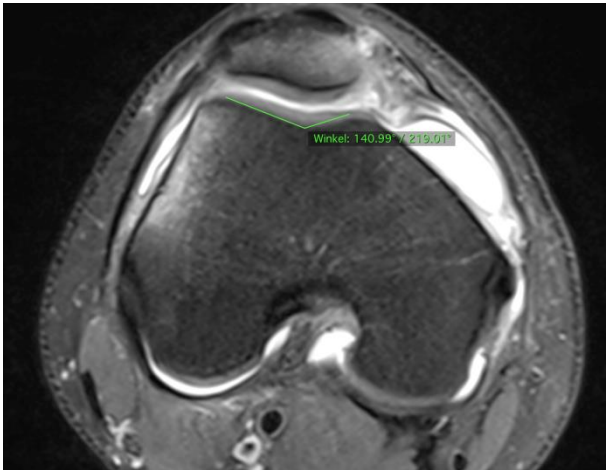


Abbildung 15: Bestimmung Sulkuswinkel (Quelle: eigene Darstellung)

2.4.5 Weitere Parameter

Tibial Slope

Der Tibial slope, der auch als Tibia-Inklination bezeichnet wird, ist ein Parameter, mit welchem man die nach posterior zunehmende Neigung des Tibiaplateaus bestimmen kann. Diese Abflachung tritt physiologischerweise auf, wobei die Norm- und Durchschnittswerte nach Brazier in der Literatur mit 9 Grad bis 11 Grad angegeben werden [60, 83, 85, 111]. Durch einen zu großen Tibial slope bekommt die Tibia eine vergrößerte anteriore Translation, bei entsprechend erniedrigtem Tibial slope resultiert eine posteriore Translation [2, 106]. Darüberhinaus resultiert ein bei einem erniedrigten Tibial slope ein Genu recurvatum [112].

In der Literatur sind zahlreiche Methoden zur Bestimmung des Tibial slope beschrieben wie die Bestimmung nach Brazier et. al an lateralen Röntgenaufnahmen sowie die Mittelpunkt-Methode und die Kreismethode an MRT Aufnahmen von Hudek et al. [30, 60, 111].

In der vorliegenden Studie wurden mediales und laterales Tibiaplateau getrennt voneinander bestimmt. Anschließend wurde die anatomische Tibiaachse ermittelt, um darauffolgend den Winkel zwischen medialem beziehungsweise lateralem Tibiaplateau und der anatomischen Tibiaachse in einem Fusionsbild zu bestimmen. Dies entspricht der Methode nach Brazier. [30, 60, 82, 85].

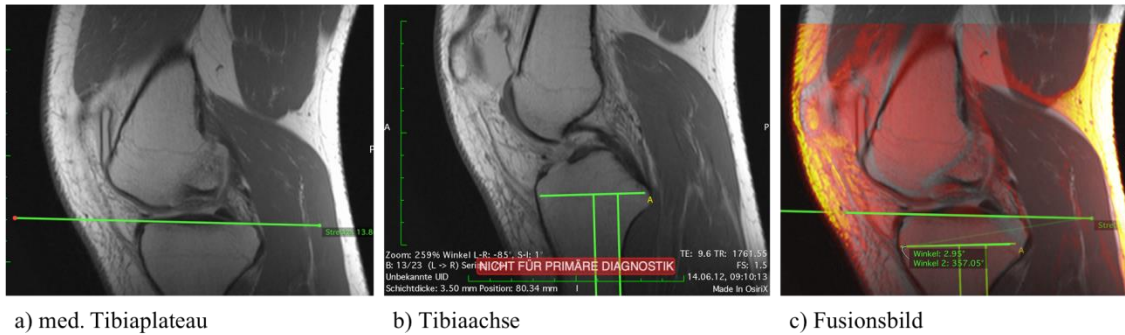


Abbildung 16: Bestimmung Tibial Slope (Quelle: eigene Darstellung)

- a.) Sagittale Ansicht, Bestimmung des med. Tibiaplateaus
- b.) Sagittale Ansicht, Bestimmung der Senkrechten zur Tibia-Achse
- c.) Bildfusion + Winkelbestimmung zwischen a) und b)

2.5 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mittels der Software IBM SPSS Statistics for Windows (Version 23.0 Armonk, NY:IBM Corp), sowie Microsoft Excel durchgeführt.

Für jeden der in Kapitel 2 beschriebenen Parameter und für die jeweiligen Untersuchungsgruppen wurden Mittelwerte, Standardabweichungen sowie Minima und Maxima bestimmt. Die Visualisierung erfolgte mittels Tabellen aus Microsoft Word und Microsoft Excel, sowie Box-Plot-Diagrammen aus IBM SPSS Statistics.

Die Daten waren nur teilweise normalverteilt, sodass zur Ermittlung der Signifikanzen (Signifikanzniveau: $p < 0.05$) in Gruppen, bestehend aus vier Paaren, der Kruskal-Wallis Test angewendet wurde. In Gruppen, die nur aus zwei Paaren bestanden, wurde das Signifikanzniveau mittels des Mann-Whitney Tests überprüft.

3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der insgesamt zwölf gemäß Kapitel 2 gemessenen bzw. berechneten Parameter präsentiert sowie eventuelle Mittelwertunterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen besprochen.

3.1 Sulkuswinkel

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Op ohne Reluxation	137.71°	9.58°	116.31°	160.92°
Op mit Reluxation	139.05°	8.13°	120.83°	153.36°
Konservativ ohne Reluxation	137.29°	9.74°	118.13°	144.74°
Konservativ mit Reluxation	138.45°	9.94°	121.00°	155.69°

Tab. 1: Ergebnisse der Sulkuswinkel in den Behandlungsgruppen

Die Untersuchung von Mittelwertsunterschieden der Sulcus Winkel (Tabelle 1) zwischen den vier Behandlungsgruppen ($p = 0.94$) sowie zwischen den Altersgruppen ($p = 0.59$) und den beiden Geschlechtern ($p = 0.16$) ergab keinen signifikanten Unterschied.

3.2 Laterale Trochlea-Inclination (LTI)

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Op ohne Reluxation	19.13°	6.63°	2.60°	30.55°
Op mit Reluxation	16.74°	6.62°	2.20°	28.11°
Konservativ ohne Reluxation	23.14°	9.39°	14.95°	41.70°
Konservativ mit Reluxation	18.03°	5.36°	6.91°	31.12°

Tab. 2: Ergebnisse des LTI in den Behandlungsgruppen

Es konnte beim Vergleich der Behandlungsgruppen untereinander kein signifikanter Mittelwertsunterschied ($p = 0.26$) festgestellt werden. Auch beim Vergleich der LTI-Werte zwischen den verschiedenen Altersgruppen ($p = 0.64$) und zwischen den beiden Geschlechtern ($p = 0.63$) ergab sich kein signifikanter Unterschied.

3.3 TT-TG

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Op ohne Relaxation	7.98mm	3.83mm	0mm	17mm
Op mit Relaxation	7.87mm	5.89mm	0.02mm	20.80mm
Konservativ ohne Relaxation	3.88mm	1.82mm	1.95mm	7.26mm
Konservativ mit Relaxation	6.16mm	4.5mm	0mm	14mm

Tab. 3: Ergebnisse des TT-TG in den Behandlungsgruppen

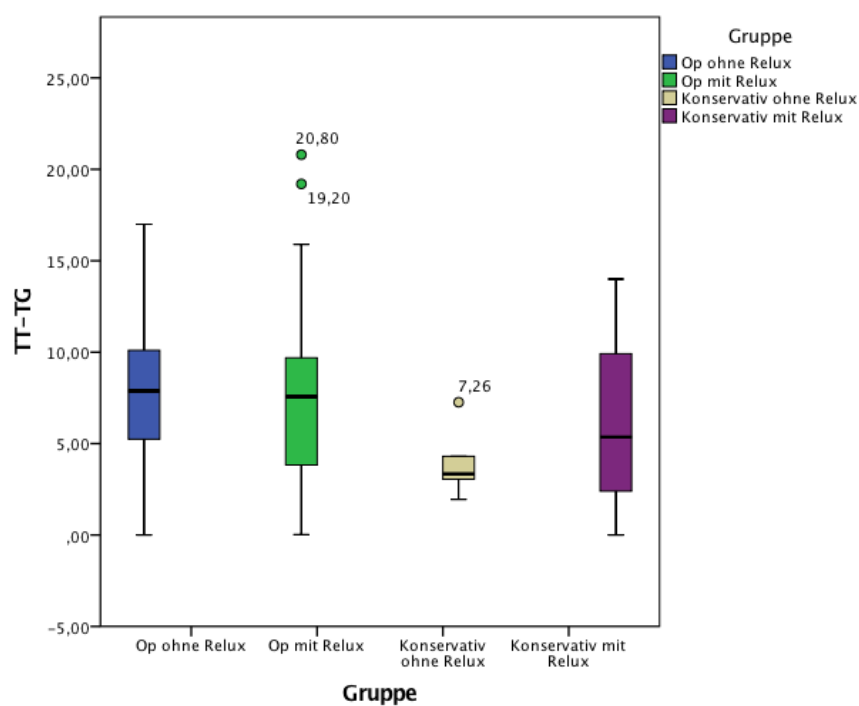


Abbildung 17: TT-TG in den Behandlungsgruppen (Quelle: eigene Darstellung)

Beim Vergleich der TT-TG-Werte zwischen verschiedenen Behandlungsgruppen zeigte sich, dass Patienten der operativen Gruppe signifikant höhere TT-TG-Werte aufwiesen als Patienten, die konservativ versorgt wurden.

Besonders beim Vergleich zwischen den Gruppen „Op ohne Relaxation“ und „konservativ ohne Relaxation“ zeigte sich ein signifikanter Unterschied, wobei konservativ behandelte Patienten ohne Relaxation wesentlich niedrigere TT-TG-Werte aufwiesen ($M = 3.88$) als operierte Patienten ohne Relaxation ($M = 7.98$), bei einem ($p = 0.04$).

Innerhalb der konservativen Gruppe zeigte sich zudem, dass Patienten, die später eine Relaxation erleiden sollten, im Mittel höhere TT-TG-Werte aufwiesen als Patienten, bei welchen später keine Relaxation stattfand. Allerdings wurden diese Unterschiede nicht signifikant ($p = 0.48$) und konnten auch unter den operativ versorgten Patienten so nicht beobachtet werden. In allen anderen Fällen zeigten sich zwischen den Behandlungsgruppen keine Mittelwertsunterschiede.

Der Vergleich der TT-TG-Werte zwischen den verschiedenen Altersgruppen ($p = 0.52$) und zwischen den beiden Geschlechtern ($p = 0.99$) erbrachte ebenfalls keine signifikanten Unterschiede.

3.4 Insall-Salvati-Index

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Op ohne Reluxation	1.40	0.22	0.97	1.83
Op mit Reluxation	1.41	0.24	1.04	1.80
Konservativ ohne Reluxation	1.52	0.20	1.32	1.77
Konservativ mit Reluxation	1.44	0.21	1.06	1.72

Tab. 4: Ergebnisse des Insall-Salvati-Index in den Behandlungsgruppen

Der Vergleich der verschiedenen Behandlungsgruppen untereinander ergab bei einem ($p = 0.64$) keinen signifikanten Unterschied.

Auch der Vergleich zwischen den Geschlechtern erbrachte keine eindeutigen Abweichungen untereinander ($p = 0.42$).

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Kinder (< 14 Jahre)	1.56	0.17	1.32	1.80
Jugendliche (14-18 Jahre)	1.46	0.22	1.04	1.83
Heranwachsende (18-21 Jahre)	1.33	0.19	1.01	1.79
Erwachsene (> 21 Jahre)	1.36	0.22	0.97	1.79

Tab. 5: Ergebnisse des Insall-Salvati-Index in den Altersgruppen

Beim Vergleich der Insall-Salvati-Indices zwischen den Altersgruppen ergab sich für Kinder ein Mittelwert von 1.56 ($SD = 0.17$; 1.32-1.80), für Jugendliche ein Mittelwert von 1.46 ($SD = 0.22$; 1.04-1.83), bei Heranwachsenden wurde ein Mittelwert von 1.33 ($SD = 0.19$; 1.01-1.79) und bei den Erwachsenen ein Mittelwert von 1.36 ($SD = 0.22$; 0.97-1.79) gemessen.

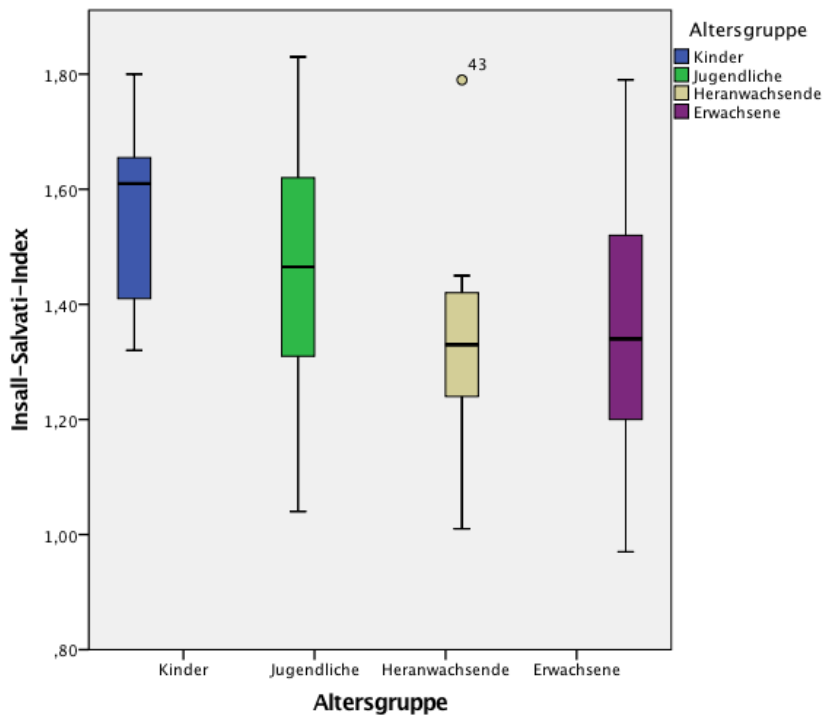


Abbildung 18: Insall-Salvati-Index in den Altersgruppen (Quelle: eigene Darstellung)

Der Vergleich der Altersgruppen zeigte eine Abnahme der Werte mit zunehmendem Alter.

Insbesondere beim Vergleich der Werte zwischen Kindern und Heranwachsenden ($p = 0.03$) sowie zwischen Kindern und Erwachsenen ($p = 0.04$) ergaben sich signifikante Unterschiede.

Kinder und Jugendliche hatten im Mittel höhere Insall-Salvati-Index, die wiederum mit einer Patella alta einhergehen, als Heranwachsende und Erwachsene.

Der Vergleich der Werte von Jugendlichen und Heranwachsenden ($p = 0.07$) sowie von Jugendlichen und Erwachsenen ($p = 0.09$) zeigte zumindest einen gewissen Trend zur

Abnahme der Werte mit zunehmendem Alter, allerdings keine signifikanten Mittelwertunterschiede.

Allerdings wird dieser Trend nicht beim Vergleich der Werte von Heranwachsenden ($M = 1.33$) und Erwachsenen ($M = 1.36$) bestätigt.

3.5 Patella Tilt

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Op ohne Reluxation	21.04°	8.47°	5.36°	48.88°
Op mit Reluxation	22.79°	7.84°	7.00°	38.18°
Konservativ ohne Reluxation	19.14°	6.96°	9.53°	28.09°
Konservativ mit Reluxation	20.62°	8.36°	4.32°	40.91°

Tab. 6: Ergebnisse des Patella Tilt in den Behandlungsgruppen

Der Vergleich der Werte zwischen den verschiedenen Behandlungsgruppen ergab mit einem ($p = 0.61$) keinen signifikanten Unterschied.

Auch zwischen den verschiedenen Altersgruppen ($p = 0.56$) und Geschlechtern ($p = 0.86$) ergaben sich keine signifikanten Werte.

3.6 Patella Shift

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Op ohne Reluxation	5.39mm	4.03mm	0mm	13.80mm
Op mit Reluxation	5.33mm	4.53mm	0mm	18.80mm
Konservativ ohne Reluxation	2.88mm	1.10mm	1.63mm	4.25mm
Konservativ mit Reluxation	3.72mm	3.32mm	0mm	14.10mm

Tab. 7: Ergebnisse des Patella Shift in den Behandlungsgruppen

Es konnten beim Vergleich der vier Behandlungsgruppen ($p = 0.50$) keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Der Vergleich der Mittelwerte zeigt allerdings deutlich, dass konservativ behandelte Patienten kleinere Patella Shift Werte aufweisen, als operierte Patienten.

Die Patella-Shift-Werte der beiden Geschlechter ($p = 0.17$) zeigten keine signifikanten Unterschiede.

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Kinder (< 14 Jahre)	5.01mm	5.37mm	0.61mm	13.80mm
Jugendliche (14-18 Jahre)	5.83mm	3.84mm	0mm	18.80mm
Heranwachsende (18-21 Jahre)	3.74mm	3.41mm	0.86mm	10.70mm
Erwachsene (> 21 Jahre)	4.03mm	3.73mm	0mm	14.10mm

Tab. 8: Ergebnisse des Patella Shift in den Altersgruppen

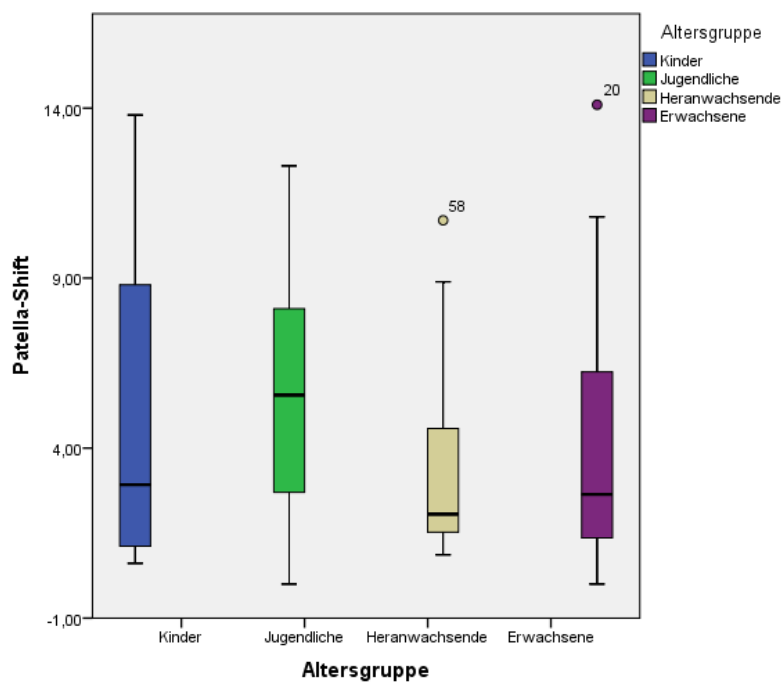


Abbildung 19: Patella-Shift in den Altersgruppen (Quelle: eigene Darstellung)

In den unterschiedlichen Altersgruppen konnte insbesondere der Vergleich der Gruppe der Jugendlichen mit den anderen Altersgruppen signifikante Unterschiede aufzeigen.

So haben Jugendliche im Mittel signifikant höhere Patella-Shift Werte als Erwachsene ($p = 0.04$), sowie als Heranwachsende ($p = 0.08$). Der Vergleich von Jugendlichen mit Heranwachsenden ergab Mittelwertunterschiede, die leicht über dem 0.05 Signifikanzniveau lagen und somit nur eine gewisse Tendenz zeigten. Die Werte der Kinder liegen im Mittel höher als die Werte von Heranwachsenden und Erwachsenen, allerdings niedriger als die der Jugendlichen.

3.7 Caton-Dechamps-Index (CDI)

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Op ohne Reluxation	1.13	0.23	0.42	1.67
Op mit Reluxation	1.23	0.21	0.81	1.59
Konservativ ohne Reluxation	1.26	0.21	1.01	1.63
Konservativ mit Reluxation	1.24	0.28	0.74	2.09

Tab. 9: Ergebnisse des CDI in den Behandlungsgruppen

Der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Behandlungsgruppen führte zu keinem signifikanten Unterschied ($p = 0.25$). Auch die CDI-Werte zwischen den verschiedenen Altersgruppen ($p = 0.38$) und zwischen den Geschlechtern ($p = 0.45$) wichen nicht nennenswert voneinander ab.

3.8 Koshino-Index

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Op ohne Reluxation	1.23	0.80	1.07	1.46
Op mit Reluxation	1.26	0.69	1.17	1.44
Konservativ ohne Reluxation	1.31	0.10	1.20	1.45
Konservativ mit Reluxation	1.28	0.68	1.11	1.39

Tab. 10: Ergebnisse des Koshino-Index in den Behandlungsgruppen

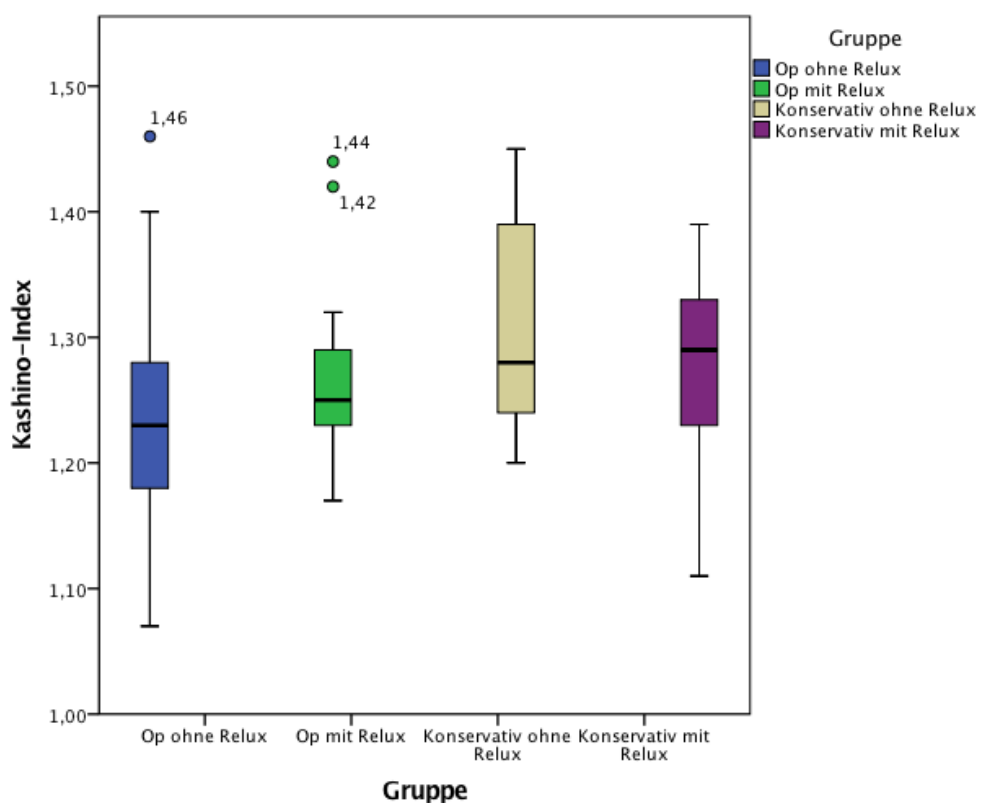


Abbildung 20: Koshino-Index in den Behandlungsgruppen (Quelle: eigene Darstellung)

Zwischen den unterschiedlichen Behandlungsgruppen ergab insbesondere der Vergleich zwischen der Gruppe „Op ohne Relaxation“ und der Gruppe „konservativ mit Relaxation“ einen signifikanten Unterschied ($p = 0.04$) mit höheren Koshino-Index-Werten für die letztere Gruppe. Außerdem zeigten sich beim Vergleich der Gruppe „Op ohne Relaxation“ mit der Gruppe „konservativ ohne Relaxation“ deutliche Mittelwertunterschiede, die allerdings leicht über dem 0.05-Signifikanzniveau ($p = 0.09$) lagen und damit nicht signifikant wurden. Auch hier zeigt die Gruppe „konservativ ohne Relaxation“ im Mittel höhere Werte des Koshino-Index als die Gruppe „Op ohne Relaxation“.

Insgesamt ergibt sich somit beim Vergleich der Behandlungsgruppen, dass konservativ versorgte Patienten höhere Werte des Koshino-Index aufweisen und somit tendenziell eher zu einer Patella alta neigen als Patienten, die operativ versorgt wurden.

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Mit Relaxation	1.27	0.70	1.11	1.44
Ohne Relaxation	1.24	0.82	1.07	1.46

Tab. 11: Ergebnisse des Koshino-Index in der Relaxations-/Luxations-Gruppe

Betrachtet man nur die Gruppen „ohne Relaxation“ (= operativ + konservativ) mit einem Mittelwert von 1.24 ($SD = 0.82$; 1.07-1.46) und die Gruppe „mit Relaxation“ (= operativ + konservativ) mit einem Mittelwert von 1.27 ($SD = 0.70$; 1.11-1.44), so kann auch hier ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p < 0.05$).

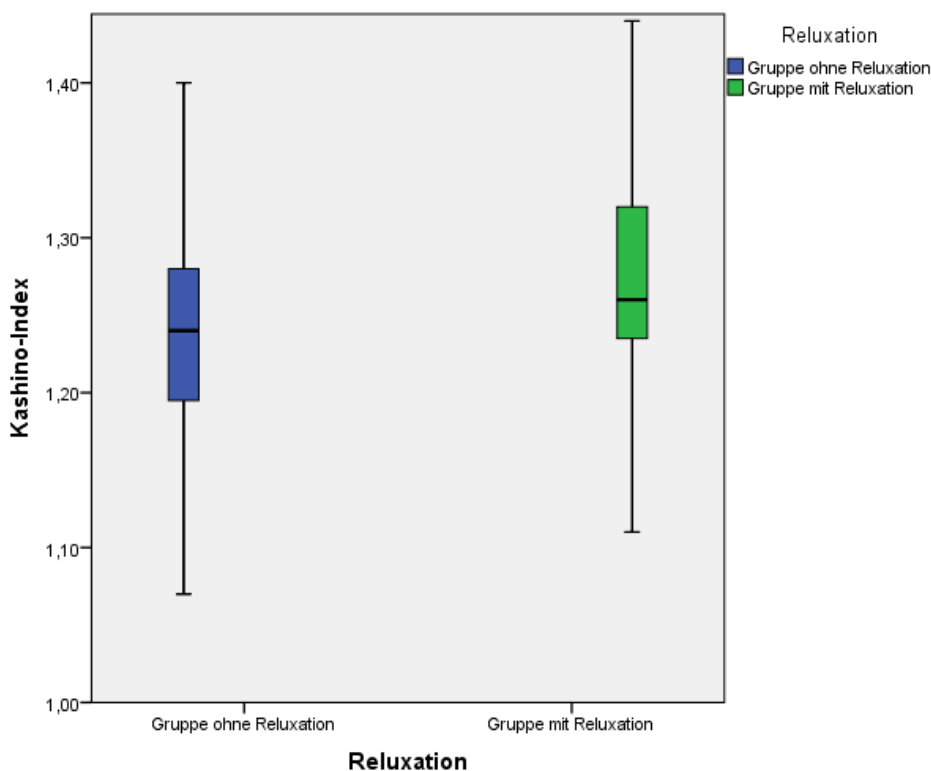


Abbildung 21: Koshino-Index in der Luxations-Reluxationsgruppe (Quelle: eigene Darstellung)

Patienten, die eine Relaxation erlitten haben, zeigen deutlich höhere Werte des Koshino-Index (vereinbar mit einer Patella alta) als Patienten ohne Relaxation.

Der Vergleich der Werte des Koshino-Index zwischen den Altersgruppen ($p = 0.55$) und den beiden Geschlechtern ($p = 0.37$) ergab keine signifikanten Unterschiede.

3.9 Blackburne-Peel-Index (BPI)

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Op ohne Reluxation	0.87	0.19	0.48	1.16
Op mit Reluxation	0.91	0.20	0.56	1.33
Konservativ ohne Reluxation	0.98	0.27	0.67	1.36
Konservativ mit Reluxation	1.05	0.29	0.70	1.86

Tab. 12: Ergebnisse des BPI in den Behandlungsgruppen

Innerhalb der vier unterschiedlichen Behandlungsgruppen konnten mit einem ($p = 0.11$) keine signifikanten Unterschiede aufgezeigt werden.

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Mit Reluxation	1.0	0.26	0.56	1.86
Ohne Reluxation	0.87	0.20	0.48	1.36

Tab. 13: Ergebnisse des BPI in der Reluxations-/Luxations-Gruppe

Der Vergleich der Mittelwerte der beiden Gruppen „ohne Reluxation“ (operativ + konservativ) mit der Gruppe „mit Reluxation“ (operativ + konservativ) ergab dagegen mit einem ($p = 0.03$) signifikante Unterschiede.

Es zeigte sich auch hier, dass Patienten mit Reluxation tendenziell höhere BPI Werte und damit eine höher liegende Patella aufweisen als Patienten mit einmaliger Luxation.

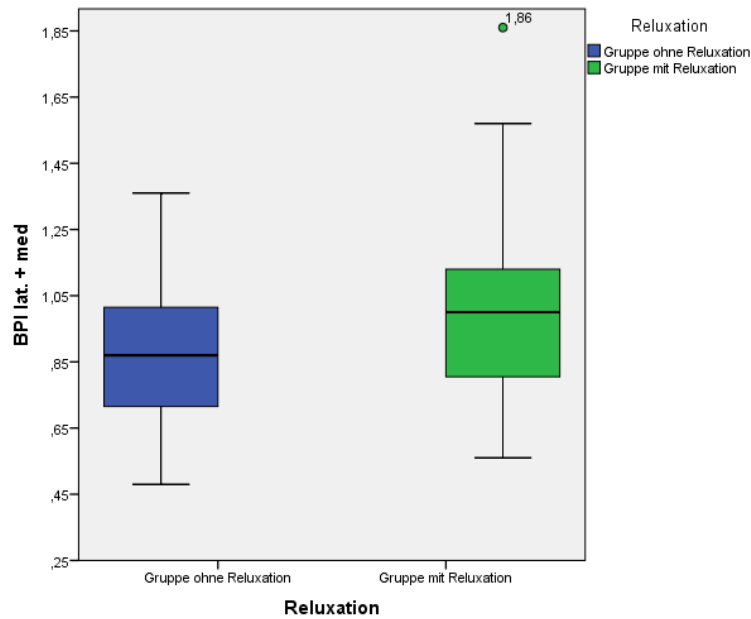


Abbildung 22: BPI in der Luxations-Relaxationsgruppe (Quelle: eigene Darstellung)

Die BPI-Werte zwischen den unterschiedlichen Altersgruppen ($p = 0.42$) und zwischen den beiden Geschlechtern ($p = 0.41$) unterschieden sich nicht signifikant.

3.10 Patello-Trochleärer Index

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Op ohne Relaxation	51.91	19.88	14	102
Op mit Relaxation	42.09	16.49	0	74
Konservativ ohne Relaxation	33.83	10.53	23	48
Konservativ mit Relaxation	38.10	17.28	0	61

Tab. 14: Ergebnisse des Patello-trochleären Index in den Behandlungsgruppen

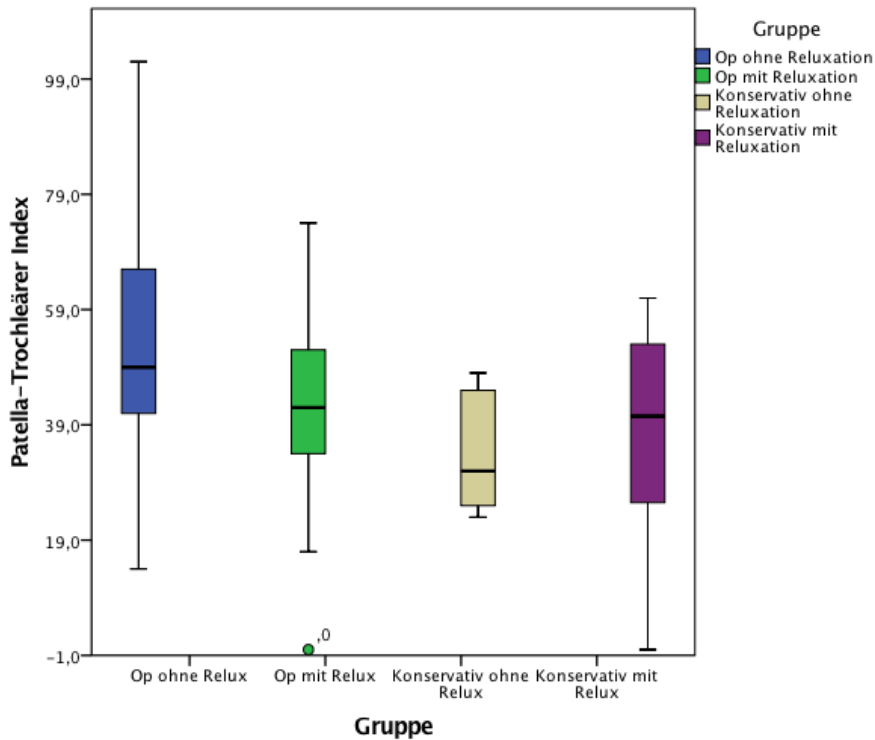


Abbildung 23: Patello-trochleärer Index in den Behandlungsgruppen (Quelle: eigene Darstellung)

Beim Vergleich der Werte für den Patello-trochleären Index zwischen den verschiedenen Behandlungsgruppen zeigte sich, dass konservativ behandelte Patienten im Mittel kleinere Werte aufwiesen, als Patienten, die eine operative Versorgung erhielten.

Insbesondere zwischen den Gruppen „Op ohne Relaxation“ und „konservativ ohne Relaxation“ ($p = 0.04$) sowie zwischen „Op ohne Relaxation“ und „konservativ mit Relaxation“ ($p = 0.02$) konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden.

Außerdem zeigten sich innerhalb der operativen Gruppe zwischen den Patienten „mit Relaxation“ und den Patienten „ohne Relaxation“ ($p = 0.08$) Mittelwertsunterschiede, die knapp über dem 0.05-Signifikanzniveau lagen. Patienten mit Relaxation wiesen im Mittel niedrigere Werte des patello-trochleären Index auf als Patienten, die keine Relaxation erlitten. Dieses Ergebnis konnte bei den konservativ versorgten Patienten nicht beobachtet werden.

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Mit Reluxation	39.26	16.88	0	74
Ohne Reluxation	49.80	19.35	14	102

Tab. 15: Ergebnisse des Patello-trochleären Index in der Reluxation-/Luxations-Gruppe

Betrachtet man lediglich die Gruppen „ohne Reluxation“ (operativ + konservativ behandelte Patienten) und „mit Reluxation“ (operativ und konservativ behandelte Patienten), so zeigt sich beim Vergleich der beiden auch hier ein signifikanter Unterschied ($p = 0.02$), bei welchem Patienten mit Reluxation niedrigere Werte des Patello-trochleären Index aufweisen. Somit zeigt sich auch bei diesem Score, dass Reluxationspatienten eine höhere Patellalage besitzen als Patienten mit einmaliger Luxation.

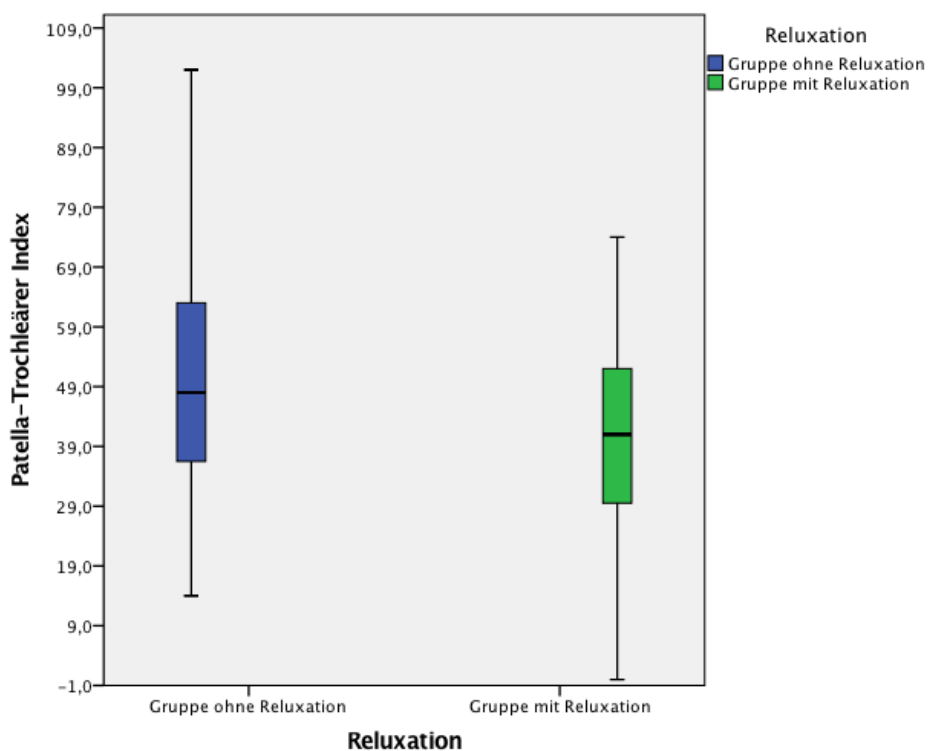


Abbildung 24: Patello-trochleärer Index in der Luxations-Reluxationsgruppe (Quelle: eigene Darstellung)

Die Werte zwischen den Altersgruppen ($p = 0.55$) und den beiden Geschlechtern ($p = 0.54$) unterscheiden sich nicht signifikant.

3.11 Tibial Slope

	<i>Mittelwert Gesamt</i>	<i>Mittelwert mediales Plateau</i>	<i>Mittelwert laterales Plateau</i>	<i>SD</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
Op ohne Reluxation	5.21°	5.45°	4.80°	2.52°	0.40°	9.87°
Op mit Reluxation	5.97°	5.79°	6.15°	2.43°	1.18°	10.06°
Konservativ ohne Reluxation	6.02°	5.63°	6.40°	3.45°	2.37°	11.43°
Konservativ mit Reluxation	5.87°	5.40°	6.34°	3.38°	1.16°	12.81°

Tab. 16: Ergebnisse des Tibial Slope in den Behandlungsgruppen

Der Vergleich der vier Behandlungsgruppen untereinander erbrachte bei einem $p = 0.69$ keine signifikanten Auffälligkeiten. Allerdings zeigte sich bei getrennter Betrachtung von medialem ($M = 5.57$) und lateralem Plateau ($M = 5.92$), dass der mediale Tibial Slope tendenziell kleiner ausfällt als der laterale Tibial Slope.

Weiterhin zeigten sich keine signifikanten Mittelwertunterschiede zwischen den unterschiedlichen Altersgruppen ($p = 0.48$).

	<i>Mittelwert gesamt</i>	<i>Mittelwert mediales Plateau</i>	<i>Mittelwert laterales Plateau</i>	<i>SD</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>
männlich	4.96°	5.03°	4.89°	2.64°	1.11°	11.24°
weiblich	6.34°	6.19°	6.49°	2.74°	0.40°	12.81°

Tab. 17: Ergebnisse des Tibial Slope der Geschlechter

Beim Vergleich der Geschlechter zeigte sich ein eindeutiger Unterschied mit signifikant höheren Tibial Slope-Werten bei den weiblichen Patientinnen ($p = 0.02$).

Der oben beschriebene Unterschied zwischen medialem und lateralem Plateau konnte beim Vergleich dieser Gruppen nicht beobachtet werden.

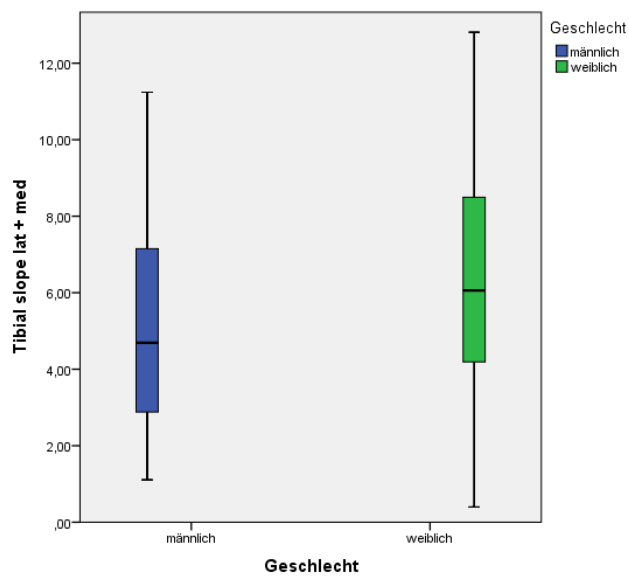


Abbildung 25: Tibial Slope der Geschlechter (Quelle: eigene Darstellung)

3.12 Femoral-Patella-Height-Index (FPHI)

	<i>Mittelwert</i>	<i>Standardabweichung</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>
Op ohne Reluxation	1.25	0.17	0.95	1.75
Op mit Reluxation	1.25	0.13	1.04	1.47
Konservativ ohne Reluxation	1.15	0.10	0.99	1.27
Konservativ mit Reluxation	1.17	0.11	0.94	1.35

Tab. 18: Ergebnisse des FPHI in den Behandlungsgruppen

Der Vergleich zwischen den unterschiedlichen Behandlungsgruppen führte zu keiner Signifikanz bei einem ($p = 0.12$). Auch zwischen den verschiedenen Altersgruppen ($p = 0.68$) und zwischen den beiden Geschlechtern ($p = 0.48$) ergaben sich keine nennenswerten Unterschiede.

3.13 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei insgesamt zwölf untersuchten Scores konnten bei sieben signifikante Unterschiede oder zumindest Mittelwertunterschiede mit lediglich leichter Überschreitung des 0.05-Signifikanzniveaus zwischen den verschiedenen Untersuchungsgruppen gefunden werden. Aus Übersichtsgründen werden im Folgenden lediglich Parameter erwähnt, die statistisch relevante Auffälligkeiten zeigten.

TT-TG

Bei der Analyse des TT-TG Abstandes zeigte sich, dass operativ versorgte Patienten im Mittel wesentlich höhere Werte aufweisen als Patienten, die sich einer konservativen Versorgung unterzogen. Insbesondere der Vergleich der Gruppen „Op ohne Reluxation“ und „konservativ ohne Reluxation“ konnte diesen Befund bestätigen.

Der weitere Vergleich der einzelnen Gruppen untereinander führte zu keinen signifikanten Ergebnissen.

Insall-Salvati

Beim Vergleich der Werte für den Insall-Salvati konnten signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Altersgruppen festgestellt werden. Es zeigte sich, dass mit zunehmendem Alter und Wachstum eine Verringerung der Insall-Salvati-Werte einhergehen. Insbesondere der Vergleich der Werte von Kindern mit denen Heranwachsender bzw. Erwachsener zeigte deutliche Unterschiede mit wesentlich höheren Werten bei den Kindern.

Zwischen den verschiedenen Behandlungsgruppen zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in den Mittelwerten. Ebenso wenig zwischen den Geschlechtern.

Patella Shift

Auch bei der Analyse der Patella-Shift-Werte ergaben sich signifikante Mittelwertunterschiede zwischen den Altersgruppen. So weisen insbesondere Jugendliche wesentliche höhere Patella-Shift-Werte als Kinder, Heranwachsende und Erwachsene auf.

Zwischen den verschiedenen Behandlungsgruppen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, allerdings hatten konservativ behandelte Patienten im Mittel deutlich niedrigere Werte als operierte Patienten.

Zwischen den beiden Geschlechtern konnten keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden.

Koshino-Index

Bei der Untersuchung der Werte für den Koshino-Index zeigten sich unter anderem beim Vergleich der verschiedenen Behandlungsgruppen signifikante Mittelwertunterschiede. So hatten konservativ behandelte Patienten höhere Koshino-Index Werte als Patienten, die operiert wurden. Die deutlichsten Unterschiede konnten dabei beim Vergleich der Gruppen „Op ohne Relaxation“ und „konservativ mit Relaxation“ beobachtet werden.

Auch beim Vergleich der beiden Gruppen „ohne Relaxation“ und „mit Relaxation“ ergaben sich signifikante Mittelwertunterschiede. Relaxationspatienten wiesen im Mittel deutlich höhere Werte des Koshino-Index auf als Patienten, die keine Relaxation erlitten. Die Messergebnisse des Koshino-Index lassen also darauf schließen, dass ein Patella-Hochstand vermehrt mit Relaxationen einhergeht.

Zwischen den verschiedenen Altersgruppen und den beiden Geschlechtern konnten keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden.

Blackburne-Peel-Index (BPI)

Bei der Analyse der BPI-Werte ergaben sich beim Vergleich der beiden Gruppen „ohne Relaxation“ und „mit Relaxation“ signifikante Unterschiede der Mittelwerte. So hatten Patienten, die eine Relaxation erlitten, im Mittel deutlich höhere BPI-Werte, als Patienten mit einer einfachen Luxation. Auch die Analyse der BPI-Werte deutet also darauf hin, dass ein Patella-Hochstand das Risiko für eine Relaxation steigert.

Beim Vergleich der BPI-Werte zwischen Behandlungs- und Altersgruppen sowie zwischen den Geschlechtern ergaben sich keine nennenswerten Auffälligkeiten.

Patello-trochleärer Index

Auch die Untersuchung der Werte des Patello-trochleären Index zwischen den verschiedenen Behandlungsgruppen ergab eindeutige Mittelwertunterschiede. So konnte auch hier aufgezeigt werden, dass Patienten mit konservativer Behandlung im Mittel niedrigere Werte des Patello-trochleären Index aufwiesen als Patienten mit einer operativen Therapie.

Außerdem ließen die Werte innerhalb der operativen Gruppe die Tendenz erkennen, dass Relaxationspatienten kleinere Patello-trochleäre Index-Werte haben als Patienten, die keine Relaxation erlitten.

Auch im Vergleich der beiden Gruppen „ohne Relaxation“ und „mit Relaxation“ zeigte sich, dass Patienten mit Relaxation vermehrt einen Patellahochstand aufzeigten und somit eindeutig kleinere Werte des Patello-trochleären Index hatten als Patienten ohne Relaxation.

Die Werte zwischen den Altersgruppen und den beiden Geschlechtern unterschieden sich nicht signifikant.

Tibial slope

Beim Vergleich der Tibial Slope-Werte ergaben sich lediglich zwischen den beiden Geschlechtern signifikante Unterschiede. So hatten weibliche Patientinnen im Mittel deutlich höhere Tibial Slope-Ergebnisse als männliche Patienten.

Zwischen den Behandlungs- und Altersgruppen ergaben sich hingegen keine nennenswerten Unterschiede.

4 Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es MRT-morphologische Parameter zu ermitteln, die das Risikoprofil für die patellofemorale Instabilität bzw. Rezidiv-Instabilität beschreiben.

Patienten mit Re-Luxation zeigten erhöhte Werte beim Koshino-Index, beim Blackburne-Peel Index und beim patellotrochleären Index im Sinne einer Patella alta im Vergleich zu Patienten ohne Reluxation. Ohne Zusammenhang zur Re-Luxationsrate wiesen Kinder und Jugendliche einen erhöhten Insall-Salvati-Index und vermehrten Patella Shift auf. Bei Frauen zeigte sich ein erhöhter Tibial Slope im Vergleich zum männlichen Geschlecht.

Die Patellahöhe konnte in unterschiedlichen Indices MRT-morphologisch als Risikofaktor für eine Re-Luxation identifiziert werden [61, 108]. Der Koshino Index dient zur Bestimmung der Patellahöhe insbesondere im Kindesalter. Er bietet den Vorteil, dass die Ossifikation noch nicht abgeschlossen sein muss und die Referenzpunkte im Vergleich zu anderen Parametern leichter zu bestimmen sind [93]. Koshino et al. untersuchten 36 gesunde Kinder (Durchschnittsalter 10,6 Jahre, Spannweite 3-18 Jahre) an Röntgenbildern und ermittelten einen Mittelwert von 1,31 ($SD = 0,9$) [76]. Es wurde ferner eine Abhängigkeit vom Beugegrad festgestellt. Bei 20° Kniebeugung betrug der Index 1,23 und bei 30° 1,19. Vegara-Amador et al. untersuchten die Röntgenbilder von 140 gesunden Kindern (Spannweite 6-12 Jahre) mit einem Mittelwert von 1,16 ($SD = 0,37$) [115]. Der Mittelwert in der vorliegenden Arbeit betrug 1,24 bzw. bei 1,27 in der Gruppe mit Re-Luxation. Unter Berücksichtigung, dass MRT-Aufnahmen vom Kniegelenk in einer leichten Beugstellung in der Kniespule gelagert wird, kann davon ausgegangen werden, dass die MRT Werte denen bei 20° oder 30° Beugung entsprechen. Damit wäre der Koshino-Index insbesondere in der Gruppe der Re-Luxationen höher. Sicherlich ist diese Interpretation limitiert, da eine Validierung des Koshino-Index am MRT noch aussteht und auch keine Normwerte bei Erwachsenen publiziert sind. Dieses Ergebnis würde sich allerdings in die bisherigen Erkenntnisse einfügen und unterstützen.

Der Femoral-Patella-Height-Index [62] ist ein weiterer Index, welcher in dieser Studie zur Bestimmung der Patellahöhe eingesetzt wurde. Er unterscheidet sich zu anderen

Höhenindizes wie ISI, BPI, CDI und auch dem Koshino-Index, da er rein femur-basierend die Höhe der Patella beurteilt und keine tibia-bezogenen Referenzpunkte in die Beurteilung miteinschließt, welche bei pathologischen Tibial Slope-Werten oder Patienten nach Knieendoprothesen oder hohen Tibia-Osteotomien zu verfälschten Ergebnissen führen könnte. Die oben genannten Gründe verändern die Lage der Referenzpunkte und können somit zu abweichenden Ergebnissen, abhängig von der angewendeten Messmethode führen. Auch Ihle et al. zeigten in ihrer Studie aus 99 Patienten mit Zustand nach open wedge HTO, dass die Beurteilung der Patellahöhe abhängig von den angewendeten Indizes sind. So zeigten sich postoperativ mittels BPI und CDI eine tiefer stehende Patella, im Gegensatz zum ISI und FPHI, bei welchen die Patellahöhe gleich blieb [63].

Wir konnten keine signifikanten Unterschiede innerhalb der verschiedenen Gruppenaufteilungen im Rahmen dieser Studie feststellen. Als Normwerte finden sich in der Literatur lediglich Messungen von den Erstbeschreibern, die anhand von Röntgen-Ganzbein-Aufnahmen Mittelwerte von 1.52 bis 1.58 ($SD = 0.18$) ermittelten [63]. Bei den Messungen anhand von MRT-Bildern im Rahmen dieser Studie ergab sich ein Mittelwert von 1.22 ($SD = 0.14$). Da bisher keine FPHI-Messungen an MRT-Bildern in der Literatur beschrieben sind, lassen sich die Ergebnisse dieser Studie nicht mit den bereits publizierten Werten vergleichen. Ferner wurden die Messungen an Ganzbeinstandaufnahmen durchgeführt.

Der Patellotrochleäre Index ist ein weiterer Parameter, welcher in dieser Studie zur Bestimmung der Patellahöhe eingesetzt wurde. Wie auch schon der FPHI stellt er einen rein femur-basierenden Höhen-Index dar. Die Normalwerte liegen zwischen 12,5% und 50%. Werte, die 12,5% unterschreiten, sprechen für weniger gemeinsam artikulierende Fläche und somit für eine Patella alta. Werte größer als 50% sind ein Hinweis auf eine Patella infera [20, 24, 97]. Verhulst et al. zeigten bei ihrem Vergleich zwischen fünf verschiedenen Messmethoden zur Bestimmung der Patellahöhe, dass sich insbesondere der Insall-Salvati Index und der patellotrochleäre Index an MRT-Aufnahmen eignen, da beide eine gute Intra- und Interclass Correlation besitzen [116]. Tscholl et al.[110] untersuchten in ihrer Studie die MRT-Bilder von 47 Patienten mit Patellotendinopathie mittels dem patellotrochleärem Index und verglichen sie mit einer Kontrollgruppe aus 87 Patienten ohne Knieschmerzen beziehungsweise patellofemorale Instabilität. Sie

kamen zu dem Ergebnis, dass Patienten mit Patellotendinopathie eine höhere Patellalage aufwiesen (PI = 33%) als die Kontrollgruppe (PI = 37%). Auch Ahmad et al. zeigten bei ihren Untersuchungen, dass der Patellotrochleäre Index ein geeigneter Parameter zur Bestimmung der Patellahöhe an MRT Bildern ist. Sie untersuchten 64 Patienten ohne patellofemorale Symptome mit Mittelwerten von 30% beziehungsweise 33%. Zudem ergaben ihre Untersuchungen, dass eine unbewusste Quadrizepskontraktion keine maßgebliche Auswirkung auf den patellotrochleären Index hat [3].

Die Messergebnisse im Rahmen dieser Arbeit zeigten einen Gesamtmittelwert von 45,23% und liegen damit eher im hoch-normalen Bereich. Vergleicht man allerdings die Ergebnisse der Patienten mit und ohne Re-Luxation ergaben sich auf Seiten der Re-Luxationspatienten deutlich niedrigere Werte als bei Patienten mit einmaliger Luxation.

In der Literatur wird bisher lediglich die erhöhte Patellaluxationsgefahr für Patienten mit Patella alta beschrieben. Inwiefern die Veränderung bestimmter Höhen-Indices Einfluss auf die Luxationsgefahr beziehungsweise die Reluxationsgefahr darstellt ist derzeit nicht publiziert, sodass die dargestellten Ergebnisse der Studie eine Tendenz aufzeigen.

Der Blackburne-Peel-Index (BPI) stellt einen Index dar, welcher im Gegensatz zu FPHI und patellotrochleärem Index tibia-basierend die Patellahöhe beschreibt. Normwerte werden dabei zwischen 0,54 und 1,06 angegeben, wobei erhöhte BPI Werte eine Patella alta beschreiben [20, 27, 88, 123]. Narkbunnam et al. untersuchten 40 Röntgenbilder gesunder Probanden und erzielten einen BPI-Mittelwert von 0,9 ($SD = 0,2$). Sie zeigten durch ihre Untersuchung zudem, dass der Flexionsgrad während der Aufnahme entscheidend ist und Abweichungen zu unterschiedlichen Messergebnissen führen [88]. Mit zunehmender Knieflexion gleitet die Patella nach distal und erreicht bei ungefähr 60° die knöcherne Führung der Trochlea [12]. Somit verändert die Beugstellung des Kniegelenkes auch die Messergebnisse der Patellaposition. Inwiefern sich die konventionell radiologischen Messwerte auf die MRT-Bildgebung übertragen lässt wurde von Barnett et al.[20] untersucht. Sie zeigten, dass sich die bisher an Röntgenaufnahmen durchgeführten BPI-Messungen zuverlässig auf die MRT-Auswertung übertragen lassen [20]. Gillespie et al. untersuchten die MRT-Aufnahmen von 25 Patienten mit Zustand nach Patellaluxation und verglichen sie mit einer

Kontrollgruppe ohne Luxationsereignis. Die Luxationsgruppe zeigte einen BPI-Mittelwert von 0,91, verglichen mit der Kontrollgruppe mit einem Mittelwert von 0,80 [53]. Die Messergebnisse in dieser Arbeit ergaben einen Mittelwert von 0,93 und befinden sich zwar im hoch-normalen Bereich. Eine Patella alta, lag daher definitionsgemäß nicht vor. Allerdings konnte ein deutlicher Unterschied zwischen der Gruppe mit einfachen Luxationen und der Reluxationsgruppe festgestellt werden. Die BPI-Werte der Reluxationsgruppe lagen zwar im Mittel mit 1,0 noch im Normbereich, waren aber deutlich größer als die von Patienten mit einmaliger Luxation, welche einen BPI von 0,87 aufwiesen. Obgleich es sich um Unterschiede im Normbereich handelt, bestätigen die BPI Messungen die Tendenz, dass bei höher stehender Patella gemessen mit dem BPI ein größeres Luxationsrisiko besteht von Gillespie et al. [53].

Der Caton-Dechamps-Index (CDI) stellt wie der BPI einen tibia-basierenden Höhen-Index der Patella dar. Als tibialer Referenzpunkt dient die anteriore Tibiakante. Werte, die einen Quotienten von 1,2 überschreiten, werden als Patella alta betrachtet [32, 33]. Die Messergebnisse in dieser Studie ergaben einen Mittelwert von 1,19 und befinden sich damit im oberen Grenzbereich und korrelieren eng mit den Untersuchungen von Dejour et al.. Sie publizierten in einer Untersuchung an 135 Patienten mit Zustand nach Patellaluxation eine neue Patellahöhenbestimmung anhand des sogenannten Sagittal Patellofemoral Engangement (SPE). Zusätzlich wurde bei allen Aufnahmen der CDI mit einem Mittelwert von 1,18 ($SD = 0,21$) gemessen. Signifikante Unterschiede beim Vergleich zwischen den verschiedenen Gruppen konnten anhand der vorliegenden Messergebnisse bei unseren Untersuchungen nicht beobachtet werden. Es zeigt sich jedoch eine Tendenz. Beispielsweise lag der CDI in der Gruppe ohne Luxation nach Operation bei 1,13 und in der Gruppe mit Luxation nach Operation bei 1,23.

Auch der Insall-Salvati stellt als weiterer tibia-basierender Parameter ein Index zur Bestimmung der Patellahöhe dar. Die Norm-Werte, sind mit 0,8 - 1,3 definiert. Bei Patienten, die Insall-Salvati-Werte kleiner als 0,8 aufweisen, spricht man von einer Patella baja (infera). Bei Werten über 1,3 handelt es sich um eine Patella alta [66, 86].

In der vorliegenden Arbeit lag der Insall-Salvati im Mittel bei 1,42 und somit außerhalb des Normbereichs. Von den 90 untersuchten Patienten hatten insgesamt 64 Patienten einen höheren Insall-Salvati Wert als 1,3 und damit definitionsgemäß eine Patella alta.

Arendt et al. untersuchten in ihrer Arbeit 157 Patienten mit Zustand nach Patellaluxationen. Es ergab sich ein Insall-Salvati-Index Mittelwert von 1,33 [9]. In einer Studie von Kohlitz et al. wurde bei Patienten mit Zustand nach Patellaluxation ein ISI-Mittelwert von 1,4 ermittelt. Außerdem zeigten Kohlitz et al. in ihren Untersuchungen, dass Patienten mit Reluxationen nur zu 51,2% eine Patella alta aufwiesen. 48,8% der Reluxationspatienten hatten demnach keine Patella alta [73]. Auch in unserer Arbeit konnten wir anhand des Insall-Salvati keine signifikant erhöhten Patella alta-Werte bei Reluxationspatienten nachweisen.

Es gibt eine Vielzahl an verschiedenen Messmethoden zur Bestimmung der Patellahöhe. Wichtig zur Ermittlung der Patellahöhe ist, den Index mit den geeigneten Referenzpunkten für die jeweilige Fragestellung zu wählen. So sollte insbesondere zwischen femur- und tibia-basierenden Messmethoden unterschieden werden, welche zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Dies ist insbesondere bei voroperierten Patienten wichtig. So eignen sich beispielsweise bei Patienten mit operativen Eingriffen an der proximalen Tibia femur-basierende Höhen-Indizes [63]. Ein weiterer Grund für Abweichungen zwischen den Ergebnissen verschiedener Höhen-Index-Bestimmungen ist die exakte Lokalisation der Referenzpunkte in der Schnittbildgebung. So lassen sich beispielsweise beim Insall-Salvati-Index von unerfahreneren Messern diese wesentlich leichter ermitteln als beim Caton-Dechamps-Index. Dies wurde auch in einer Studie von Verhulst et al. [116] bestätigt. Sie untersuchten bei 48 Patienten, die mit patellofemorale Instabilitäten behandelt wurden, fünf verschiedene Messmethoden an Röntgenbildern, CT- und MRT Aufnahmen mit Blick auf die Intra- und Interclass-Correlation. Ergebnis der Untersuchung war, dass der Insall Salvati-Index der einzige Parameter war, der eine gute Intra-und Inter-Correlation für Röntgenbilder, CT- und MRT-Aufnahmen zeigte. Die MRT-Auswertung schnitt in Bezug auf Intra-und Interrelation schlecht ab. Lediglich der Patellotrochleäre Index zeigte als weiterer Parameter an MRT Aufnahmen eine gute Intra-und Inter-Correlation [116].

Biedert et al.[26] Führt 2017 eine systematische Überprüfung der derzeitigen Literatur zur Bestimmung der Patella alta durch. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass in der Literatur viele verschiedene Definitionen, Messverfahren und Grenzwerte genannt werden und dass das Vorhandensein einer Patella alta stark von der verwendeten Messmethode abhängt. Interessanterweise konnte kein Konsens gefunden werden, wann

eine Patelladistalisierung in Abhängigkeit der Patellahöhe erforderlich ist. Daher muss bis heute festgehalten werden, dass diese Indikation sich weiterhin auf Expertenmeinung stützt. Daher ist es umso wichtiger eine Analyse aus der Vorliegenden Arbeit vorzunehmen, inwieweit die Patella alta Einfluss auf eine mögliche Relaxationsgefahr hat. Durch die signifikanten Ergebnisse von Koshino-Index, Blackburne-Peel-Index und patello-trochleärem Index bei Relaxationspatienten dieser Arbeit konnte der Einfluss teilweise gezeigt werden. Allerdings zeigen andere Untersuchungen wie von Kohlitz et al., welche den ISI als Index nutzen, dass bei Relaxationspatienten nur zu 51,2% eine Patella alta vorliegt [73]. Dies bekräftigt wiederum die Theorie von Frosch und Schmeling, dass der kombinierte Ausfall verschiedenster Stabilisatoren für eine patellofemorale Instabilität verantwortlich sind [50].

Uneinigkeit besteht immer noch in wie weit das Alter als Risikofaktor für patellofemorale Instabilität angesehen werden kann. Untersuchungen und Publikationen von Balcarek et al. [16], Atkin et al. [13] und Fithian et al. [49] beschreiben, dass insbesondere junge, aktive Patienten prädisponiert für patellofemorale Instabilität sind. Arendt et al. konnten dagegen bei ihren MRT-Untersuchungen an 157 Patienten mit Zustand nach Patellaluxationen keine signifikanten Unterschiede zwischen unreifem und reifem Skelett feststellen. Allerdings waren die Erwachsenen mit zweidrittel der Patienten im Vergleich zu den Kindern und Jugendlichen überpräsentiert. Auch Kar et al.[69] untersuchten mittels des Insall-Salvati Index, in wie weit das Wachstum Einfluss auf die Patellahöhe hat. Sie untersuchten die MRT-Aufnahmen von insgesamt 93 Jugendliche und Erwachsene, konnten aber kein signifikantes Ergebnis erzielen. Allerdings wurde die Gruppe der Jugendlichen als < 20 Jahre definiert und könnte daher der Grund für ihre Ergebnisse sein.

Bei der Analyse der Werte aus der vorliegenden Arbeit in den verschiedenen Altersgruppen konnte nachgewiesen werden, dass die Werte des Insall-Salvati mit zunehmendem Alter rückläufig sind. Im Gegensatz zu Kar et. al.[69] wurden die Altersklassen anders gewählt. Damit können die unterschiedlichen Ergebnisse erklärt werden. Denn nur die Gruppe der Kinder und Jugendlichen bis zu einem Alter von 18 Jahren weichen dabei ab. Diese Erkenntnisse bekräftigen somit die Theorie von Balcarek et al.[16], Atkin et al. [13]und Fithian et al.[49], dass Patellaluxationen

vermehrt im Wachstumsalter und insbesondere bei Jugendlichen auftreten. Ein Grund ist sicherlich die von den Autoren beschriebene unterschiedliche Geschwindigkeiten von Weichteil- und Knochenwachstum welche zu abweichenden Kraft- und Zugverhältnissen führen kann [9, 10, 13]. Allerdings könnte auch die Veränderung der Patellahöhe im Wachstumsalter ein relevanter Faktor darstellen.

Die Feststellung, dass die Kraft- und Zugverhältnisse im Wachstum abweichen wird durch die vorliegenden Ergebnisse des Patella Shift bestätigt. Beim Patella Shift handelt es sich um einen Parameter, der zur Lagebestimmung der Patella dient. Bei Werten über 2,5 mm wird dabei von einer Subluxationsstellung ausgegangen [22, 42, 99]. In den beschriebenen Ergebnissen zeigten sich signifikante Unterschiede im Bereich der Altersgruppen. So hatten Jugendliche mit Abstand die höchsten Werte, gefolgt von Kindern, Heranwachsenden und Erwachsenen.

Der Mittelwert der gesamten Messungen im Rahmen dieser Arbeit liegt unter allen Patienten bei 4,84mm und beschreibt somit eine Subluxationsstellung. Auf Patella Shift-Werte an MRT Aufnahmen bei Patienten mit patellofemorale Instabilität wird in der Literatur bisher wenig eingegangen. Banke et al. untersuchten 17 Patienten mit patellofemorale Instabilität und Trochleadysplasie um das Outcome nach Trochleoplastik zu beurteilen. Die Patienten hatten im Mittel präoperativ einen Patella Shift von 4,7mm [19]. Yang et al. untersuchten in ihrer Studie die Ergebnisse einer kombinierten Rekonstruktion des medialen Patellofemoralbandes sowie des medialen Patellotibialbandes an 108 Patienten mit patellofemorale Instabilität und Patella alta. Es wurde präoperativ ein Patella Shift Mittelwert von 6,2mm ermittelt [122]. Möglicherweise hängt dieser Wert auch von einer intraartikulären Ergussbildung nach Patellaluxation mit Ruptur des MPFL ab. Inwiefern diesbezüglich ein Zusammenhang besteht ist nicht untersucht. Festzuhalten ist, dass die Messung des Patella Shift ein Parameter darstellt, der signifikant verändert ist. Inwiefern er zukünftig in eine Therapieentscheidung mit einfließen kann bleibt abzuwarten und hängt von weiteren Untersuchungen ab.

Der Patella Tilt stellt wie auch der Patella Shift einen Parameter zur Bestimmung der Lage der Patella dar. Normwerte werden dabei mit $\pm 2^\circ$ angegeben, wobei Werte über 5° als pathologisch betrachtet werden [55, 56, 81]. Askenberger et al. untersuchten in

einer Studie 103 Kinder und Jugendliche im Alter von 9 bis 14 Jahren mit Zustand nach Patellaluxation und ohne Luxationsereignis. Der Patella Tilt Mittelwert in der Luxationsgruppe lag bei $21,1^\circ$ ($SD = 7,2^\circ$), verglichen mit Patienten ohne Luxationsereignis mit einem Mittelwert von $8,5^\circ$ ($SD = 4,4^\circ$) [11]. Hiemstra et al analysierten die MRT-Aufnahmen von 224 Patienten mit patellofemorale Instabilität, einschließlich dem Riss des MPFL Bandes. Der Patella Tilt betrug im Mittel $20,2^\circ$ ($SD = 9,8^\circ$) [58]. Bei den Messungen im Rahmen dieser Arbeit ergab sich ein Mittelwert von $21,25^\circ$ und korreliert mit den oben genannten Studien, die ebenfalls Patienten nach einem Luxationsereignis untersuchten. Als Ursachen für die pathologischen Tilt-Werte bei Patienten mit Zustand nach Patellaluxationen werden Verletzungen und Insuffizienzen der medialen Stabilisatoren, insbesondere der Riss des MPFL Bandes, vermutet [11, 12]. Berücksichtigt man das operative Verfahren mittels medialer Raffung in der vorliegenden Arbeit, könnte der Patella-Tilt die Re-Luxationen mit erklären. Denn die fortbestehende Insuffizienz des MPFL stellt neben einer Patella alta ein weiteres Instabilitätskriterium dar, Ein weiterer möglicher Grund für die pathologischen Tilt-Werte könnte wie beim Patella Shift ein Kniegelenkserguss sein. Hierfür würden die Unterschiede zwischen Luxationsgruppe und Kontrollgruppe bei Askenberger et al. sprechen [11].

Demnach sollten sowohl die pathologischen Patella Tilt, als auch die Patella Shift Werte nicht als prädisponierende Faktoren, sondern eher als Zeichen für eine persistierende patellofemorale Instabilität gesehen werden.

Es muss zudem bedacht werden, dass in dieser Studie der Risikofaktor der Patelladysplasie nicht berücksichtigt wurde. Panni et al. beschreiben in einer Studie aus 105 Patienten mit patellofemorale Instabilität, dass insbesondere die Risikofaktoren Trochleadysplasie und Patelladysplasie eng miteinander korrelieren. So zeigte sich, dass erhöhte laterale Spannungen zu hypoplastischen medialen Facetten der Patella führen und dass Patienten mit Trochleadysplasie, vermehrt eine Patelladysplasie aufwiesen. Eine veränderte Patellaform hat wiederum Auswirkungen auf verschiedene Messparameter und kann somit zu abweichenden Ergebnissen führen. In der Studie von Panni et al. zeigten sich insbesondere erhöhte Patella Tilt-Werte von über 34° bei Patienten mit Patella Dysplasie Typ C nach Wiberg [92].

In unserer Studie wurden zur Ermittlung der Trochleadysplasie der Sulkuswinkel und die laterale Trochlea-Inclination (LTI) eingesetzt. Brattström beschrieb 1964 erstmals die Bestimmung des Sulkuswinkels anhand von Röntgenbildern und legte dabei einen Normwert von 135° - 145° fest [29]. Insbesondere große Sulkuswinkel führen bei zunehmender Knieflexion zu patello-femorale Instabilität und erhöhen somit das Risiko für eine Patellaluxation [8]. Salzmann et al. verglichen in ihrer Studie Sulkuswinkel und Laterale Trochlea-Inclination zwischen Röntgenaufnahmen und MRT Aufnahmen. In ihrer Studie ergaben sich höhere Messwerte bei den MRT Vermessungen verglichen mit Röntgenaufnahmen. Die Messungen von Salzmann et al. ergaben Sulkuswinkel zwischen 155° - 168° in den MRT-Aufnahmen, wobei berücksichtigt werden muss, dass in ihrer Studie lediglich Patienten eingeschlossen wurden, die an einer bereits bekannten Trochleadysplasie gelitten hatten [98]. Auch Ambra et al. kamen bei Ihren MRT-Vermessungen zu höheren Messergebnissen des Sulkuswinkels. Bei Ihren Untersuchungen lagen die Ergebnisse zwischen 145° , bei Patienten der Kontrollgruppe, mit Knieschmerzen ohne patellofemorale Beschwerden und 149° für Patienten mit patellofemorale Knorpelläsionen [4]. In der Arbeit von Chan et al. wurden Sulkuswinkel von 134° bis 142° bei Patienten mit patellofemorale Chondromalazie gemessen, wobei als Normwert $138 \pm 6^{\circ}$ angenommen wurde [34]. In der vorliegenden Studie lagen die Werte des Sulkuswinkels im Mittel bei $138,17^{\circ}$ und somit im von Brattström, beziehungsweise Chan et al. für MRT Aufnahmen, publizierten Normbereich.

Auch die Messergebnisse der Lateralen Trochlea-Inclination, welcher als weiterer Parameter zur Beurteilung der Trochleamorphologie dient, konnten bei unserer Arbeit keine Ergebnisse im Sinne einer Trochleadysplasie aufzeigen. Carrillon et al. legten in Ihrer Arbeit einen Grenzwert von 11° fest. LTI Werte kleiner als 11° seien demnach Hinweis für eine Trochleadysplasie [31]. Balcarek et al. untersuchten 428 Patienten mit Zustand nach Patellaluxationen beziehungsweise mit patellofemoralem Schmerzsyndrom mit einem LTI-Mittelwert von 17° . Sie kamen außerdem zu dem Ergebnis, dass mit einer Sensitivität von 93% und einer Spezifität von 87% der LTI ein geeigneter Parameter für die Beurteilung einer Trochleadysplasie darstellt. Als Grenzwert wurde auch in dieser Studie 11° angenommen [18]. In unserer Studie lagen die Messwerte im Durchschnitt bei $18,57^{\circ}$ und somit im Normbereich. Keser et al.,

deren durchschnittlicher LTI bei 19° lag [71], untersuchten das Verhalten der Lateralen Trochlea-Inclination zwischen verschiedenen Altersgruppen und Geschlechtern, konnte allerdings wie auch in unserer Studie keine signifikanten Mittelwertunterschiede aufzeigen.

Weder die Ergebnisse der Sulkuswinkel, noch der Lateralen Trochlea-Inclination konnten bei unserer Untersuchung Hinweise im Sinne einer Trochleadysplasie aufzeigen. Auch innerhalb der Reluxationsgruppe konnten durch den Sulkuswinkel und den LTI keine erhöhte Anzahl an Trochleadysplasien nachgewiesen werden.

Es bleibt somit zu hinterfragen ob in unserer Studie die Anzahl an Trochleadysplasien sehr gering war oder der Grenzwert für den LTI von 11° beziehungsweise die Range des Sulkuswinkels $138^\circ \pm 6^\circ$ als unzureichend beziehungsweise anpassungswürdig angesehen werden dürfen. Auch könnte die Exakte Lokalisation der Referenzpunkte zu verfälschten Messergebnissen geführt haben. So können insbesondere in der Schnittbildgebung kleinere Abweichungen in der Bestimmung der Referenzpunkte zu deutlichen Veränderungen der Messergebnisse führen, wie Verhulst et al. in ihren Untersuchungen zeigten, in welcher die MRT-Vermessung insgesamt als schlecht vergleichbares Messinstrument abschnitt [116]. Andererseits zeigen vergleichbare Studien zu unserer, wie von Balacarek et al. [18] und Keser et al. [71] vergleichbare Messergebnisse.

Als weiterer Messwert wurde in dieser Arbeit der Tibial Tuberosity-Trochlear Groove Abstand (TT-TG) untersucht. Beim TT-TG wird der Abstand zwischen Sulcus trochleae und der Tuberositas tibiae bestimmt. Dejour et al. (1994) definierten eine pathologische Grenze von 20mm. Werte, die 20mm überschreiten, werden demnach als pathologisch angesehen [42]. Bezüglich der Normwerte gibt es in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben. So ergaben die Messungen von Dejour et al. einen Mittelwert von 12.7mm ($SD = 3.4$) bei der Vermessung von CT-Bildern an Patienten mit patellofemorale Instabilität [42]. Salil Pandit et al. ermittelte an MRT Bildern von Patienten mit Verdacht auf Meniskusverletzung, ohne patellofemorale Instabilität, Mittelwerte zwischen 9,91mm und 10,04mm ($SD = 1$) [91]. Ambra et al. publizierte TT-TG Mittelwerte bei Patienten mit Knieschmerzen beziehungsweise patellofemorale Knorpelläsionen von 11,3mm ($SD = 4.2$) bis 11,61mm ($SD = 4.82$) [4]. Schoettle et al.

zeigten 2006, dass TT-TG Messungen an MRT Bildern durchaus vergleichbar mit CT Aufnahmen sind, die bis dahin den Goldstandard zur TT-TG Vermessung darstellten [100].

Die TT-TG Werte bei den Messungen im Rahmen dieser Arbeit ergaben einen Mittelwert von 7.25mm ($SD = 4.57$) und liegen somit unterhalb der pathologischen Grenze und deutlich unter den beschriebenen Normwerten anderer Autoren.

Es konnte zudem ein deutlicher Unterschied zwischen den konservativ und den operativ behandelten Patienten festgestellt werden. So hatten konservativ behandelte Patienten TT-TG-Werte von 0mm bis 14mm und Patienten, die eine Operation erhielten, Werte von 0mm bis 21mm. Da es sich beim verwendeten Bildmaterial um Voraufnahmen handelt und ein erhöhter TT-TG mit großer Wahrscheinlichkeit mit in die Therapieentscheidung eingeflossen ist, sind die erhöhten TT-TG Werte auf Seiten der operativ behandelten Patienten durchaus zu erklären. Zudem erscheint die Gruppe der konservativ behandelten Patienten in dieser Studie nicht repräsentativ zu sein. Es konnten nur Patienten eingeschlossen werden, die sich in der BGU Tübingen vorgestellt hatten. Es ist davon auszugehen, dass sich ein Großteil der Patienten, bei denen die erfolgreiche konservative Therapie eingeleitet wurde nicht vorstellig wurden. Somit dürfte dieser Sachverhalt und der Status einer BG Klinik mit Behandlung von Arbeitsunfällen zu einem Selektionsbias geführt haben. Für diese Annahme spricht, dass das Verhältnis Männer:Frauen $\sim 5:4$ ungewöhnlich zugunsten der Männer liegt. Andere Arbeiten geben das Verhältnis mit 1:5 zugunsten der Frauen an [100].

Unterschiedliche TT-TG-Werte zwischen den verschiedenen Altersgruppen oder den Geschlechtern konnten, wie auch schon bei Salil Pandit et al. [91], im Rahmen dieser Studie nicht gefunden werden.

Der Tibial slope wurde als weiterer Einflussfaktor auf die patellofemorale Instabilität in dieser Studie untersucht. Er ist ein Parameter, mit welchem man die physiologische nach posterior führende Tibia-Abflachung bestimmen kann. Wie bereits im Abschnitt Material und Methoden erwähnt ist die Einschätzung bezüglich Normwerte in der Literatur schwierig, was auch mit der Vielzahl an unterschiedlichen Messmethoden zusammenhängen könnte. Kessler et al. zeigten in einer Untersuchung der unteren Extremität von Leichen, dass die Messung des Tibial Slopes an Röntgenaufnahmen

Messunterschiede von über 5° zeigten, im Vergleich zu der CT-Vermessung mit Unterschieden weniger als 3° . Dies wird durch die Überlagerungseffekte der Röntgenbildgebung erklärt, durch welche das Tibiaplateau zu ungenau lokalisiert werden kann und somit zu Messungenauigkeiten führt [72]. Karimi et al. untersuchten an 132 gesunden Probanden den Tibial Slope anhand von MRT-Aufnahmen. Die Messmethode stimmte dabei, mit der in dieser Arbeit verwendeten überein. Sie erzielten einen Tibial Slope des medialen Plateaus von $7,78^\circ$ ($SD = 2,48^\circ$) und des lateralen Plateaus von $6,85^\circ$ ($SD = 2,24^\circ$). Zudem konnten keine Alters- beziehungsweise geschlechtsspezifischen Unterschiede festgestellt werden [70]. Frosch et al. zeigten in einer Studie an 98 Patienten mit Trochleadysplasie, dass der Schweregrad der Trochleadysplasie mit größeren medialen Tibial Slope-Werten einhergeht. Die Messung erfolgte anhand MRT-Aufnahmen mittels gleicher Methode, wie in dieser Arbeit. Es wurden in der Studiengruppe medial 7° und lateral 5° gemessen, verglichen mit gesunden Probanden, bei welchen medial 8° und lateral im Mittel $6,5^\circ$ gemessen wurde [51].

Die Tibial Slope-Werte lagen bei den Messungen im Rahmen dieser Arbeit im Mittel bei $5,60^\circ$, beziehungsweise am medialen Plateau bei $5,57^\circ$ und dem lateralen Plateau bei $5,92^\circ$. Sie liegen somit unterhalb der Ergebnisse von Karimi und Frosch et al. Auffällig ist, dass sich die Ergebnisse von Karimi et al. an gesunden Patienten und Frosch et al. an Patienten mit Trochleadysplasie, nicht nennenswert unterscheiden. Außerdem ergaben die Messungen in der Studie von Frosch et al. größere Tibial Slope Werte in der Kontrollgruppe als in der Studiengruppe. In die Studiengruppe wurden lediglich Patienten mit Trochleadysplasie eingeschlossen, was einen Risikofaktor für Patellaluxationen darstellt. Demnach müssten Patienten mit patellofemorale Instabilität höhere mediale Tibial Slope Werte aufweisen, was durch die vorliegenden Messerergebnisse nicht bestätigt werden kann. Auf die Frage inwieweit der Tibial Slope Einfluss auf die patellofemorale Instabilität hat gibt die derzeitige Studienlage keine Antwort und kann auch durch die Ergebnisse unserer Untersuchungen nicht geklärt werden.

Lediglich der Vergleich der Tibial Slope-Werte zwischen den Geschlechtern zeigte ein signifikantes Ergebnis. So hatten Frauen im Mittel wesentlich höhere Tibial Slope-Werte als Männer. Karimi et al. [70] konnten diesen geschlechtsspezifischen

Unterschied in ihrer Studie nicht bestätigen. Auch andere Autoren wie Brandon et al. [28], die den Zusammenhang zwischen Tibial Slope und vorderer Kreuzbandinsuffizienz untersuchten oder Ristic et al. [96] die sich mit dem Zusammenhang zwischen Tibial Slope und Verletzungen des vorderen Kreuzbandes beschäftigten konnten keine geschlechtsspezifischen Unterschiede bei Tibial Slope Vermessungen feststellen

Ein weiterer Einfluss blieb unberücksichtigt, da hierfür keine Bildgebung vorlag. Die femorale Innentorsion sowie die tibiale Außentorsion stellen einen Risikofaktor dar [68]. Diesen Sachverhalt erkannten auch Frosch et al. und kategorisierten einen eigenständigen Typ in ihrer Klassifikation [50]. Welches Maß an Einfluss eine Torsionskorrektur auf die Patellastabilität hat ist Gegenstand aktueller Forschung. Die Behandlung mittels Torsionskorrektur scheint jedoch bessere Ergebnisse zu erzielen wie beispielsweise eine Tuberositasversetzung[94].

4.1 Limitierung

Abschließend sollen mögliche Schwachstellen der vorliegenden Arbeit diskutiert werden. So sind zunächst die unterschiedlichen Gruppengrößen zu nennen. Insbesondere die Gruppe der konservativ versorgten Patienten ist deutlich kleiner als die der operativ versorgten Patienten. Die Gruppe „konservativ ohne Relaxation“ besteht lediglich aus sechs Patienten, die Gruppe der konservativ Versorgten mit Relaxation jedoch aus zweiundzwanzig Patienten. Im Vergleich dazu zählt die Gruppe „Op ohne Relaxation“ achtunddreißig Patienten, die Gruppe mit Relaxation dreiundzwanzig Patienten.

Weiterhin liegt der Verdacht nahe, dass die Gruppe der konservativ Versorgten Patienten nur unzureichend repräsentativ ist, da in diese Studie lediglich Patientinnen und Patienten eingeschlossen wurden, die sich in der BG Unfallklinik Tübingen vorgestellt hatten. Somit konnten Patientinnen und Patienten mit vermeintlich leichteren Patellaluxationen beziehungsweise Patientinnen und Patienten, bei denen von Beginn an ein konservatives Prozedere feststand, nicht in die Studie eingeschlossen werden, da diese größtenteils von niedergelassenen Orthopäden behandelt werden.

Eine weitere Schwachstelle der Studie ist, dass es sich bei dem Bildmaterial größtenteils um Aufnahmen handelt, die vor Therapiebeginn angefertigt wurden. Um die jeweiligen Therapieoptionen besser beurteilen zu können, wären Vergleichsaufnahmen nach erfolgter Behandlung hilfreich gewesen. Dadurch könnte dann ein genaueres Risikoprofil mit MRT-morphologischen Auffälligkeiten zwischen den verschiedenen Behandlungsoptionen erstellt werden. Es wird damit angeregt, dass zukünftige Studien diesen Punkt berücksichtigen sollten.

Zudem war das Bildmaterial von sehr unterschiedlicher Qualität. Dies hängt auch damit zusammen, dass die Bilder über zehn Jahre hinweg (2004 bis 2014) angefertigt wurden und von unterschiedlichen MRT Geräten stammten. Darüberhinaus wurden unterschiedlichste Sequenzen zur Bildgebung angewendet.

Als weitere Limitierung ist zu nennen, dass es bei der vorliegenden Studie lediglich einen Untersucher gab, der die Messungen durchgeführt hat. So zeigen Studien, die sich mit Vermessungen von Bildmaterial beschäftigen, dass die Intra- und Interobserver-Variabilität durch teilweise mehr als drei unabhängige und erfahrene Radiologen besser berücksichtigt und kontrolliert werden kann [123].

5 Schlussfolgerung

Ziel der Studie war es anhand einer Vielzahl von verschiedenen Messparametern Risikofaktoren für eine Patellaluxation beziehungsweise ein Risikoprofil für eine Reluxationsgefahr nach bereits stattgehabter Luxation darzustellen.

Insgesamt konnten drei Parameter eindeutige Unterschiede zwischen Patienten mit einmaliger Luxation und Reluxationspatienten aufzeigen.

Reluxationspatienten hatten wesentlich höhere Werte des Koshino- und Blackburne-Peel-Index als Patienten mit einmaliger Luxation. Beim patello-trochleären Index verhielten sich die Werte genau entgegengesetzt. So zeigten Reluxationspatienten deutlich niedrigere Werte als Patienten mit einfacher Luxation. Alle drei Resultate weisen jeder für sich auf eine Patella alta oder zumindest eine Tendenz zu einem Patella-Hochstand hin.

Man kann also davon ausgehen, dass ein erhöhter Koshino- und Blackburne-Peel-Index, beziehungsweise ein zu kleiner patello-trochleärer Index erhebliche Risikofaktoren für Patienten mit Patellaluxation darstellen, in Zukunft eine Reluxation zu erleiden. Inwiefern der Patella Shift und der Patella Tilt in die Beurteilung des initialen Risikoprofils miteingehen sollte und danach die Therapie festgelegt werden kann bleibt offen. Es scheint jedoch, dass diese Parameter dafür geeignet sind, die mediale Raffung als suffizientes Verfahren bzw. als unzureichend zu identifizieren.

Mit den Ergebnissen des Insall-Salvati-Index und des Patella shifts zeigten sich wiederum Unterschiede in den unterschiedlichen Altersgruppen. So wurde deutlich, dass die Gefahr einer patello-femorale Instabilität beziehungsweise einer Patellaluxation im Jugendalter am höchsten ist und mit zunehmendem Alter beziehungsweise mit der daraus resultierenden Abnahme des Wachstums rückläufig erscheint.

Bei den Messungen des Tibial Slope fiel auf, dass weibliche Patientinnen wesentlich höhere Werte zeigten als männliche. Erhöhte Tibial Slope-Werte spielen im Pathomechanismus der patellofemorale Instabilität durchaus eine Rolle und liefern somit einen der Gründe, warum Frauen häufiger von Patellaluxationen betroffen sind als Männer [16, 17].

Wie auch schon in den oberen Abschnitten erörtert finden sich in der Literatur eine Vielzahl verschiedener Parameter, die zur Vermessung des Kniegelenkes herangezogen werden können. Allerdings ist nicht jede Messmethode für die Anwendung auf unterschiedliche Bildgebungsmöglichkeiten geeignet. Somit resultieren eine Vielzahl an publizierten Normwerten für unterschiedliche Bildgebungsverfahren.

Ziel in Zukunft muss es dennoch sein, noch einheitlicher mit dem Thema patellofemorale Instabilität und Patellaluxation umzugehen. So müssen relevante Begriffe wie Patella alta genauer definiert werden, indem einheitliche Messverfahren angewendet werden und Normwerte beziehungsweise Grenzwerte einheitlich festgelegt werden.

6 Literaturverzeichnis

1. (DGU), L.d.D.G.f.r.U.e.V. *S1- Leitlinie 012/024: Patellaluxation*. 2014 [cited 2017; Available from: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/012-024l_S1_Patellaluxation_2014-06-abgelaufen.pdf.
2. Agneskirchner, J.D., et al., *Effect of high tibial flexion osteotomy on cartilage pressure and joint kinematics: a biomechanical study in human cadaveric knees. Winner of the AGA-DonJoy Award 2004*. Arch Orthop Trauma Surg, 2004. **124**(9): p. 575-84.
3. Ahmad, M., et al., *Reliability of patellotrochlear index in patellar height assessment on MRI-correction for variation due to change in knee flexion*. Skeletal Radiol, 2019. **48**(3): p. 387-393.
4. Ambra, L.F., et al., *Anatomic Risk Factors for Focal Cartilage Lesions in the Patella and Trochlea: A Case-Control Study*. Am J Sports Med, 2019. **47**(10): p. 2444-2453.
5. Amis, A.A., *Current concepts on anatomy and biomechanics of patellar stability*. Sports Med Arthrosc Rev, 2007. **15**(2): p. 48-56.
6. Amis, A.A., et al., *Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament*. Knee, 2003. **10**(3): p. 215-20.
7. Amis, A.A., et al., *The effect of trochleoplasty on patellar stability and kinematics*. A BIOMECHANICAL STUDY IN VITRO, 2008. **90-B**(7): p. 864-869.
8. Arendt, E., et al., *The management of lateral patellar dislocation: state of the art*. Journal of ISAKOS, 2017. **9**: p. 210.
9. Arendt, E.A., et al., *An analysis of knee anatomic imaging factors associated with primary lateral patellar dislocations*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2017. **25**(10): p. 3099-3107.
10. Askenberger, M., et al., *Occult Intra-articular Knee Injuries in Children With Hemarthrosis*. Am J Sports Med, 2014. **42**(7): p. 1600-6.
11. Askenberger, M., et al., *Morphology and Anatomic Patellar Instability Risk Factors in First-Time Traumatic Lateral Patellar Dislocations: A Prospective Magnetic Resonance Imaging Study in Skeletally Immature Children*. Am J Sports Med, 2017. **45**(1): p. 50-58.
12. Ateschrang, A., et al., *[Patella dislocation: an algorithm for diagnostic and treatment considering the rotation]*. Z Orthop Unfall, 2014. **152**(1): p. 59-67.
13. Atkin, D.M., et al., *Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury*. American Journal of Sports Medicine, 2000. **28**(4): p. 472-479.
14. Balcarek, P., et al., *Magnetic Resonance Imaging Characteristics of the Medial Patellofemoral Ligament Lesion in Acute Lateral Patellar Dislocations Considering Trochlear Dysplasia, Patella Alta, and Tibial Tuberosity-Trochlear Groove Distance*. Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery, 2010. **26**(7): p. 926-935.
15. Balcarek, P., et al., *Untersuchungstechniken/Diagnostik des Patellofemoralgelenkes*. AGA-Komitee-Knie-Patellofemorale, 2015: p. 22-38.
16. Balcarek, P. and K.H. Frosch, *Die Patellaluxation im Kindes-und Jugendalter*. Arthroscopie 2012, 2012: p. 266-274.

17. Balcarek, P., et al., *Anatomy of lateral patellar instability: trochlear dysplasia and tibial tubercle-trochlear groove distance is more pronounced in women who dislocate the patella*. Am J Sports Med, 2010. **38**(11): p. 2320-7.
18. Balcarek, P., et al., *Geometry of Torsional Malalignment Syndrome: Trochlear Dysplasia but Not Torsion Predicts Lateral Patellar Instability*. Orthop J Sports Med, 2019. **7**(3): p. 2325967119829790.
19. Banke, I.J., et al., *Combined trochleoplasty and MPFL reconstruction for treatment of chronic patellofemoral instability: a prospective minimum 2-year follow-up study*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2014. **22**(11): p. 2591-8.
20. Barnett, A.J., et al., *Patellar height measurement in trochlear dysplasia*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2009. **17**(12): p. 1412-5.
21. Baumgartl, F., *Das Kniegelenk; Erkrankungen, Verletzungen und ihre Behandlung mit Hinweisen für die Begutachtung*. 1964, Berlin,: Springer. xvi, 452 p.
22. Beaconsfield, T., et al., *Radiological measurements in patellofemoral disorders. A review*. Clin Orthop Relat Res, 1994(308): p. 18-28.
23. Bereiter, H., *Trochleoplastik*, in *Kniechirurgie in der Praxis*, R.-P. Meyer and A. Gächter, Editors. 2002, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 251-256.
24. Biedert, R.M. and S. Albrecht, *The patellotrochlear index: a new index for assessing patellar height*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2006. **14**(8): p. 707-12.
25. Biedert, R.M. and M. Bachmann, *Anterior–posterior trochlear measurements of normal and dysplastic trochlea by axial magnetic resonance imaging*. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 2009. **17**(10): p. 1225-1230.
26. Biedert, R.M. and P.M. Tscholl, *Patella Alta: A Comprehensive Review of Current Knowledge*. Am J Orthop (Belle Mead NJ), 2017. **46**(6): p. 290-300.
27. Blackburne, J.S. and T.E. Peel, *A new method of measuring patellar height*. J Bone Joint Surg Br, 1977. **59**(2): p. 241-2.
28. Brandon, M.L., et al., *The association between posterior-inferior tibial slope and anterior cruciate ligament insufficiency*. Arthroscopy, 2006. **22**(8): p. 894-9.
29. Brattstroem, H., *Shape of the Intercondylar Groove Normally and in Recurrent Dislocation of Patella. A Clinical and X-Ray-Anatomical Investigation*. Acta Orthop Scand Suppl, 1964. **68**: p. SUPPL 68:1-148.
30. Brazier, J., et al., *[Evaluation of methods for radiographic measurement of the tibial slope. A study of 83 healthy knees]*. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1996. **82**(3): p. 195-200.
31. Carrillon, Y., et al., *Patellar instability: assessment on MR images by measuring the lateral trochlear inclination-initial experience*. Radiology, 2000. **216**(2): p. 582-5.
32. Caton, J., *[Method of measuring the height of the patella]*. Acta Orthop Belg, 1989. **55**(3): p. 385-6.
33. Caton, J., et al., *[Patella infera. Apropos of 128 cases]*. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1982. **68**(5): p. 317-25.
34. Chan, V.O., et al., *Prevalence and clinical significance of chondromalacia isolated to the anterior margin of the lateral femoral condyle as a component of patellofemoral disease: observations at MR imaging*. Skeletal Radiol, 2013. **42**(8): p. 1127-33.

35. Christiansen, S.E., et al., *Reconstruction of the medial patellofemoral ligament with gracilis tendon autograft in transverse patellar drill holes*. Arthroscopy, 2008. **24**(1): p. 82-7.
36. Christoforakis, J., et al., *Effects of lateral retinacular release on the lateral stability of the patella*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2006. **14**(3): p. 273-7.
37. Colvin, A.C. and R.V. West, *Patellar Instability*. JBJS, 2008. **90**(12): p. 2751-2762.
38. Conlan, T., W.P. Garth, Jr., and J.E. Lemons, *Evaluation of the medial soft-tissue restraints of the extensor mechanism of the knee*. J Bone Joint Surg Am, 1993. **75**(5): p. 682-93.
39. Dejour, D., et al., *The introduction of a new MRI index to evaluate sagittal patellofemoral engagement*. Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research, 2013. **99**(8, Supplement): p. S391-S398.
40. Dejour, D. and P. Saggin, *The sulcus deepening trochleoplasty-the Lyon's procedure*. Int Orthop, 2010. **34**(2): p. 311-6.
41. Dejour, H., et al., [*Dysplasia of the femoral trochlea*]. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1990. **76**(1): p. 45-54.
42. Dejour, H., et al., *Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 1994. **2**(1): p. 19-26.
43. Dejour, H., et al., *Factors of patellar instability: An anatomic radiographic study*. Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy, 1994. **2**(1): p. 19-26.
44. Desio, S.M., R.T. Burks, and K.N. Bachus, *Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee*. Am J Sports Med, 1998. **26**(1): p. 59-65.
45. Dines, J.S., et al., *Outcomes of Osteochondral Lesions of the Knee Repaired With a Bioabsorbable Device*. Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery, 2008. **24**(1): p. 62-68.
46. Feller, J.A., et al., *Surgical biomechanics of the patellofemoral joint*. Arthroscopy, 2007. **23**(5): p. 542-53.
47. Fink, C., et al., *Minimally invasive reconstruction of the medial patellofemoral ligament using quadriceps tendon*. Arthrosc Tech, 2014. **3**(3): p. e325-9.
48. Fithian, D.C., et al., *Lateral retinacular release: a survey of the International Patellofemoral Study Group*. Arthroscopy, 2004. **20**(5): p. 463-8.
49. Fithian, D.C., et al., *Epidemiology and natural history of acute patellar dislocation*. Am J Sports Med, 2004. **32**(5): p. 1114-21.
50. Frosch, K.H. and A. Schmeling, *A new classification system of patellar instability and patellar maltracking*. Arch Orthop Trauma Surg, 2016. **136**(4): p. 485-97.
51. Frosch, S., et al., *Characteristics of femorotibial joint geometry in the trochlear dysplastic femur*. J Anat, 2014. **225**(3): p. 367-73.
52. Fucentese, S.F., et al., *The patella morphology in trochlear dysplasia--a comparative MRI study*. Knee, 2006. **13**(2): p. 145-50.
53. Gillespie, D., D. Mandziak, and C. Howie, *Influence of posterior lateral femoral condyle geometry on patellar dislocation*. Arch Orthop Trauma Surg, 2015. **135**(11): p. 1503-9.
54. Goutallier, D., J. Bernageau, and B. Lecudonnet, [*The measurement of the tibial tuberosity. Patella groove distanced technique and results (author's transl)*]. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot, 1978. **64**(5): p. 423-8.

55. Grelsamer, R.P., A.N. Bazos, and C.S. Proctor, *Radiographic analysis of patellar tilt*. J Bone Joint Surg Br, 1993. **75**(5): p. 822-4.
56. Grelsamer, R.P., et al., *Patellar tilt: the physical examination correlates with MR imaging*. Knee, 2008. **15**(1): p. 3-8.
57. Grob, K., et al., *The Anatomy of the Articularis Genus Muscle and Its Relation to the Extensor Apparatus of the Knee*. JB JS Open Access, 2017. **2**(4): p. e0034.
58. Hiemstra, L.A., S.A. Kerslake, and M.R. Lafave, *Influence of Risky Pathoanatomy and Demographic Factors on Clinical Outcomes After Isolated Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction: A Regression Analysis*. Am J Sports Med, 2019: p. 363546519866452.
59. Hinckel, B.B., et al., *Medial patellobtibial ligament and medial patellomeniscal ligament: anatomy, imaging, biomechanics, and clinical review*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2017.
60. Hudek, R., et al., *Novel measurement technique of the tibial slope on conventional MRI*. Clin Orthop Relat Res, 2009. **467**(8): p. 2066-72.
61. Huntington, L.S., et al., *Factors Associated With an Increased Risk of Recurrence After a First-Time Patellar Dislocation: A Systematic Review and Meta-analysis*. Am J Sports Med, 2019: p. 363546519888467.
62. Ihle, C., et al., *No change in patellar height following open wedge high tibial osteotomy using a novel femur-referenced measurement method*. Knee, 2017.
63. Ihle, C., et al., *No change in patellar height following open wedge high tibial osteotomy using a novel femur-referenced measurement method*. Knee, 2017. **24**(5): p. 1118-1128.
64. Ihle, C., et al., *Sporting activity is reduced following medial reefing performed for patellar dislocation : A retrospective case series of 144 patients with a minimum follow-up of 24 months*. BMC Musculoskelet Disord, 2019. **20**(1): p. 34.
65. Insall, J., K.A. Falvo, and D.W. Wise, *Chondromalacia Patellae. A prospective study*. J Bone Joint Surg Am, 1976. **58**(1): p. 1-8.
66. Insall, J. and E. Salvati, *Patella position in the normal knee joint*. Radiology, 1971. **101**(1): p. 101-4.
67. Jagodzinski, M., W. Müller, and N. Friederich, *Rotation*. 2016: p. 59-89.
68. Kaiser, P., et al., *Increased internal femoral torsion can be regarded as a risk factor for patellar instability - A biomechanical study*. Clin Biomech (Bristol, Avon), 2017. **47**: p. 103-109.
69. Kar, M., et al., *Comparative Study on Insall-Salvati Index by Radiological and Clinical Methods in a Tertiary Care Centre of North Bengal, India*. J Clin Diagn Res, 2017. **11**(3): p. AC05-AC07.
70. Karimi, E., et al., *Measurement of Posterior Tibial Slope Using Magnetic Resonance Imaging*. Arch Bone Jt Surg, 2017. **5**(6): p. 435-439.
71. Keser, S., et al., *Is there a relationship between anterior knee pain and femoral trochlear dysplasia? Assessment of lateral trochlear inclination by magnetic resonance imaging*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2008. **16**(10): p. 911-5.
72. Kessler, M.A., et al., *[Development of a 3-dimensional method to determine the tibial slope with multislice-CT]*. Z Orthop Ihre Grenzgeb, 2003. **141**(2): p. 143-7.

73. Kohlitz, T., et al., *Prevalence and patterns of anatomical risk factors in patients after patellar dislocation: a case control study using MRI*. Eur Radiol, 2013. **23**(4): p. 1067-74.
74. Kohn, D. and F. Adam, *Orthopädie und orthopädische Chirurgie: Knie : 67 Tabellen / hrsg. von Dieter Kohn. Mit Beitr. von F. Adam*. 2005: Thieme.
75. Kolowich, P.A., et al., *Lateral release of the patella: indications and contraindications*. Am J Sports Med, 1990. **18**(4): p. 359-65.
76. Koshino, T. and K. Sugimoto, *New measurement of patellar height in the knees of children using the epiphyseal line midpoint*. J Pediatr Orthop, 1989. **9**(2): p. 216-8.
77. Krishna Kumar, M.S., et al., *Medial patellofemoral ligament reconstruction in patellar instability*. Indian Journal of Orthopaedics, 2014. **48**(5): p. 501-505.
78. Kujala, U.M., et al., *Factors predisposing to patellar chondropathy and patellar apicitis in athletes*. Int Orthop, 1986. **10**(3): p. 195-200.
79. Lattermann, C., J. Toth, and B.R. Bach, Jr., *The role of lateral retinacular release in the treatment of patellar instability*. Sports Med Arthrosc Rev, 2007. **15**(2): p. 57-60.
80. Lento, P.H. and V. Akuthota, *Meniscal injuries: A critical review*. Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation, 2000. **15**(2-3): p. 55-62.
81. Lin, Y.F., et al., *Different effects of femoral and tibial rotation on the different measurements of patella tilting: An axial computed tomography study*. J Orthop Surg Res, 2008. **3**: p. 5.
82. Lipps, D.B., et al., *Evaluation of different methods for measuring lateral tibial slope using magnetic resonance imaging*. Am J Sports Med, 2012. **40**(12): p. 2731-6.
83. Lobenhoffer, P., R. van Heerwaarden, and J. Agneskirchner, eds. *Kniegelenksnahe Osteotomien*. 2nd ed. Vol. 296. 2014, Thieme. 160.
84. Maenpaa, H. and M.U. Lehto, *Patellar dislocation. The long-term results of nonoperative management in 100 patients*. Am J Sports Med, 1997. **25**(2): p. 213-7.
85. Matsuda, S., et al., *Posterior tibial slope in the normal and varus knee*. Am J Knee Surg, 1999. **12**(3): p. 165-8.
86. Miller, T.T., R.B. Staron, and F. Feldman, *Patellar height on sagittal MR imaging of the knee*. AJR Am J Roentgenol, 1996. **167**(2): p. 339-41.
87. Mochizuki, T., et al., *Anatomic study of the attachment of the medial patellofemoral ligament and its characteristic relationships to the vastus intermedius*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2013. **21**(2): p. 305-10.
88. Narkbunnam, R. and K. Chareancholvanich, *Effect of patient position on measurement of patellar height ratio*. Arch Orthop Trauma Surg, 2015. **135**(8): p. 1151-6.
89. Nietosvaara, Y., K. Aalto, and P.E. Kallio, *Acute patellar dislocation in children: incidence and associated osteochondral fractures*. J Pediatr Orthop, 1994. **14**(4): p. 513-5.
90. Nikku, R., et al., *The mechanism of primary patellar dislocation: trauma history of 126 patients*. Acta Orthop, 2009. **80**(4): p. 432-4.
91. Pandit, S., et al., *Magnetic resonance imaging assessment of tibial tuberosity-trochlear groove distance: normal values for males and females*. Int Orthop, 2011. **35**(12): p. 1799-803.

92. Panni, A.S., et al., *Patellar shape can be a predisposing factor in patellar instability*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2011. **19**(4): p. 663-70.
93. Park, M.S., et al., *Which is the best method to determine the patellar height in children and adolescents?* Clin Orthop Relat Res, 2010. **468**(5): p. 1344-51.
94. Paulos, L., et al., *Surgical correction of limb malalignment for instability of the patella: a comparison of 2 techniques*. The American journal of sports medicine, 2009. **37**(7): p. 1288-300.
95. Portner, O. and H. Pakzad, *The evaluation of patellar height: a simple method*. J Bone Joint Surg Am, 2011. **93**(1): p. 73-80.
96. Ristic, V., et al., *The relationship between posterior tibial slope and anterior cruciate ligament injury*. Med Pregl, 2014. **67**(7-8): p. 216-21.
97. Ruchholtz, S. and D.C. Wirtz, 9.2.6 *Patellofemorale Instabilität*, in *Orthopädie und Unfallchirurgie essentials*, S. Ruchholtz and D.C. Wirtz, Editors. 2013, Georg Thieme Verlag: Stuttgart.
98. Salzmann, G.M., et al., *Comparison of native axial radiographs with axial MR imaging for determination of the trochlear morphology in patients with trochlear dysplasia*. Arch Orthop Trauma Surg, 2010. **130**(3): p. 335-40.
99. Schmeling, A. *Aktuelle Aspekte der patellofemorale Instabilität*. 2010; Available from: https://www.dgou.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Publikationen/SFA/SFA_Aktuell_Nr23.pdf.
100. Schoettle, P.B., et al., *The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning*. Knee, 2006. **13**(1): p. 26-31.
101. Schottle, P.B., D. Hensler, and A.B. Imhoff, *Anatomical double-bundle MPFL reconstruction with an aperture fixation*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2010. **18**(2): p. 147-51.
102. Schottle, P.B., et al., *Technical note: anatomical reconstruction of the medial patellofemoral ligament using a free gracilis autograft*. Arch Orthop Trauma Surg, 2008. **128**(5): p. 479-84.
103. Schöttle, P.B., A. Weiler, and J. Romero, *Rekonstruktion des Lig. patellofemorale mediale bei patellofemorale Instabilität*. Arthroscopie, 2005. **18**(4): p. 293-300.
104. Schünke, M., et al., *Prometheus Lernatlas der Anatomie: Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. 2nd ed. 2007, Stuttgart: Thieme.
105. Shabshin, N., et al., *MRI criteria for patella alta and baja*. Skeletal Radiol, 2004. **33**(8): p. 445-50.
106. Shelburne, K.B., et al., *Effect of posterior tibial slope on knee biomechanics during functional activity*. J Orthop Res, 2011. **29**(2): p. 223-31.
107. Smith, T.O., et al., *Operative versus non-operative management of patellar dislocation. A meta-analysis*. Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy, 2011. **19**(6): p. 988-998.
108. Steensen, R.N., et al., *The prevalence and combined prevalences of anatomic factors associated with recurrent patellar dislocation: a magnetic resonance imaging study*. Am J Sports Med, 2015. **43**(4): p. 921-7.
109. T., M., *Röntgennormalbefunde*. Thieme, 2019.
110. Tscholl, P.M., et al., *Patellar tendinopathy with intratendinous alteration on MRI may be related to patellofemoral dysplasia*. Scand J Med Sci Sports, 2018. **28**(4): p. 1443-1450.

111. Utzschneider, S., et al., *Development and validation of a new method for the radiologic measurement of the tibial slope*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2011. **19**(10): p. 1643-8.
112. van Raaij, T.M. and J. de Waal Malefijt, *Anterior opening wedge osteotomy of the proximal tibia for anterior knee pain in idiopathic hyperextension knees*. Int Orthop, 2006. **30**(4): p. 248-52.
113. Vasso, M., et al., *Anatomic Double-Bundle Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction with Autologous Semitendinosus: Aperture Fixation Both at the Femur and the Patella*. Joints, 2017. **5**(4): p. 256-260.
114. Verdonk, P., F. Bonte, and R. Verdonk, *[Lateral retinacular release]*. Orthopade, 2008. **37**(9): p. 884-9.
115. Vergara-Amador, E., D. Davalos Herrera, and O.A. Guevara, *Normal values of 3 methods to determine patellar height in children from 6 to 12 years*. Rev Esp Cir Ortop Traumatol, 2018. **62**(6): p. 442-447.
116. Verhulst, F.V., et al., *Patellar height measurements: Insall-Salvati ratio is most reliable method*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2019.
117. Walsh, S.J., M.J. Boyle, and V. Morganti, *Large osteochondral fractures of the lateral femoral condyle in the adolescent: outcome of bioabsorbable pin fixation*. J Bone Joint Surg Am, 2008. **90**(7): p. 1473-8.
118. Wang, C.H., et al., *Double-bundle anatomical versus single-bundle isometric medial patellofemoral ligament reconstruction for patellar dislocation*. Int Orthop, 2013. **37**(4): p. 617-24.
119. Warren, L.A., J.L. Marshall, and F. Girgis, *The prime static stabilizer of the medical side of the knee*. J Bone Joint Surg Am, 1974. **56**(4): p. 665-74.
120. Wiberg, G., *Roentgenographic and anatomic studies on the femoropatellar joint, with special reference to chondromalacia patellae*. Acta Orthop Scand 1941, 1941.
121. Yamamoto, R.K., *Arthroscopic repair of the medial retinaculum and capsule in acute patellar dislocations*. Arthroscopy, 1986. **2**(2): p. 125-31.
122. Yang, Y. and Q. Zhang, *Reconstruction of the medial patellofemoral ligament and reinforcement of the medial patellotibial ligament is an effective treatment for patellofemoral instability with patella alta*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2019. **27**(8): p. 2599-2607.
123. Yilmaz, B., et al., *Evaluation of patella alta using MRI measurements in adolescents*. Indian J Radiol Imaging, 2017. **27**(2): p. 181-186.
124. Zaffagnini, S., *Patellofemoral Pain, Instability, and Arthritis*. Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
125. Zaffagnini, S., et al., *The patellofemoral joint: from dysplasia to dislocation*. EFORT Open Rev, 2017. **2**(5): p. 204-214.

7 Anhang

7.1 Information zur Studie

Information zur Studie

Re-Luxationsrate und Sportfähigkeit nach Behandlung einer Patellaluxation an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen

Sehr geehrte(r) Patient(in),

Sie haben bereits für die oben genannte Studie zu einer telefonischen Befragung eingewilligt und auch teilgenommen. Durch Ihre Hilfe konnten wir wertvolle Daten und Erkenntnisse über das Thema „Patellaluxation“ gewinnen. Aufgrund dieser Erkenntnisse planen wir alle vorhandenen Röntgenbilder, MRT und CT Bilder auszuwerten.

Um eine wissenschaftliche Auswertung zu ermöglichen, benötigen wir das Bildmaterial in digitaler Form. Wir würden Sie daher um Ihre Zustimmung bitten, dass wir nicht vorhandenes Bildmaterial bei Ihrem Radiologen oder Orthopäden/ Unfallchirurgen anfordern dürfen.

Das gesamte Bildmaterial wird in unserer Klinik zu Ihren bereits vorhandenen Unterlagen ergänzt und gespeichert. Für die Auswertung erfolgt die Speicherung in pseudonymisierter Form. Das bedeutet, dass die gespeicherten Daten einer ID Nummer zugeordnet sind und Ihre Patientendaten nicht in elektronischer Form gespeichert werden.

Wir bitten Sie daher die beigelegte Entbindung der ärztlichen Schweigepflicht in Bezug auf diese Studie und ausschließlich für die BG Unfallklinik Tübingen zu unterschreiben und im beigelegten und bereits frankierten Rückumschlag an uns zu senden.

Für Ihre weitere Unterstützung möchten wir uns schon jetzt bedanken.

Prof. Dr. med. U. Stöckle

PD. Dr. med. S. Schröter

Dr. med. C. Ihle

7.2 Anschreiben Radiologie

Sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,

Im Rahmen einer MRT-Studie an der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen benötigen wir die Knie-MRT-Bilder von Patienten, welche bei Ihnen in der Praxis angefertigt wurden beziehungsweise welche sich bei Ihnen in Behandlung befanden.

Die Patienten haben zugestimmt, an der Studie teilzunehmen. Eine Entbindung der Schweigepflicht liegt uns vor.

Nachfolgend finden Sie eine Studienbeschreibung und eine Patientenliste, deren Bilder wir benötigen.

Bitte senden Sie das Bildmaterial an:

PD. Dr. med. S. Schröter

z.Hd. Claudia Hermann

BG Klinik Tübingen

Schnarrenbergstr. 95

72076 Tübingen

Für Ihre Mitarbeit und Unterstützung möchten wir uns schon jetzt bedanken.

Prof. Dr. med. U. Stöckle

PD. Dr. med. S. Schröter

Dr. med. C. Ihle

Bitte senden Sie uns die Knie-MRT-Bilder von folgenden Patienten zu:

—

Nachname/Vorname

Geburtsdatum

—

Nachname/Vorname

Geburtsdatum

—

Nachname/Vorname

Geburtsdatum

—

Nachname/Vorname

Geburtsdatum

—

Nachname/Vorname

Geburtsdatum

—

Nachname/Vorname

Geburtsdatum

7.3 Entbindung der Schweigepflicht

Erklärung über die Entbindung von der ärztlichen Schweigepflicht

Hiermit entbinde ich,

(Name, Geburtsdatum, Anschrift)

alle Ärzte, Angehörige anderer Heilberufe, Gutachter sowie Angehörige von Krankenhäusern, die mich behandelt oder beraten haben, von ihrer Schweigepflicht.

Hiermit erkläre ich mich ausdrücklich einverstanden, dass alle

- ärztlichen Dokumentationen, Untersuchungsbefunde, Bildmaterialien oder Gutachten,
- Arzt- oder Krankenhausberichten, über meine abgeschlossene oder noch andauernde Behandlung und den Befund,

an

herausgegeben und im Rahmen einer retrospektiven Studie verwertet werden dürfen.

Mir ist bekannt, dass ich diese Erklärung über die Entbindung von der Schweigepflicht jederzeit mit Wirkung für die Zukunft widerrufen kann.

Datum, Unterschrift

8 Erklärung zum Eigenanteil der Dissertationsschrift

Die Arbeit wurde in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen unter Betreuung von Prof. Dr. Steffen Schröter durchgeführt. Die Patienten/MRT-Bilder wurden mit Unterstützung von Dr. Ihle und Prof. Dr. Schröter ausgewählt. Nach Prüfung und Genehmigung durch die Ethikkommission habe ich eigenständig die gesamten Daten erhoben. Die Eingabe der Daten in die Datenerfassungssoftware erfolgte alleine und selbständig durch mich. Nach Abschluss der Datenerhebung habe ich diese zunächst eigenständig ausgewertet. Die statistische Auswertung erfolgte unter Betreuung respektive Beratung vom Institut für Biometrie sowie Prof. Boyko Gueorguiev-Rüegg.

Ich versichere, das Manuskript selbständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den

Tobias Eisenmann

9 Danksagung

Sehr herzlich möchte ich mich bei allen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit begleitet haben.

Mein besonderer Dank gilt zunächst Prof. Dr. med. Steffen Schröter für die Möglichkeit diese Promotionsarbeit durchführen zu können sowie die gute Betreuung und Korrektur der Arbeit.

Des Weiteren möchte ich mich bei Prof. Dr. Boyko Gueorguiev-Rüegg für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Daten bedanken.

Abschließend gilt mein besonderer Dank Oliver Kollmer sowie meiner ganzen Familie für die tolle Unterstützung und Begleitung in dieser Zeit.