

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Ursachenanalyse von patellofemoraler Instabilität und  
patellofemorale Schmerzen nach operativen Eingriffen zur  
Therapie der patellofemorale Instabilität

Root cause analysis of patellofemoral instability and  
patellofemoral pain after surgical interventions for the  
treatment of patellofemoral instability

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Rebecca Sänger

aus Eisenhüttenstadt

Datum der Promotion: 26.06.2022

## **Vorwort**

Die Ergebnisse der Arbeit wurden vorab als Sci-graphic beim 9. Jahreskongress der Deutschen Kniegesellschaft 2020 präsentiert:

*Sänger, R., Schöttle, P. Reasons for failed surgery in patients with recurrent patellofemoral instability [Sci-graphic]. 9. Jahreskongress Deutsche Kniegesellschaft, 2020 Nov 24-26, online.*

Bei einem Sci-graphic handelt es sich in diesem Kontext um eine kurze und prägnante graphisch gestützte Ergebnisdarstellung wissenschaftlicher Arbeiten. Dargestellt wurden Ziel, Methodik und Ergebnisse der vorliegenden Dissertation.

Es wurde mit dem dritten Platz des Cod.on Award prämiert. Ein hierfür eingereichtes Abstract wird durch die Deutsche Kniegesellschaft 2021 publiziert werden:

*Sänger, R., Schöttle, P. Reasons for failed Surgery in patients with recurrent patellofemoral instability [Abstract]. Orthop J Sports Med. Forthcoming 2021.*

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für alle Geschlechter.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>6</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>8</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>10</b>
<b>Abstrakt (deutsch).....</b>	<b>12</b>
<b>Abstract (english) .....</b>	<b>14</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>16</b>
<b>1.1 Anatomische und biomechanische Voraussetzungen der patellofemorale Stabilität.....</b>	<b>17</b>
1.1.1 Die statischen Stabilisatoren.....	17
1.1.2 Die passiven Stabilisatoren.....	20
1.1.3 Die aktiven Stabilisatoren .....	21
1.1.4 Einfluss der Stabilisatoren auf das Patella(mal)tracking .....	21
<b>1.2 Behandlungsstrategien einer chronischen patellofemorale Instabilität...24</b>	<b>24</b>
1.2.1 Anamnese.....	24
1.2.2 Klinische Diagnostik.....	25
1.2.3 Radiologische Diagnostik.....	27
1.2.4 Standardisierter Therapiealgorithmus .....	30
1.2.5 Operative Stabilisierungsverfahren .....	33
<b>2 Fragestellung und Hypothesen der Arbeit .....</b>	<b>41</b>
<b>3 Material und Methoden.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1 Patientenkollektiv .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2 Anamneseerhebung und Erhebung der Basisdaten .....</b>	<b>43</b>
3.2.1 Demographische Daten .....	43
3.2.2 Anamnese.....	43
3.2.3 Vorangegangene operative Eingriffe.....	43
<b>3.3 Klinische präoperative Diagnostik vor Revisionsoperation .....</b>	<b>44</b>

3.3.1	Erguss.....	44
3.3.2	Klinische Inspektion .....	45
3.3.3	Bewegungsumfang .....	46
3.3.4	Patella-Apprehension- und Mediolateraler Patellaverschiebetest.....	46
3.3.5	Patellakompressionstest.....	48
<b>3.4</b>	<b>Radiologische präoperative Diagnostik .....</b>	<b>49</b>
3.4.1	Patellahöhe .....	49
3.4.2	Trochleadysplasie .....	50
3.4.3	TTTG-Abstand/TTTG-Index.....	51
3.4.4	Patella-Tilt.....	53
3.4.5	Patella-Shift .....	54
3.4.6	Beurteilung der Fixation nach MPFL-Rekonstruktion.....	54
<b>3.5</b>	<b>Intraoperative Befunderhebung .....</b>	<b>56</b>
3.5.1	Narkoseuntersuchung.....	56
3.5.2	Knorpelstatus .....	57
<b>3.6</b>	<b>Ursachenanalyse .....</b>	<b>57</b>
3.6.1	Konzept der Ursachenanalyse .....	57
3.6.2	Entscheidungspfad zur Ursachenanalyse .....	58
<b>3.7</b>	<b>Statistische Auswertung.....</b>	<b>61</b>
3.7.1	Deskriptive Statistik.....	61
3.7.2	Induktive Statistik.....	61
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>62</b>
<b>4.1</b>	<b>Patientenkollektiv .....</b>	<b>62</b>
4.1.2	Vorangegangene operative Eingriffe.....	65
<b>4.2</b>	<b>Klinische präoperative Diagnostik vor Revisionsoperation .....</b>	<b>71</b>
4.2.1	Ergussbildung .....	71
4.2.2	Klinische Inspektion .....	72

4.2.3	Bewegungsumfang .....	72
4.2.4	Patella-Apprehension- und Mediolateraler Patellaverschiebetest.....	72
4.2.5	Patellakompressions-Test.....	74
<b>4.3</b>	<b>Radiologische präoperative Diagnostik .....</b>	<b>75</b>
4.3.1	Patellahöhe .....	75
4.3.2	Trochleadysplasie .....	76
4.3.3	TTTG-Abstand/TTTG-Index.....	78
4.3.4	Patella-Tilt.....	80
4.3.5	Patella-Shift .....	80
4.3.6	Beurteilung der Fixation nach MPFL-Rekonstruktion.....	82
<b>4.4</b>	<b>Intraoperative Befunderhebung .....</b>	<b>83</b>
4.4.1	Narkoseuntersuchung.....	83
4.4.2	Knorpelstatus .....	85
<b>4.5</b>	<b>Ursachenanalyse .....</b>	<b>86</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>91</b>
5.1	Fehlerhafte Indikationsstellung für ein chirurgisches Verfahren.....	92
5.2	Unzureichende Berücksichtigung von Begleitpathologien .....	96
5.3	Technische Fehler in der Umsetzung eines operativen Verfahrens .....	102
5.4	Implantatversagen.....	104
5.5	Unzureichende präoperative radiologische Diagnostik .....	105
5.6	Wachstumsbedingtes Neuauftreten von Begleitpathologien .....	108
5.7	Adäquates Trauma .....	110
5.8	Stärken und Limitationen der Studie .....	110
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>112</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>113</b>
<b>8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>132</b>
8.1	Eidesstattliche Versicherung .....	132

<b>8.2 Anteilserklärung .....</b>	<b>134</b>
<b>8.3 Lebenslauf.....</b>	<b>135</b>
<b>8.4 Publikationsliste .....</b>	<b>137</b>
<b>8.5 Danksagung .....</b>	<b>138</b>
<b>8.6 Bescheinigung Statistik .....</b>	<b>139</b>

## Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AGA	Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie
ca.	Circa
CDI	Caton-Dechamp-Index
CT	Computertomographie
dFC	Dorsale Femurkondylen
DKG	Deutsche Kniegesellschaft
GBSA	Ganzbeinstandaufnahmen
i.S.	Im Sinne
LDFW	Lateraler distaler Femurwinkel
M.	Musculus
mod.	Modifiziert
MPFL	Mediales patellofemorales Ligament
MPTW	Medialer proximaler Tibiawinkel
MR	Magnetresonanz
MRT	Magnetresonanztomographie
o.g.	Oben genannt
OP	Operation
p.a.	Posterior-anterior
pl	Proximolateral
PF	Patellofemoral
PFI	Patellofemorale Instabilität
PFS	Patellofemorale Schmerzen
PIS-Score	Patellar Instability Severity-Score
Q-Winkel	Quadrizepswinkel
s.	Siehe
sMCL	Oberflächliches Ligamentum collaterale mediale
sonst.	Sonstige
Std.	Standard
s.u.	Siehe unten
syn.	Synonym

TG	Trochlea Groove/Sulcus trochlearis
TT	Tuberositas tibiae
TTTE	Tuberositas-Tibiae-Tuberositas-Entrance
TTTG	Tuberositas-Tibiae-Trochlea-Groove
VMO	Musculus vastus medialis obliquus
Z.n.	Zustand nach



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Die lokalen statischen Stabilisatoren.....	17
Abb. 2: Q-Winkel .....	19
Abb. 3: TTTG-Abstand ( <i>TT=Tuberositas tibiae, TG=Sulcus trochlearis, dFC=dorsale Femurkondylen</i> ).....	20
Abb. 4: Einfluss statischer, passiver und aktiver Stabilisatoren in Abhängigkeit der Knieflexion, Aus: (1).....	22
Abb. 5: Patellar Instability Severity (PIS) Score (68) .....	25
Abb. 6: Narbenverlauf nach multiplen patellastabilisierenden Operationen.....	26
Abb. 7: Röntgenbild p.a. Kniegelenk links mit Anzeichen einer vermehrten femoralen Innenrotation .....	27
Abb. 8: Kniegelenk seitlich mit Zeichen einer Trochleadysplasie Typ D <b>a</b> Schema <b>b</b> Röntgenbild.....	28
Abb. 9: Röntgen Ganzbeinaufnahme bei Genu valgum.....	29
Abb. 10: Therapiealgorithmus der lateralen Patella-Erstluxation des AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral (2) .....	31
Abb. 11: Therapiealgorithmus der Patella-Rezidivluxation des AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral (2).....	32
Abb. 12: MPFL-Rekonstruktion mittels Gracilissehnentransplantat .....	34
Abb. 13: Laterale Retinakulumverlängerung intraoperativ .....	36
Abb. 14: Trochleoplastik intraoperativ .....	37
Abb. 15: Tuberositastransfer .....	37
Abb. 16: <b>a</b> Operation nach Goldthwait-Roux, Nach: Abb 3a, (146) <b>b</b> Operation nach Blauth .....	39
Abb. 17: Ganzbeinaufnahme bei <b>a</b> Valgusfehlstellung <b>b</b> Simulation der femoralen Korrekturosteotomie <b>c</b> postoperativ nach derotierender varisierender femoraler Umstellungsosteotomie .....	40
Abb. 18: Untersuchung eines Gelenkergusses.....	45
Abb. 19: Schielende Patella, Nach: Abb. 3.2.1a (77).....	46
Abb. 20: Untersuchung auf laterale Instabilität in Extension.....	47
Abb. 21: Untersuchung auf Instabilität in 30° Flexion .....	47
Abb. 22: Untersuchung auf Instabilität in <b>a</b> 60° Flexion <b>b</b> 90° Flexion .....	48

Abb. 23: Patellakompressionstest .....	49
Abb. 24: Caton-Dechamp-Index (59) a Schematische Darstellung b Messung MRT saggital .....	50
Abb. 25: Klassifikation der Trochleadysplasie nach D. Dejour (62) .....	50
Abb. 26: TTTG-Messung anhand axialem MRT .....	52
Abb. 27: Schematische Darstellung TTTG-Abstand und TTTE-Abstand zur Ermittlung des TTTG-Index .....	52
Abb. 28: Patella Tilt a Schematische Darstellung b Messung Winkel modifiziert nach Fulkerson et al. (158).....	53
Abb. 29: Patella-Shift a Schematische Darstellung b Messung Lateralisierung nach Pfirrmann et al. (87).....	54
Abb. 30: Anatomische femorale Insertion .....	56
Abb. 31: Anatomische patelläre Insertion .....	56
Abb. 32: Outerbridge Klassifikation zur Einteilung von Knorpelschäden (165).....	57
Abb. 33: Entscheidungspfad zur Ursachenzuschreibung .....	58
Abb. 34: Geschlechterverteilung des Patientenkollektivs .....	62
Abb. 35: Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Primäroperation nach Altersgruppen .....	63
Abb. 36: Alter der Patienten zum Zeitpunkt der letztmaligen Revisionsoperation nach Altersgruppen .....	64
Abb. 37: Geschlechtsabhängige Altersverteilung des Patientenkollektivs .....	65
Abb. 38: Absolute Häufigkeiten der angewandten Operationsmethoden .....	66
Abb. 39: Verteilung absoluter Häufigkeiten der MPFL-Eingriffe.....	67
Abb. 40: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden der Patienten mit einer Voroperation.....	68
Abb. 41: Operationsmethoden altersgruppiert von Patienten mit einem Revisionseingriff.....	69
Abb. 42: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden der Patienten mit zwei Voroperationen.....	70
Abb. 43: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden der Patienten mit drei Voroperationen.....	71
Abb. 44: Häufigkeiten einer Patellainstabilität nach Flexionsgraden .....	73
Abb. 45: Richtung der Patellainstabilitäten präoperativ .....	73
Abb. 46: Ergebnisse des Patellakompressions-Tests.....	74

Abb. 47: Ergebnisse Bestimmung des Caton-Dechamp-Index.....	75
Abb. 48: Ergebnisse Bestimmung des Ausmaßes einer Trochleadysplasie (modifizierte Klassifikation nach Dejour) .....	76
Abb. 49: Ergebnisse Bestimmung des TTTG-Abstands .....	78
Abb. 50: Ergebnisse Bestimmung des TTTG-Index .....	79
Abb. 51: Verteilung der Werte des TTTG-Abstands und des TTTG-Index .....	79
Abb. 52: Darstellung der Korrelation zwischen TTTG-Abstand und TTTG-Index .....	80
Abb. 53: Ergebnisse der Bestimmung der Patellalateralisierung .....	81
Abb. 54: Ergebnisse Bestimmung der anatomischen Lage des MPFL-Ansatzes patellär und femoral .....	82
Abb. 55: Ergebnisse der intraoperativen Bestimmung der Richtung der Instabilität .....	84
Abb. 56: Ergebnisse des intraoperativ erhobenen Knorpelstatus retropatellär .....	85
Abb. 57: Ergebnisse des intraoperativ erhobenen Knorpelstatus trochleär .....	86
Abb. 58: Ergebnisse Anzahl der Versagensursachen pro Patient .....	87
Abb. 59: Verteilung der Versagensursachen im gesamten Patientenkollektiv .....	88
Abb. 60: Z.n. MPFL-Rekonstruktion bei angeborenem hyperplastischen medialen Femurkondylus .....	101
Abb. 61: Vergleich Röntgen- und MRT-Diagnostik axial Aus: (132) .....	106

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden gesamt .....	65
Tab. 2: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden bei einer Voroperation .....	68
Tab. 3: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden der Patienten mit zwei Voroperationen.....	70
Tab. 4: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden der Patienten mit drei Voroperationen.....	71
Tab. 5: Ergebnisse Bestimmung des Ausmaßes einer Trochleadysplasie (modifizierte Klassifikation nach Dejour) im gesamten Patientenkollektiv .....	77

Tab. 6: Ergebnisse Trochleadysplasie bei Patienten mit präoperativ bestehender Patellainstabilität zwischen 0°-60° oder 0°-90° .....	77
Tab. 7: Ergebnisse Trochleadysplasie bei Patienten mit intraoperativ bestehender Patellainstabilität zwischen 0°-60° oder 0°-90° .....	77
Tab. 8: Korrelation der radiologisch gemessenen Patellamedialisierung mit der Richtung der intraoperativ klinisch erhobenen Patellainstabilität.....	81
Tab. 9: Bestimmung der Instabilität nach Bewegungsumfang im Vergleich präoperativ-intraoperativ .....	83
Tab. 10: Bestimmung der Richtung der Instabilität im Vergleich präoperativ – intraoperativ .....	84
Tab. 11: Verteilung der mangelhaften Indikationsstellung für ein chirurgisches Verfahren nach Operationsverfahren .....	88
Tab. 12: Unzureichend berücksichtigte Begleitpathologien .....	89
Tab. 13: Technischer Fehler in der Umsetzung eines operativen Eingriffs.....	89
Tab. 14: Unzureichende präoperative radiologische Diagnostik.....	89
Tab. 15: Implantatversagen .....	90

## **Abstrakt (deutsch)**

**Fragestellung:** Rezidivinstabilitäten und patellofemorale Schmerzen (PFS) nach patellastabilisierenden Operationen zeigen ungeachtet der durch die Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie (AGA) validierten und breit publizierten Leitfäden zur Diagnostik und Therapie der patellofemorale Instabilität (PFI) im klinischen Alltag eine zunehmende Relevanz. Bisher publizierte Studien konzentrierten sich in ihren Versagensanalysen auf das Scheitern im Umgang mit einzelnen Stabilisierungstechniken. Eine allumfassende Untersuchung mit Blick auf das gesamte Patientenkollektiv mit notwendigen Revisionsoperationen blieb bisher aus.

Die vorliegende Arbeit ist eine systematische Ursachenanalyse für eine PFI oder PFS mit der Notwendigkeit eines Revisionseingriffs anhand einer klinisch repräsentativen Patientenkohorte.

**Material und Methodik:** Die vorliegende retrospektive Studie untersuchte 32 Patienten (Frauen=23, Männer=9), die in unserem Zentrum infolge einer PFI oder PFS nach einem oder mehrfachen patellastabilisierenden Eingriffen erneut einer Revisionsoperation unterzogen worden waren. Beruhend auf den Guidelines der AGA wurden anhand prä- und intraoperativ gewonnener klinischer, anamnestischer und MRT-Daten patienten- und behandler-spezifische Fehlerquellen systematisch identifiziert und die Versagensgründe nach einem von uns konzipierten Algorithmus bestimmt und kategorisiert.

**Ergebnisse:** Im Mittel wurden pro Patient 2,3 Versagensursachen erfasst (Minimum 1, Maximum 6). 25 Patienten erfüllten in 33 Fällen (45,2%) eine fehlerhafte Indikationsstellung für ein operatives Verfahren, vornehmlich die Durchführung einer Medialen Raffung (n=19) oder des Lateral Release (n=10). 22mal (30,2%) stellten wir eine unberücksichtigte Begleitpathologie, vorzugsweise eine klinisch relevante Trochleadysplasie (n=20) fest. Technische Fehler in der Umsetzung eines operativen Verfahrens (16,4%, n=12) basierten in erster Linie auf einer femoralen oder patellären MPFL-Fehlplatzierung (n=10) oder einer Überkorrektur der Tuberositas tibiae (n=2). Eine unzureichende radiologische Diagnostik oder ein Implantatversagen ermittelten wir gleichermaßen bei je 4,1% (n=3). Ein wachstumsbedingtes Neuauftreten von Begleitpathologien oder ein adäquates Trauma wurde bei keinem Patienten beobachtet.

Der initial durch uns festgelegten Kategorisierung von Versagensursachen folgend stellte sich die mangelhafte Indikationsstellung als Hauptursache dar, in der hierfür erfolgten Analyse von Fehlerquellen primär die unzureichend adressierte Trochleadysplasie.

**Schlussfolgerung:** Das Versagen patellastabilisierender Operationen scheint in erster Linie auf einer unzureichenden Indikationsstellung und der mangelhaften Adressierung von Begleitpathologien, wie der Trochleadysplasie, zu beruhen. Die überwiegende Zahl an Revisionsoperationen erscheint somit durch den Primärbehandler provoziert und ließe sich womöglich durch die Beachtung bestehender Guidelines in Diagnostik und Therapie der PFI vermeiden.

## Abstract (english)

**Purpose:** Recurrent instability and patellofemoral pain (PFS) after patellar-stabilizing surgery are showing increasing relevance in everyday clinical practice, regardless of the widely published guidelines for the diagnosis and treatment of patellofemoral instability (PFI) validated by the Society for Arthroscopy and Joint Surgery (AGA). Studies published so far have concentrated in their analyzes on the failure in dealing with individual stabilization techniques. An all-encompassing investigation with a view to the entire patient collective with necessary revision procedures has not yet been carried out. The present work is a systematic root cause analysis for a PFI or PFS with the need for revision surgery based on a clinically representative patient cohort.

**Methods:** The present retrospective study examined 32 patients (women=23, men=9) who had undergone revision surgery in our center because of a PFI or PFS after one or more patella-stabilizing interventions. Based on the guidelines of the AGA, patient and practitioner-specific sources of error were systematically identified on the basis of preoperative and intraoperative clinical, anamnestic and MRI data and the reasons for failure were determined and categorized according to an algorithm we developed.

**Results:** On average, 2.3 causes of failure were recorded per patient (minimum 1, maximum 6). 25 patients fulfilled in 33 cases (45.2%) an incorrect indication for a surgical procedure, primarily the implementation of a medial reefing (n=19) or the lateral release (n=10). 22 times (30.2%) we found an unconsidered concomitant pathology, preferably a clinically relevant trochlea dysplasia (n=20). Technical errors in the implementation of a surgical procedure (16.4%, n= 2) were primarily based on a femoral or patellar MPFL misplacement (n=10) or an overcorrection of the tibial tuberosity (n=2). We also found inadequate radiological diagnostics or implant failure in 4.1% each (n=3). No growth-related recurrence of accompanying pathologies or adequate trauma was observed in any patient. Following the categorization of the causes of failure initially determined by us, the inadequate indication was the main cause, in the analysis of sources of error that was carried out for this it was primarily the insufficiently addressed trochlear dysplasia.

**Conclusion:** The failure of patella-stabilizing procedures seems to be primarily due to an inadequate indication and the inadequate addressing of concomitant pathologies such as trochlea dysplasia. The majority of revision operations thus appear to be provoked by the primary practitioner and could possibly be avoided by observing existing guidelines in the diagnosis and treatment of PFI.



# 1 Einleitung

Die patellofemorale Instabilität (PFI) beschreibt das abnormale seitliche Bewegungsausmaß der Patella in ihrer femoralen Gleitrinne in der Flexions-/Extensionsbewegung (3). Diese sehr abstrakte Beschreibung des fast immer angeborenen und daher früh auftretenden Krankheitsbildes spiegelt seine Komplexität in Diagnostik und Therapie wider. Die intensive Forschungsarbeit der letzten zwei Dekaden verbesserte das Verständnis für seine multifaktorielle Genese und schuf einen dezidierten Behandlungsalgorithmus (2).

Darin gilt die Rekonstruktion des medialen patellofemoralen Ligaments (MPFL) als Goldstandard in der Therapie der PFI (4, 5). Studien konnten nach stattgehabter Patellaluxation in nahezu 90% ein rupturiertes oder insuffizientes MPFL nachweisen (6), sodass die MPFL-Rekonstruktion bei einer PFI zunächst eine logische Konsequenz darstellt. Das MPFL selbst agiert als primärer Stabilisator in extensionsnaher Kniegelenksstellung (7-9). Für eine ausreichende Stabilität über den gesamten Bewegungsumfang sind hingegen neben den passiven auch statische und aktive Stabilisatoren notwendig und in der Therapie zu berücksichtigen (1), sodass der dogmatische Gebrauch nur eines operativen Verfahrens nicht in jedem Fall ausreichend ist (10, 11). Die bekannten Therapieoptionen reichen von reinen Weichteileingriffen bis hin zu knöchernen Korrekturen (12-18).

Das Komitee Knie-Patellofemorale der deutschsprachigen Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie (AGA) veröffentlichte von 2015 bis 2017 einen dezidierten Algorithmus sowohl für die Diagnostik als auch für die Therapie der PFI (2). Trotzdem werden wir in der klinischen Praxis nach wie vor mit einer hohen Fallzahl rezidivierender Instabilitäten und patellofemoraler Schmerzen (PFS) nach operativer Stabilisierung der Patella konfrontiert, die eine Revision häufig unumgänglich machen.

Bisher ist die Literaturlage zur Recherche von Gründen für eine PFI oder PFS nach patellastabilisierenden Operationen nur auf einzelne Eingriffe oder auf postoperative Komplikationen im Allgemeinen beschränkt (19, 20), die vor allem Komplikationen nach Rekonstruktion des MPFL in den Vordergrund stellen (21-28).

Erstmalig veröffentlichten Sanchis-Alfonso et al. 2017 eine deskriptive Analyse von Gründen für eine PFI und PFS nach MPFL-Rekonstruktion und unterteilten die Gründe abschließend unter didaktischen Gesichtspunkten in Kategorien (25). In Anlehnung an

diese Arbeit ist es Gegenstand der vorliegenden Arbeit, die ursächlichen Gründe für eine erneute PFI oder PFS nach jeglicher Art von patellastabilisierenden Operationen systematisch zu untersuchen.

## 1.1 Anatomische und biomechanische Voraussetzungen der patellofemorale Stabilität

Das geordnete Zusammenspiel von anatomischen Elementen, die im Wesentlichen einer Patellalateralisierung entgegenwirken, garantiert dem Patellofemoralgelenk eine suffiziente Stabilität über den gesamten Bewegungsumfang des Kniegelenks (10). Neben den statischen Faktoren, die sich durch die knöchernen Morphologie von Femur, Tibia und Patella ergeben (29), agieren zudem die passiven, insbesondere ligamentären und aktiven muskulären Faktoren (30).

### 1.1.1 Die statischen Stabilisatoren

Die knöchernen Morphologie der gelenkbildenden Partner distales Femur und Patella sowie deren Kongruenz zueinander stellen die statischen Voraussetzungen der Gelenkstabilität dar (30).

Im Patellofemoralgelenk artikulieren die knorpelüberzogene Rückfläche der Patella mit der nach ventral weisenden Führungsrinne des distalen Femurs, der Trochlea femoris (31).

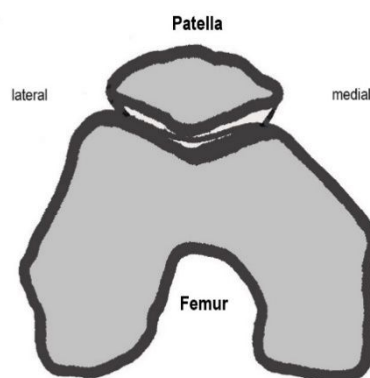


Abb. 1: Die lokalen statischen Stabilisatoren

Die Patella fungiert hierbei als Hypomochlion des Quadrizepssehnen-Patellarsehnenkomplexes durch Vergrößerung des Hebelarms der Patellarsehne

bezogen auf die femorale Flexions-Extensionsachse (32). Retropatellär teilt sich die Gelenkfläche durch die Crista mediana retropatellaris in die konkave laterale und meist konvexe mediale Gelenkfläche und fügt sich hiermit in das femorale Gleitlager (33).

Das trochleäre Gleitlager bildet an seinem Übergang von lateraler zu medialer Facette einen mit hyalinem Knorpel überzogenen Sulcus, der der Patella als Führungsrinne während der Flexions-/Extensionsbewegung dient (31). Die laterale Trochleafacette nimmt im Durchschnitt 62% der gesamten Trochleabreite ein. Sie erstreckt sich weiter nach proximal als der mediale Kontrapart und ermöglicht hierdurch eine größere Druckaufnahme der Patella. Zusätzlich vertieft sich der Sulcus in seinem anatomischen Verlauf von proximal nach distal. Diese anatomischen Charakteristika dienen der Patella als natürliche Barriere vor lateraler Luxation (34).

Neben der lokalen knöchernen Anatomie beeinflussen die Achs- und Torsionsverhältnisse der unteren Extremität in der Frontal- und Transversalebene die statische Stabilität (35, 36).

Als Erklärungsmodell dient das initial von Brattstroem beschriebene Quadrizeps- (Q)-Winkelprinzip (37). Es beschreibt den Mechanismus des anatomisch prädisponierten, nach lateral gerichteten Zug an der Patella bei Anspannung des Quadrizeps durch die natürliche Valgusangulation von Quadrizeps- und Patellarsehne. Die Kraftvektoren beider Sehnen, in der Frontalebene von der Spina iliaca anterior superior zur Patellamitte und von dort zur Tuberositas tibiae verlaufend, erzeugen ein natürliches Valgusmoment auf das PF-Gelenk und damit einen nach lateral gerichteten Summationsvektor (Valgusvektor).

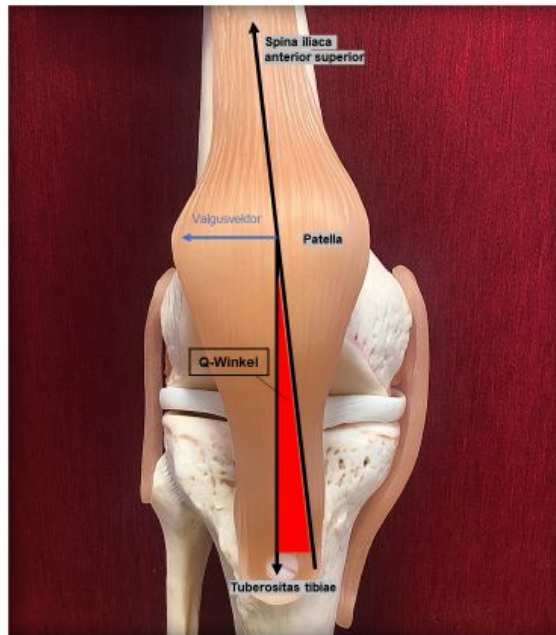


Abb. 2: Q-Winkel

Die hierdurch entstehende Druckbelastung auf die laterale Trochleafacette liegt bei 60% der Gesamtbelastung (38). Eine Vergrößerung des Q-Winkels geht konsekutiv mit einer erhöhten lateralisierenden Kraft einher mit folglich erhöhter Druckbelastung auf das laterale PF-Gelenk und größerer Luxationstendenz der Patella (39).

Veränderungen der Achs- und Torsionsverhältnisse von Femur und Tibia haben direkten Einfluss auf Veränderungen des Q-Winkels. Eine vermehrte femorale Antetorsion oder ein Genu valgum bewirken eine Medialisierung der Trochlea und somit eine Winkelvergrößerung. Bei einer isolierten Außenrotation der Tibia bleibt die Trochlealstellung dagegen unverändert, die Tuberositas tibiae hingegen lateralisiert und erzeugt einen vergrößerten lateralisierenden Kraftvektor (30). Gemessen wird die Lateralisierung der Tuberositas in Bezug auf das Femur mithilfe des TTTG-Abstands (Tuberositas-Tibiae-Trochlea-Groove-Abstand) anhand der axialen Schnittbilddiagnostik (40). Grundsätzlich gilt eine TTTG-Distanz von >20mm allgemein als Indikation für eine operative Korrektur der Tuberositas nach medial (41). Der gemessene Wert unterliegt jedoch zahlreichen Einflussfaktoren wie der femoralen Innentorsion, der tibialen Außenrotation oder einer bestehenden Trochleadysplasie, sodass der TTTG-Abstand nur unter Berücksichtigung dieser Faktoren herangezogen werden sollte (41, 42).

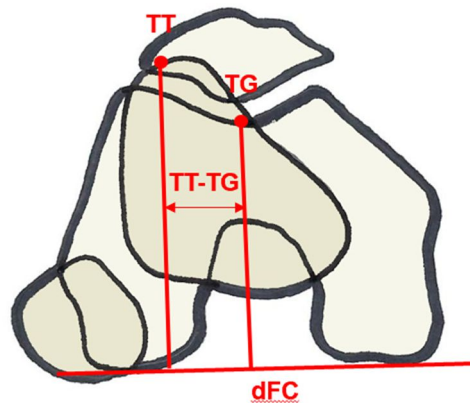


Abb. 3: TTTG-Abstand (*TT=Tuberositas tibiae, TG=Sulcus trochlearis, dFC=dorsale Femurkondylen*)

Die Kombination pathologisch veränderter Torsionsverhältnisse kann zu einem Miserable Malalignment führen. Hierbei äußert sich die gesteigerte femorale Antetorsion klinisch aufgrund einer begleitenden muskulären Insuffizienz von Hüftaußenrotatoren und Abduktoren durch ein innenrotiertes Gangbild. Kompensatorisch rotiert der Unterschenkel nach außen und vergrößert durch beide Mechanismen den Q-Winkel (30).

### 1.1.2 Die passiven Stabilisatoren

Der mediale und der laterale Weichteilkomplex stellen gemeinsam die Entität der passiven patellofemorale Stabilisatoren dar.

Als primärer passiver Stabilisator gilt das Mediale Patellofemorale Ligament (MPFL) (43-45), ein faszikuläres Band, welches die Verbindung zwischen medialem Femurkondylus und medialer Patellafacette herstellt (7, 46). Frühere Untersuchungen definierten den femoralen Ursprung unmittelbar über dem Tuberculum adductorium (43, 47), aktuelle Beschreibungen von Nomura et al. identifizieren den Ursprung in der anatomischen Rille zwischen Epikondylus femoris und Tuberculum adductorium (48). Einigkeit herrscht über den Ansatzpunkt des MPFL an den proximalen zwei Dritteln der medialen Patellafacette gemeinsam mit den distalen Fasern des M. vastus medialis. Zu dem transversalen Faserverlauf vereinigen sich schräge Fasern des ventralen oberflächlichen Ligamentum collaterale mediale (sMCL) und bilden ein gemeinsames Fasergeflecht (7).

Das MPFL gilt als ausschlaggebende Struktur, die in extensionsnaher Kniegelenksstellung der lateralisierenden Kraft des Quadrizepsmuskels entgegenwirkt

(1). Über den gesamten Bewegungsbogen des Kniegelenks zeigt das MPFL ein annähernd isometrisches Verhalten mit leichter Anspannung und Längenänderung in extensionsnaher Stellung und den ersten Beugegraden (49).

Der lateral stabilisierende Weichteilkomplex, allem voran vornehmlich das Retinaculum laterale, spielt mit 10% eine verhältnismäßig untergeordnete Rolle in der Vermeidung der Patellalateralisierung. Er fungiert vielmehr als Schutzmechanismus im Sinne einer letzten Barriere bei insuffizientem medialem Weichteilkomplex (45).

### 1.1.3 Die aktiven Stabilisatoren

Als Bestandteil der aktiven Stabilisatoren gilt die hemmende Wirkung durch den Vastus medialis des M. quadriceps femoris, im Speziellen dem distalen schrägen Faseranteil (8). Der als M. vastus medialis obliquus (VMO) bezeichnete Anteil nimmt seinen Verlauf vom Septum intermusculare mediale nach distal, inseriert auf einzelnen Fasern des MPFL und auf dem superomedialen Pol der Patella (50, 51). Durch diese anatomische Nachbarschaft und die Verbindung einzelner Fasern mit dem MPFL wird eine muskulär bedingte Anspannung und erhöhte Stabilität des MPFL vermutet (52). Zudem impliziert der schräge Muskelverlauf zur Femurschaftachse und der dorsal der Patella gelegene Ursprung einen aktiv stabilisierenden Mechanismus (53). Senavongse. et al. wiesen eine reduzierte Patellastabilität unter Wegfall der Funktion des VMO bei 20° Knieflexion nach (1).

Nichtsdestotrotz wird der reelle aktive Einfluss des VMO auf die patellofemorale Stabilität in der aktuellen Literatur stark diskutiert. Der VMO zeigt ab einer Flexion von 60° in der Transversalebene eine stabilisierende Wirkung und erreicht seinen Maximalwert in einer 90°-Flexionsstellung. In dieser Gelenkstellung erfährt die Patella bereits eine muskelunabhängige ossäre trochleäre Führung, sodass am ehesten von einer gesteigerten Druckbelastung auf die Trochlea durch den VMO ausgegangen werden muss (54, 55).

### 1.1.4 Einfluss der Stabilisatoren auf das Patella(mal)tracking

Durchläuft das Kniegelenk seinen vollständigen Bewegungsumfang von der Extension in die Flexion und vice versa, folgt die Patella einem vorgegebenen Bewegungsmuster über

dem distalen Femur. Hierbei unterliegt die Patella, abhängig von der aktuellen Gelenkstellung, unterschiedlichen stabilisierenden Einflüssen (30). Senavongse et al. demonstrierten in einer biomechanischen Untersuchung die anteiligen ligamentären, ossären und muskulären Stabilisatoren in Abhängigkeit vom Beugegrad des Kniegelenks (1).

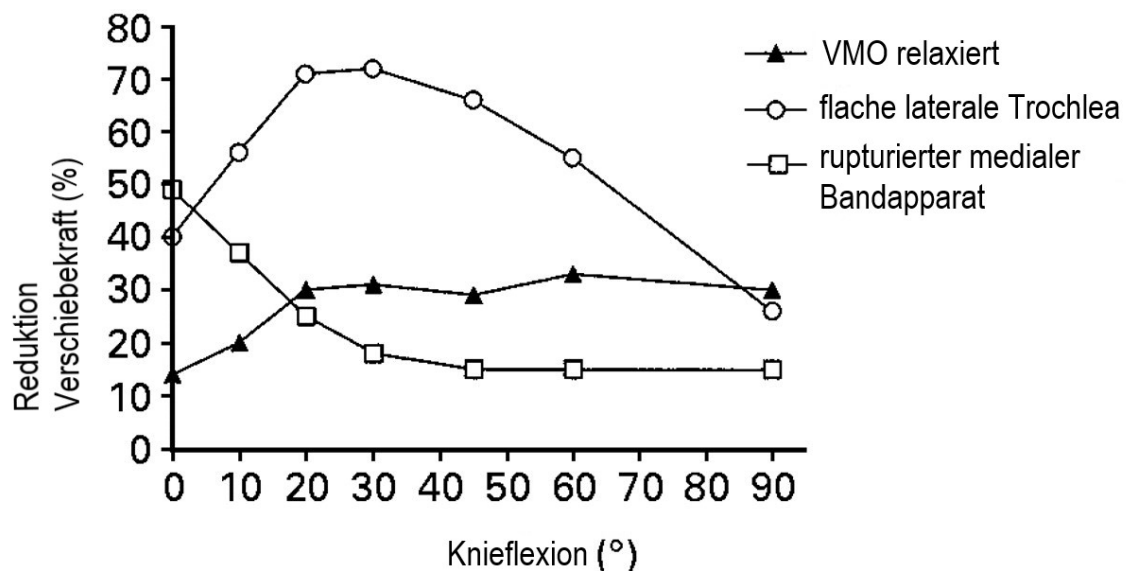


Abb. 4: Einfluss statischer, passiver und aktiver Stabilisatoren in Abhängigkeit der Knieflexion, Aus: (1)

In vollständiger Knieextension ist die Patella proximal des trochleären Gleitlagers lokalisiert. Durch den permanenten Zug des Quadrizeps wird sie einer lateralisierenden Kraft ausgesetzt, der durch die mediale passive Weichteilhemmung ein Widerstand, vornehmlich durch das MPFL, entgegengesetzt wird (30). Die fehlende knöcherne Patellaführung durch die Trochlea macht die Patella anfällig für Luxationen und erklärt die hohe Inzidenz in extensionsnaher Gelenkstellung (1, 55). Die MPFL-Ruptur oder Insuffizienz gilt als unabdingbare Pathomorphologie einer Luxation. Radiologisch-klinische Studien wiesen eine 90%-Rupturrate nach Erstluxation nach (6).

Ab einer Knieflexion von 20-30° erreicht die weiter nach proximal ragende laterale Trochleafacette die distale Patella und ebnet ihr durch Druck nach medial den Eintritt in das femorale Gleitlager (30). Eine vorbestehende Patella alta kann dieses Eingleiten durch späteres Erreichen der Trochleafacette verzögern und gilt daher als Risikofaktor für eine PF-Instabilität (56-58). Klassischerweise haben sich unterschiedliche Indizes zur Beschreibung einer Patella alta etabliert (59, 60), unter denen der Caton-Dechamp-Index (CDI) auch nach erfolgter Tuberositasdistalisierung eine Re-Evaluierung der Patellahöhe

zulässt (59). Ein CDI >1,2 gilt als pathologisch (59, 60). Eine Patella alta ist nicht in jedem Fall ursächlich für eine Instabilität, sondern kann sogar die Folge pathologisch veränderter statischer Stabilisatoren sein (61). Mit progredienter Knieflexion folgt die Patella der prädisponierten Trochlearrinne nach distal und um ca. 7mm nach lateral (29, 30). Das reduzierte oder teilweise gänzlich aufgehobene Sulcusrelief der Trochlea im Rahmen einer Dysplasie, welche nach ihrem Schweregrad in die Typen A-D nach D. Dejour eingeteilt wird (62), verhindert das statisch gesicherte Patellatracking. Senavongse et al. zeigten eine signifikante Abnahme der stabilisierenden Kräfte durch eine Trochleadysplasie zwischen 20° und 60° Flexion (1). Zudem kann eine dysplastische Trochlea den Eintritt der Patella in den nicht vorhandenen Sulcus blockieren und sie sogar nach proximal drängen, wodurch sekundär eine Patella alta entstehen kann (61). Derartige strukturelle Varianten des Kniegelenks oder der unteren Extremität sind es, die zu einer veränderten physiologischen Kinematik führen. Sie gelten daher als Risikofaktoren für das Patellamaltracking und sind im Wesentlichen ursächlich für die Instabilität des PF-Gelenks. Hierzu zählen:

- eine Trochleadysplasie
- ein erhöhter TTTG-Abstand
- ein Valgusalignment
- eine Patella alta
- eine vermehrte femorale Antetorsion (10).

Abhängig vom Ort der gestörten Patellakinematik wird zwischen dem proximalen, distalen und dem Maltracking über den gesamten Bewegungsumfang unterschieden (63). Während im Fall der Patella alta der regelrechte Eintritt in den Sulcus trochlearis gestört ist, kommt es bei der lateralisierten Tuberositas tibiae zum distalen Maltracking (30, 61). Ein Maltracking über den gesamten Bewegungsumfang kann sich ebenfalls bei einem pathologisch veränderten TTTG-Abstand oder sekundär durch Narbenkontrakturen zeigen (63). Pathognomisch hierfür ist eine chronisch persistierende Patellaluxation oder Subluxation. Im Falle der hochgradigen Trochleadysplasie mit konvexer Morphologie ist ein vollständiger Wegfall des Patellatrackings möglich (63).



## **1.2 Behandlungsstrategien einer chronischen patellofemorale Instabilität**

Grundsätzlich besteht das Ziel einer Therapie der patellofemorale Instabilität in der suffizienten Patellastabilisierung durch die Korrektur zugrundeliegender Pathologien unter Erhalt des vollständigen Bewegungsumfangs (64).

Eine problemorientierte, stufenweise Diagnostik ermöglicht es die pathologischen Muster zu erkennen und vollumfänglich zu adressieren. Sie gliedert sich in die grundlegenden Bausteine Anamnese, klinische Untersuchung und apparative Diagnostik (65).

### **1.2.1 Anamnese**

Die Anamneseerhebung dient der Identifizierung einer Disposition für patellofemorale Instabilitäten anhand von Risikofaktoren(66).

Das auslösende Ereignis, das den Grad der Kraffteinwirkung widerspiegelt, nimmt eine zentrale Rolle ein. Bagateltraumata und chronisch habituelle Luxationen ohne adäquates Trauma sind häufig mit bereits höhergradigen ossären Instabilitäten verbunden (66).

Zu den relevanten epidemiologischen Risikofaktoren zählen eine positive Familienanamnese, ein junges Patientenalter unter 16 Jahren und eine kontralaterale Instabilität bzw. bekannte Bindegewebsschwäche (67-69). Die drei letztgenannten wurden als relevante Risikofaktoren in den von Balcarek et al. 2014 veröffentlichten Patellar Instability Severity Score (PIS-Score) zur Risikoabschätzung einer Reluxation aufgenommen (68).

In der Anamnese sollte zusätzlich die Luxationsrichtung sowie die Häufigkeit von Luxationen oder Subluxationen erfragt werden. In der Regel besteht eine Luxation nach lateral (70).

Risikofaktor	Punkte
Alter > 16 Jahre ≤ 16 Jahre	0 1
Kontralaterale Instabilität oder Bindegewebserkrankung nein ja	0 1
Trochleadysplasie nein leicht (Typ A) schwer (Typ B-D)	0 1 2
Patellahöhe (nach Insall Salvati) ≤ 1,2 ≥ 1,2	0 1
TTTG-Abstand (mm) < 16 ≥ 16	0 1
Patella Tilt (°) ≤ 20 >20	0 1
<b>Gesamtpunktzahl</b>	<b>7</b>

Abb. 5: Patellar Instability Severity (PIS) Score (68)

Die Anamneseerhebung bei persistierender Instabilität nach patellastabilisierenden Operationen fokussiert gleichermaßen die Erfassung der präoperativ bestehenden Prädisposition. Angaben über das bereits durchgeführte operative Verfahren und dessen Zeitpunkt sind notwendig, um den Grund für das Versagen der bisherigen Therapie adäquat beurteilen und einen eventuell notwendigen Revisionseingriff strukturiert planen zu können (64).

### 1.2.2 Klinische Diagnostik

Zu Beginn einer Untersuchungssequenz ergeben sich bereits im Stehen und anhand des Gangbilds Hinweise auf eine Achs- oder Torsionspathologie (71). Eine Q-Winkel-vergrößernde valgische Beinachse kann dabei auch erst in der dynamischen Testung apparent werden (72). Femorale Torsionsfehlstellungen projizieren sich aufgrund ihres geringen Kompensationspotentials bevorzugt auf das Kniegelenk. Die Folge können nach innen gerichtete Patellae sein. Die Füße zeigen hierbei entweder eine vermehrte Innenrotation oder als sekundäre Kompensation eine vermehrte Außenrotation i.S. eines Torsionsmalalignments (73, 74). Diese klinischen Auffälligkeiten erfordern zur Objektivierung und präzisen Operationsplanung eine über den aktuellen Standard hinausgehende zusätzliche radiologische Diagnostik (75, 76).

Abschließende Aussagen über die Auswirkung zugrundeliegender Pathologien auf eine patellofemorale Instabilität lassen sich ausschließlich mittels klinischer Untersuchung treffen. In einer strukturierten Untersuchung wird zum einen die Luxationsrichtung objektiviert, zum anderen erfolgt eine differenzierte Analyse der Instabilität in unterschiedlichen Flexionsgraden des Kniegelenks, was unter pathomorphologischen und therapeutischen Gesichtspunkten die Zuordnung in drei Gruppen erlaubt (77):

- Instabilität 0°-30°
- Instabilität 0°-60°
- Instabilität 0°-90° oder permanent subluxierte Patella

Neben der reinen Instabilität stehen häufig patellofemorale Schmerzen, insbesondere nach bereits länger bestehender Problematik aufgrund degenerativer Veränderungen, im Vordergrund und sollten stets evaluiert werden (64).

In Revisionsfällen nach operativer PF-Stabilisierung kann bereits der Narbenverlauf, wenn nicht bereits durch die Anamnese erhoben, Aufschluss über die Art des vorhergehenden Eingriffs geben. Zusätzlich empfiehlt sich aus forensischen Gründen und zur weiteren Operationsplanung die Dokumentation der operativen Zugänge und muskulärer Atrophien.



Abb. 6: Narbenverlauf nach multiplen patellastabilisierenden Operationen

### 1.2.3 Radiologische Diagnostik

Die radiologische Diagnostik im Rahmen einer PFI verfolgt zwei Prinzipien: Einerseits können Verletzungsfolgen durch Luxations- oder Subluxationsereignisse detektiert und andererseits vor allem zugrundeliegende Risikofaktoren analysiert werden (78).

Die konventionelle Bildgebung bildet zwar die Grundlage der radiologischen Diagnostik und kann Hinweise auf zugrundeliegende Pathologien geben, sie gilt heutzutage aber als obsolet und nicht mehr ausreichend als alleiniges radiologisches Tool (79, 80). Die Kniegelenksaufnahme im p.a.-Strahlengang liefert beispielsweise lediglich Informationen über osteochondrale Abscherfragmente (79). Durch die fehlende Zentrierung der Notch unmittelbar über der Eminentia intercondylaris tibiae kann sie aber bereits erste Hinweiszeichen für eventuelle Rotationsfehlstellungen des Femurs geben.

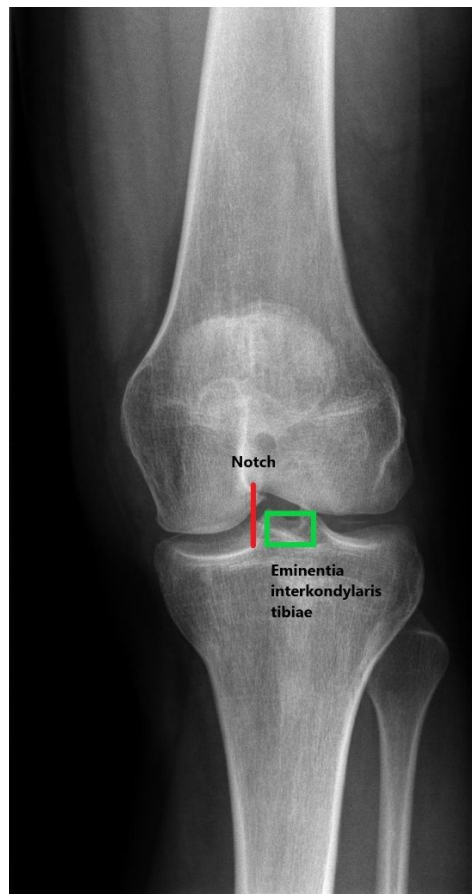


Abb. 7: Röntgenbild p.a. Kniegelenk links mit Anzeichen einer vermehrten femoralen Innenrotation

Die streng seitliche Aufnahme in 30° Knieflexion hingegen wird für die Beurteilung der Patellahöhe und dysplastische Veränderungen herangezogen (80). Sie liefert Hinweise

für eine Trochleadysplasie mittels den nach H. Dejour beschriebenen typischen Hinweiszeichen Crossing-Sign, supratrochleärer Bump und Doppellinienkontur (10). Die exakte Beurteilung erfordert eine streng seitliche Einstellung des Strahlengangs, die in der Praxis eher selten ausreichend erreicht wird (81).

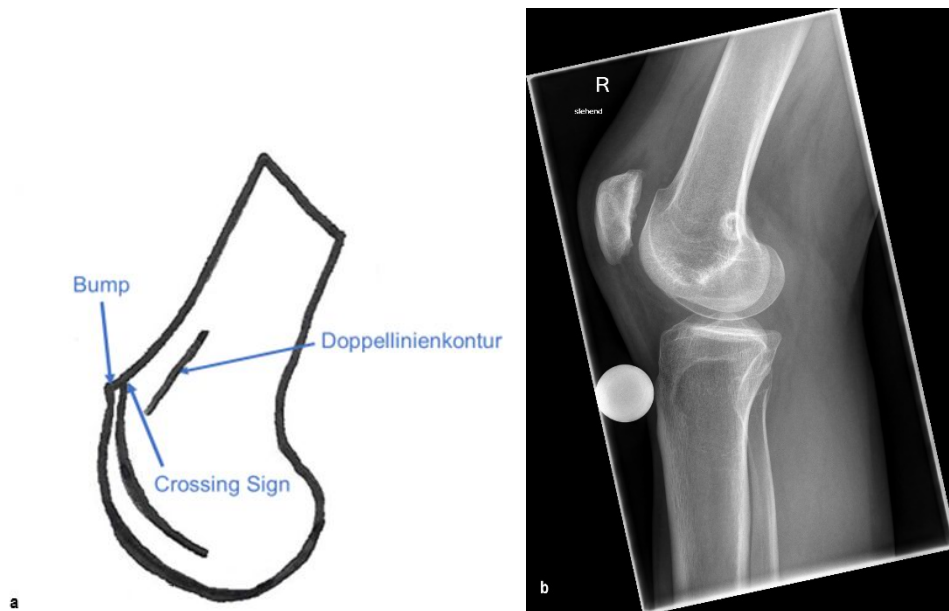


Abb. 8: Kniegelenk seitlich mit Zeichen einer Trochleadysplasie Typ D **a** Schema **b** Röntgenbild

Auch die Darstellung des PF-Gelenks im tangentialen Strahlengang lässt eine Beurteilung einer vermeintlichen Dysplasie aufgrund von Überlagerungen mit anderen knöchernen Abschnitten nur bis zu einer Knieflexion von  $20^\circ$  zu (82), sodass ihre Verwendung schrittweise in den Hintergrund gerückt ist (79).

Einen höheren Stellenwert in der konventionellen Bildgebung nimmt dagegen die Ganzbeinaufnahme ein (83). Sie lässt die Beurteilung der gesamten Beinachse, der Kniebasislinie sowie der Kniegelenkwinkel (LDFW: Lateraler Distaler Femurwinkel, MPTW: Medialer Proximaler Tibiawinkel) zu (76, 84).



Abb. 9: Röntgen Ganzbeinstandaufnahme bei Genu valgum

Die Magnetresonanztomographie ermöglicht eine umfassende Diagnostik des PF-Gelenks (78). Sie ist derzeit der Goldstandard und ihre Verwendung obligat (80). Vorteile dieses Verfahrens sind einerseits eine im Vergleich zu anderen Verfahren höhere Sensitivität zum Nachweis von okkulten Frakturen und subchondralen Belastungsreaktionen, andererseits die gute Weichteil- und Knorpeldarstellung (78). Da die Geometrie der trochleären Knorpeloberfläche teilweise erheblich von der korrespondierenden subchondralen Oberfläche differiert, besitzt die MRT insbesondere in der Diagnostik der Trochleamorphologie eine hohe Relevanz (85). Des Weiteren lässt sich die dorsale Kondylenlinie als Referenzwert zur Erhebung patellofemoraler Parameter, wie dem Patella-Tilt und -Shift oder dem TTTG-Abstand, nutzen (40, 86-88). Ursprünglich galt die Computertomographie (CT) zur Messung der Torsionsverhältnisse der unteren Extremität als Mittel der Wahl. Da eine Rotationsmessung inzwischen zuverlässig auch mittels MRT erfolgen kann (75), wird bei dem insgesamt jungen Patientenkollektiv unter dem Aspekt des Strahlenschutzes zunehmend auf eine CT-Diagnostik verzichtet (83).

#### 1.2.4 Standardisierter Therapiealgorithmus

Das Komitee-Knie-Patellofemoral der deutschsprachigen Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie (AGA) veröffentlichte von 2015 bis 2017 sowohl einen Algorithmus für die Therapie der Patella-Erstluxation als auch für die der rezidivierenden lateralen Patellaluxation (2).

Das Therapieregime der Patellaerstluxation orientiert sich an dem Vorhandensein einer Flake-Fraktur, die in erster Linie ein operatives Vorgehen mit dem Versuch der Fragmentrefixation fordert. Je nach Ausprägung von Risikofaktoren für eine Patellainstabilität, die mittels PIS-Score objektiv bewertet werden (68), sollte in gleicher Sitzung bei niedrigem Risikoprofil entweder eine Naht/Refixation des MPFL oder bei entsprechend hohem Risiko unmittelbar eine MPFL-Plastik durchgeführt werden. Als hohes Risiko gilt entweder ein Score-Wert von  $\geq 4$  oder die Kombination aus  $\geq 2$  Risikofaktoren. In diesen Fällen sollte auch ohne nachgewiesene Flake-Fraktur eine MPFL-Rekonstruktion angestrebt werden. Aufgrund des großen Reluxationsrisikos bei hohem Risikoprofil, das sich aus der Summation mehrerer Risikofaktoren ergibt, besteht zudem die Empfehlung, diese risikobehafteten Begleitpathologien zusätzlich zu adressieren (2).

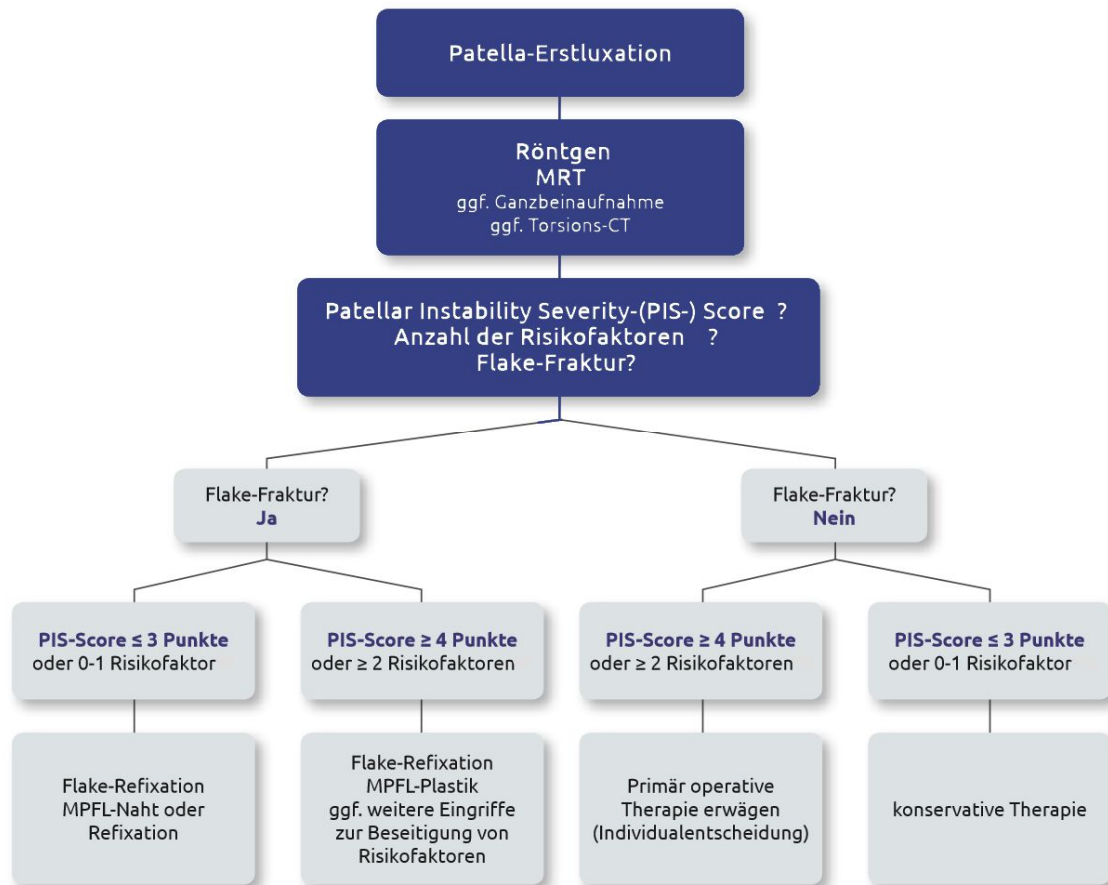


Abb. 10: Therapiealgorithmus der lateralen Patella-Erstluxation des AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral (2)

Das Behandlungsregime der rezidivierenden lateralen Patellaluxation wird maßgeblich durch die individuelle klinische Patellainstabilität in den unterschiedlichen Flexionsgraden des Kniegelenks bestimmt.

Eine Instabilität in den ersten Beugegraden von 0°-30° gilt als Insuffizienz der passiven Stabilisatoren, unter ihnen vornehmlich des MPFL, und indiziert daher eine isolierte MPFL-Plastik (2).

Die komplexe Form der Instabilität zwischen 0° und 60° Flexion beinhaltet neben der passiven häufig eine zusätzliche statische Pathologie (1). Die Basis bildet oftmals eine hochgradige Trochleadysplasie (Typ B-D nach Dejour (10)) (89). Sie wird entweder allein oder in der Kombination mit einer Alignmentstörung beobachtet. Auch hier besteht die Therapie grundlegend aus einer Rekonstruktion des MPFL, die durch eine operative Korrektur der statischen Begleitpathologie ergänzt wird (2). Eine nicht-adressierte



Trochleadysplasie gilt derzeit als wesentliche Ursache für das Versagen von fehlgeschlagenen patellastabilisierenden Operationen (90, 91). Liegt gleichzeitig eine Störung des proximalen oder distalen Alignments im Sinne einer Patella alta oder eines erhöhten TT-TG-Abstands vor, so ist hier eine Korrektur durch Versatz der Tuberositas zu diskutieren (16, 92).

Einer permanent über den gesamten Bewegungsumfang (sub)-luxierten Patella oder einer ab 90° luxierenden Patella liegen eine Kombination aus hochgradigen Alignmentanomalien mit insuffizienten statischen und passiven Stabilisatoren zugrunde (2). Typischerweise zeigt sich eine komplexe proximale oder distale Achs- oder Torsionspathologie mit hochgradiger Trochleadysplasie und kontraktlem lateralem Bandapparat (2). Selten lässt sich eine Hypoplasie des lateralen Femurkondylus oder eine abfallende Kniebasislinie als Ursache identifizieren (36). Die Therapie muss dieser Komplexität individuell angepasst werden und beinhaltet neben der üblichen MPFL-Rekonstruktion in der Regel aufwändige knöcherne femorale oder tibiale Korrekturen mit balancierenden Weichteileingriffen (2).

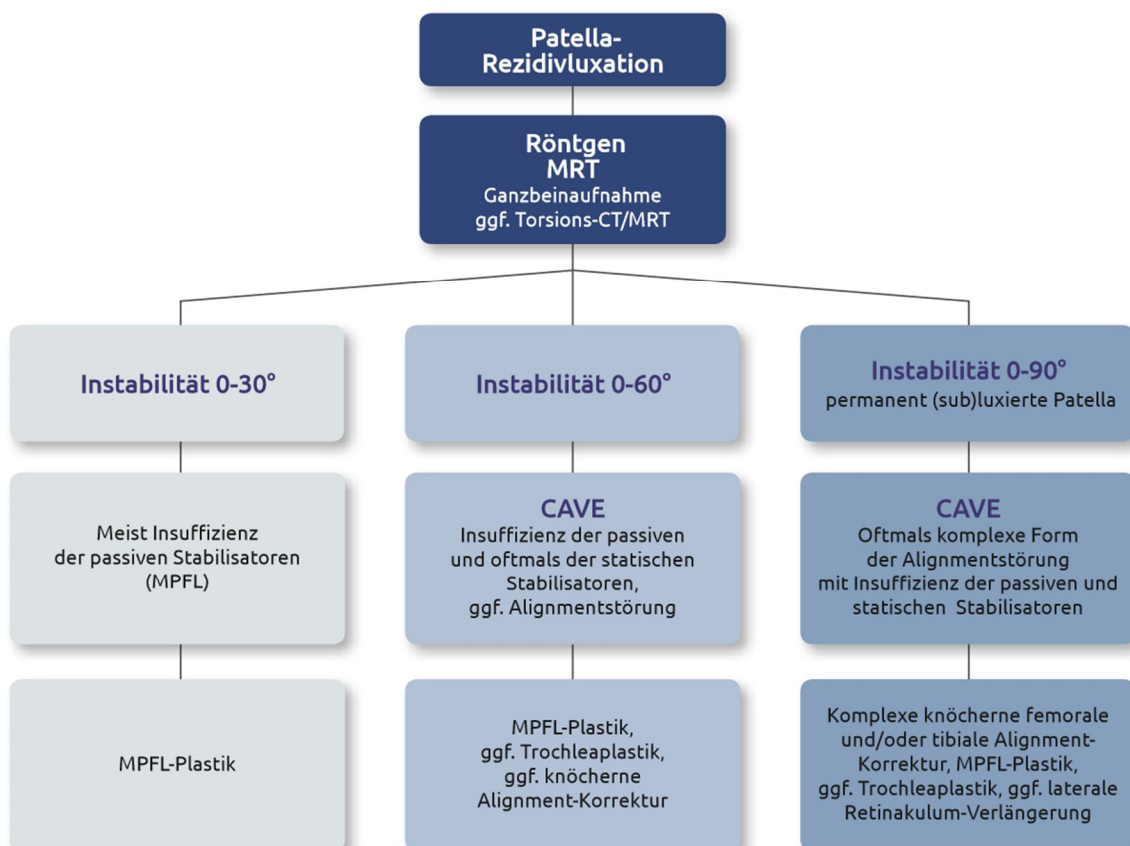


Abb. 11: Therapiealgorithmus der Patella-Rezidivluxation des AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral (2)

### 1.2.5 Operative Stabilisierungsverfahren

Die zahlreichen in der Literatur beschriebenen operativen Stabilisierungsverfahren basieren auf der Korrektur der morphologischen Risikofaktoren (30). Entsprechend werden die Methoden je nach Therapieansatz in folgende Kategorien unterteilt (79):

- Korrektur oder Rekonstruktion der passiven und aktiven Weichteilstrukturen
- Korrektur der lokalen statischen Faktoren
- Korrektur des proximalen oder distalen Alignments zur Veränderung der patellären Zugrichtung.

Die Wahl für ein operatives Verfahren sollte prinzipiell danach mit dem Ziel getroffen werden, eine ausreichende Stabilität ohne patellofemorale Druckerhöhung herstellen zu können (93).

#### 1.2.5.1 Mediale Raffung

Unter dem Begriff „Mediale Raffung“ werden in der Gesamtheit unterschiedliche Operationsverfahren subsummiert, die eine Korrektur der passiven oder auch aktiven medialen Weichteilstrukturen verfolgen (92, 94-96).

Die Technik nach Ali Krogus beinhaltet die Präparation eines ca. 1cm proximalen Kapselstreifens des medialen Retinaculums, der proximal um die Patella herumgeführt und in einen lateralen Retinaculumlappen hineingebettet wird. Der medial entstandene Kapseldefekt wird mittels Raffnaht verschlossen (97). In der Technik nach Insall et al. wird nach initial lateraler Retinakulumspaltung die Patella unter den Vastus medialis verlagert und fixiert (98). Yamamoto et al. beschrieben eine Technik, nach der mittels größerer Nadel der gesamte mediale Komplex unter arthroskopischer Kontrolle gerafft wird (94). Die VMO-Plastik nutzt eine Ablösung der sehnigen Einstrahlung des VMO, um diese distalisiert an der Patella zu refixieren (99).

Die beschriebenen Verfahren zählen zu den bekanntesten Vertretern der medialen Raffung, spiegeln aber nur einen Teil des gesamten Spektrums wider. Während einige der Techniken eher historischen Charakter aufweisen, finden andere Verfahren der medialen Raffung nach wie vor Verwendung, obwohl ihre klinische Unterlegenheit bereits wiederholt belegt wurde (19, 100-103).

### 1.2.5.2 MPFL-Rekonstruktion

Die MPFL-Rekonstruktion hat sich in den vergangenen zwei Jahrzehnten als das effizienteste operative Verfahren bei extensionsnaher PFI durchgesetzt (5). Hierbei wird das insuffiziente MPFL im Sinne einer medialen passiven Zügelung anatomisch durch ein Sehnentransplantat ersetzt (104-106). In biomechanischen Studien konnte hierdurch eine suffiziente Wiederherstellung der patellofemorale Kinematik nachgewiesen werden, was nach wie vor zufriedenstellende klinische Ergebnisse zur Folge hat (5, 107). Als Standardtransplantat gilt aktuell die autologe Gracilissehne mit anatomischer Fixation (106). Doch auch eine Rekonstruktion mittels Quadrizepssehnenstreifen (108, 109), Adduktor-Magnus-Sehne (110, 111), eine dynamische, extraanatomische Rekonstruktion mittels einer der Hamstringsehnen (112) oder auch die Verwendung von artifiziellen alloplastischen Transplantaten, wie der Rekonstruktion mittels FiberTape® (Arthrex, FL, USA) (113, 114), finden inzwischen breite Anwendung mit guten klinischen Resultaten.

Das native MPFL besitzt kein isometrisches Verhalten, weshalb bei der Rekonstruktion ein besonderes Augenmerk auf die exakte anatomische femorale und patelläre Fixation gelegt werden muss (107, 115). Technische Fehler bilden derzeit die Hauptursache für postoperative Komplikationen und erforderliche Revisionsoperationen nach MPFL-Plastik (23, 24).

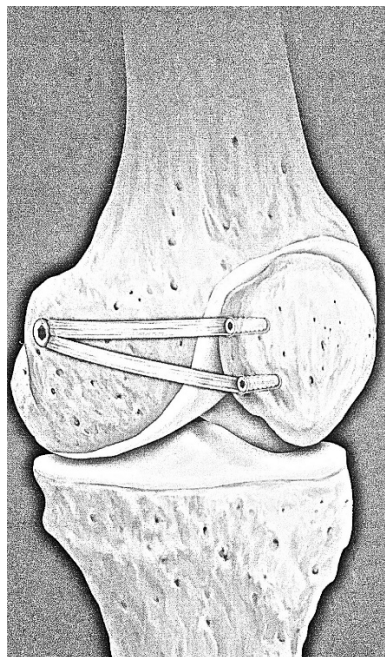


Abb. 12: MPFL-Rekonstruktion mittels Gracilissehnentransplantat

Auch im Rahmen kindlicher patellofemorale Instabilitäten findet die MPFL-Plastik zunehmend Anwendung (116). Die Gefahr liegt hierbei in einer möglichen Läsion der femoralen Epiphysenfuge. Da sich der femorale Ansatzpunkt jedoch distal der Epiphysenfuge befindet, ist auch im Wachstumsalter eine anatomische MPFL-Fixation ohne das Auftreten von relevanten Wachstumsstörungen möglich (117-119). Da sich mit zunehmend jüngerem Alter der Abstand zwischen Wachstumsfuge und anatomischer Bohrkanalplatzierung sukzessive verringert, greifen einige Autoren auf Verfahren zur MPFL-Rekonstruktion zurück, die ohne knöcherne femorale Fixation wie beispielsweise die Adductor-Magnus-Tenodese auskommen (120).

#### 1.2.5.3 Lateral Release

Das Lateral Release arbeitet mit dem offenen oder arthroskopischen Durchtrennen des lateralen Retinaculum in Längsrichtung in unterschiedlicher Ausdehnung bis teilweise in die proximalen muskulären Weichteile (121, 122). Bis vor ca. zwei Jahrzehnten wurde das Lateral Release als Goldstandard der operativen Stabilisierung, unter der Annahme einer Reduktion der lateralisierenden Zugkraft auf die Patella, angesehen (123). Inzwischen gilt seine Anwendung als obsolet (4). In biomechanischen Studien konnte seine nach medial und lateral destabilisierende Wirkung in extensionsnaher Stellung nachgewiesen werden (124-126). Zudem birgt nach eigener Erfahrung das Lateral Release durch das bloße Durchtrennen des parapatellären Gewebes mit verbleibender Diskontinuität die Gefahr einer Quadrizepsatrophie im Bereich des Vastus lateralis oder auch von Vernarbungen mit proximolateraler Zugwirkung auf die Patella. Die Konsequenz kann eine Erhöhung des PF-Drucks mit entsprechender Schmerzsymptomatik sein (121, 127).

#### 1.2.5.4 Laterale Retinakulumverlängerung

Als Alternative zu der Technik des Lateral Release gilt inzwischen in Fällen eines zu straffen lateralen Retinaculums die ursprünglich von Larsen et al. und Biedert et al. beschriebene Laterale Retinakulumverlängerung (Syn. Laterale Rekonstruktion, Laterale Erweiterung) (3, 128). Das in Längsrichtung separate Durchtrennen beider Retinakulumblätter mit einem anschließend elongierten, kulissenartigen Verschluss bietet die Möglichkeit einer Dekompression des Patellofemoralgelenks mit signifikant

reduziertem Auftreten der typischen Komplikationen eines Lateral Release und besseren klinischen Ergebnissen (129).



Abb. 13: Laterale Retinakulumverlängerung intraoperativ

#### 1.2.5.5 Trochleoplastik

Die Indikation für eine Trochleoplastik zur Korrektur des Sulcus trochlearis besteht in einer klinischen Instabilität bis  $60^\circ$  und einer MR-morphologisch nachgewiesenen hochgradigen Trochleadysplasie (130-132). Durch eine subchondrale Vertiefung und Lateralisierung der Trochlearinne mit anschließender Refixation der Knochen-Knorpellamelle wird eine Reduktion des Q-Winkels und eine laterale Barriere gegen die Lateralisierungstendenz der Patella geschaffen (133). Im deutschsprachigen Raum hat sich weitestgehend die Technik nach Bereiter und Gautier durchgesetzt (134). Kontraindiziert ist dieses operative Verfahren bei fortgeschrittenen Knorpelschäden oder bereits arthrotischen Veränderungen des PF-Gelenks (135). Nach eigenen Erfahrungen ist die Durchführung einer Trochleoplastik ab dem 30. Lebensjahr aufgrund der bereits reduzierten Elastizität des Knorpels deutlich erschwert. Offene Wachstumsfugen gelten derzeit noch als absolute Kontraindikation (135), wobei insbesondere durch Arbeiten wie die von Nelitz et al. aktuell ein Umdenken stattfindet (136).



Abb. 14: Trochleoplastik intraoperativ

#### 1.2.5.6 Tuberositastransfer

Der Tuberositastransfer ist bei Vorliegen eines erhöhten TTTG-Abstands und/oder einer Patella alta indiziert und beinhaltet je nach Indikation eine Distalisierung oder Medialisierung der Tuberositas (16, 92, 137, 138).

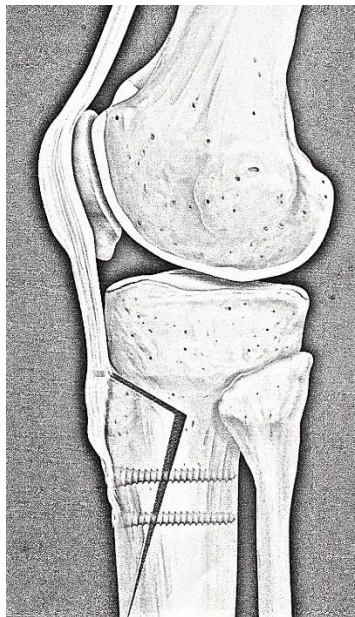


Abb. 15: Tuberositastransfer

Die Empfehlung zur Tuberositasdistalisierung besteht ab einem CDI  $>1,2$  mit einer klinisch verspäteten Patellazentrierung ab einer Flexion von  $30^\circ$  ohne das Vorliegen einer

Trochleadysplasie (139). Zielwert für eine Tuberositasdistalisierung ist ein CDI von 1,1 (140).

Ein TTTG-Abstand >20mm nach Ausschluss konfundierender Pathologien (s. 1.1.1) gilt im Allgemeinen als Indikation für eine Tuberositasmedialisierung (10, 16). Es sollte auf Normalwerte eines TTTG-Abstands von 8-15 mm korrigiert werden (137, 141). Eine Überkorrektur kann zu unphysiologischen Belastungen mit zum Teil medialer Instabilität führen (142).

Bei noch offenen Wachstumsfugen ist der knöcherne Tuberositastransfer kontraindiziert (118). Eine Fugenstörung im Bereich der Tuberositas kann zu Slopeveränderungen und konsekutiv zu einem Genu recurvatum führen (143). In der Vergangenheit hatte sich für derartige Fälle unter anderem die Technik nach Goldthwait-Roux verbreitet (118). Beschrieben wurde die Technik, bei der das laterale Drittel der Patellarsehne abgesetzt und weiter medial periostal fixiert wird, zunächst 1888 von Roux (138) und später modifiziert von Goldthwait (96). Eine ausgeglichene Kraftverteilung auf beide Schenkel mit ausreichender Medialisierung zu generieren, ist mit dieser Technik anspruchsvoll.

Ein vergleichbares Verfahren veröffentlichte Blauth 1989 speziell zur Therapie der kindlichen Patellaluxation (144). In der nach ihm benannten Technik wird die mediale Hälfte der Patellarsehne abgesetzt und nach medial auf den Schienbeinkopf versetzt. Ergänzt wurde dieses Verfahren durch ein laterales Release und eine mediale Raffung. Die Operation nach Goldthwait-Roux und die nach Blauth spielen aktuell auch in der kindlichen Patellachirurgie kaum mehr eine Rolle (118, 145).

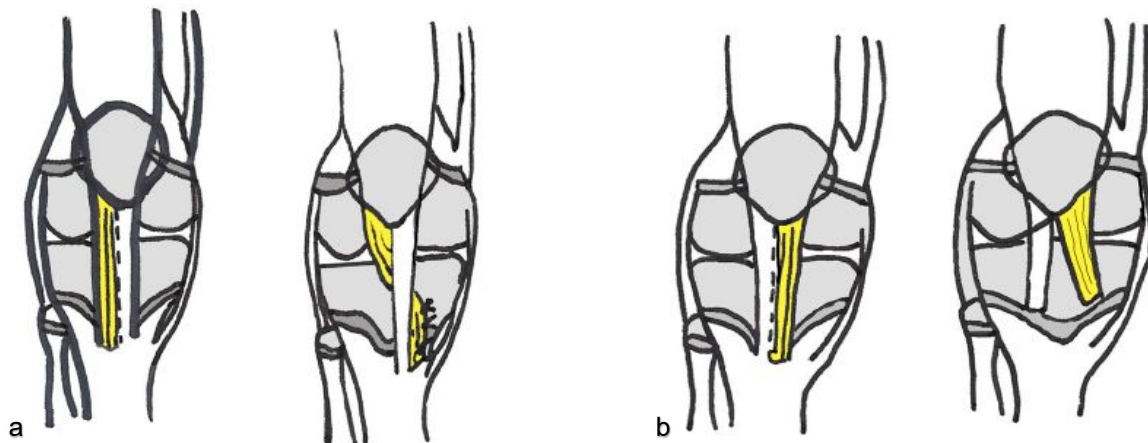


Abb. 16: **a** Operation nach Goldthwait-Roux, Nach: Abb 3a, (146) **b** Operation nach Blauth

#### 1.2.5.7 Achs- und Torsionskorrekturen

Im Rahmen der Achs- und Torsionskorrekturen stehen bei der PFI einerseits die valgische Beinachse und andererseits die vermehrte femorale Innentorsion als pathologische Einflussfaktoren auf das Maltracking im Vordergrund (35, 147). Die Literatur zeigt sich hinsichtlich der Mindesttorsions- und Achsabweichungen für die Indikationsstellung einer Korrekturosteotomie heterogen (17, 18, 36, 148-150), weshalb von den Fachgesellschaften derzeit ausschließlich Richtwerte vorgegeben werden (63, 151).

Ab einer vermehrten femoralen Antetorsion von  $25^\circ$  gilt eine derotierende Femurosteotomie als indiziert (151). Grundsätzlich ist eine derotierende Korrektur sowohl am proximalen als auch distalen Femur möglich. In der Regel sind jedoch noch weitere stabilisierende Operationen am Kniegelenk notwendig, weshalb häufig suprakondyläre Derotationsosteotomien durchgeführt werden (152).

Die Maßgabe zur Wiederherstellung einer geraden Beinachse bei Genu valgum besteht ab einer Valgusstellung von  $5^\circ$  (83). Korrigiert wird stets am Ort der größten Fehlstellung, der durch die Bestimmung der Kniebasiswinkel (LDFW, MPTW) ermittelt wird (147). Zur Varisierung bietet sich im tibialen Bereich eine hohe medial schließende („closed wedge“) Tibiaosteotomie an (147). Im Bereich des distalen Femurs besteht die Möglichkeit einer



entweder lateral öffnenden („open wedge“) oder medial schließenden („closed wedge“) Femurosteotomie (153).

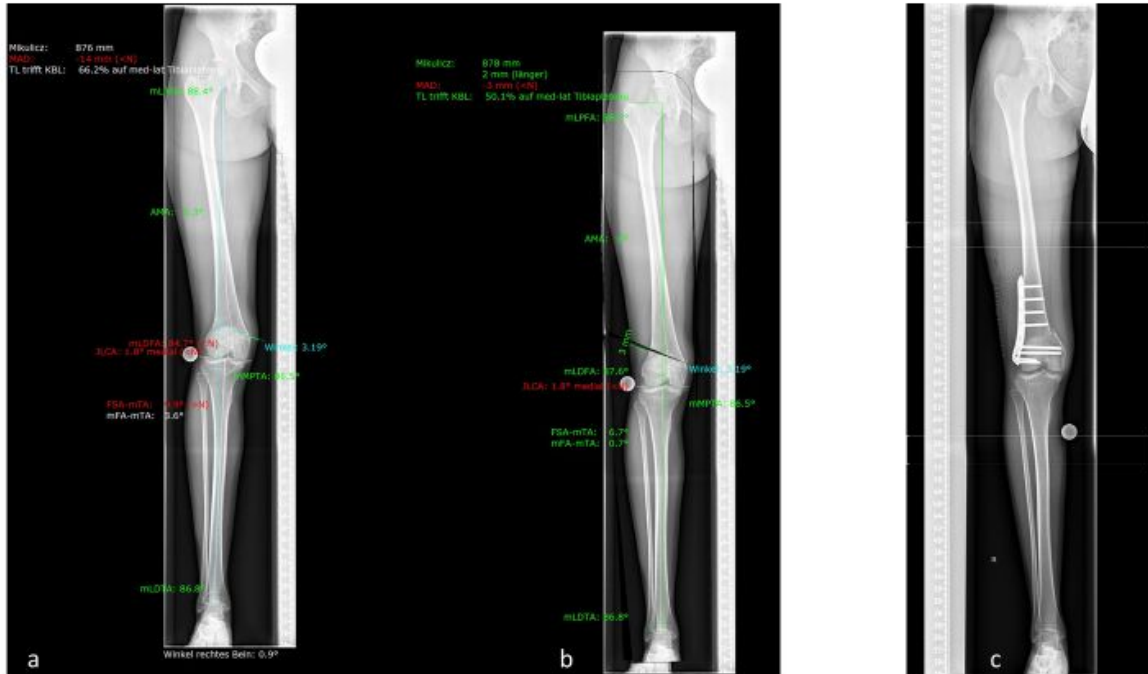


Abb. 17: Ganzbeinstandaufnahme bei **a** Valgusfehlstellung **b** Simulation der femoralen Korrekturosteotomie **c** postoperativ nach derotierender varisierender femoraler Umstellungsosteotomie

Vor Schluss der Epiphysenfugen werden statt derotierender und achskorrigierender Osteotomien alternativ Epiphysiodesen durchgeführt (83).

## 2 Fragestellung und Hypothesen der Arbeit

Trotz weitreichend publizierter Guidelines und guter klinischer Ergebnisse nach patellastabilisierenden Operationen zeigen sich in der klinischen Praxis nach wie vor hohe Fallzahlen von Rezidivinstabilitäten oder patellofemorale Schmerzen.

Ziel dieser Studie ist es, eine strukturierte Analyse der Ursachen für eine PFI oder PFS nach patellastabilisierenden Operationen mit der Notwendigkeit zur Revisionsoperation anhand eines klinisch repräsentativen Patientenkollektivs zu erstellen.

Unter Betrachtung der oben genannten Fragestellung gehen wir in unserer Arbeitshypothese davon aus, dass die nachfolgend genannten Ursachen gleichermaßen häufig Grund für einen erneuten stabilisierenden operativen Eingriff aufgrund einer Rezidivinstabilität oder patellofemorale Schmerzen oder die Kombination beider sind.

- unzureichende präoperative radiologische Diagnostik,
- mangelhafte Indikationsstellung für ein chirurgisches Verfahren,
- technische Fehler in der Umsetzung eines operativen Verfahrens,
- unzureichende Berücksichtigung von Begleitpathologien,
- Wachstumsbedingtes Neuauftreten von Begleitpathologien,
- adäquates Trauma,
- Implantatversagen

## 3 Material und Methoden

### 3.1 Patientenkollektiv

In einer retrospektiven Studie wurden alle Patienten, die im Zeitraum vom 01.07.2017 bis zum 30.11.2019 in einem spezialisierten Institut einer Revisionsoperation nach bereits erfolgtem patellastabilisierenden Eingriff unterzogen worden waren, untersucht.

Anhand folgender Ein- und Ausschlusskriterien erfolgte die Eingrenzung der Studienpopulation:

Einschlusskriterien:

- Der Patient stellte sich wegen einer PFI oder wegen eines PFS nach zuvor mindestens einmalig stattgehabter patellastabilisierender Operation desselben Kniegelenks vor.
- Der Patient litt primär an einer lateralen PFI.

Ausschlusskriterien:

- Fehlen der präoperativen MRT des betroffenen Kniegelenks.
- Nicht erhältlicher präoperativer klinischer Untersuchungsbefund bezogen auf die aktuelle Revisionsoperation.

Insgesamt wurden 35 Patienten (weiblich=25, männlich=10) innerhalb des o.g. Zeitraums mit einer patellofemorale Revisionsoperation aufgrund einer PFI oder PFS versorgt. Drei Patienten schieden auf der Basis der o.g. Ausschlusskriterien aus: Für zwei Patienten war die präoperative MRT vor Revisionseingriff nicht mehr erhältlich. Ein Patient hatte als präoperative Schnittbildgebung nur eine Computertomographie erhalten.

Zunächst wurden die präoperativen und intraoperativen Daten des eingeschlossenen Patientenkollektivs gesammelt. Die Datensammlung für jeden Patienten beinhaltete grundsätzlich die Auswertung der präoperativen MRT des betroffenen Kniegelenks, einen präoperativen ambulanten Bericht sowie den Operationsbericht der von oben genanntem Institut durchgeführten Revisionsoperation. Waren zusätzliche Befundberichte aus den vorangegangenen Stabilisierungsoperationen, die initiale radiologische Diagnostik vor

Ersteingriff oder eine erweiterte radiologische Diagnostik über die MRT-Aufnahme hinaus erhältlich, so wurden auch diese in der abschließenden Beurteilung berücksichtigt.

Analog zur üblichen Diagnostik bei PFI und PFS wurden die individuell verantwortlichen Pathologien systematisch ermittelt und ihnen nach einem zuvor festgelegten Algorithmus die Gründe für das Versagen der Operationen zugeordnet (s. 3.6.1.)

## **3.2 Anamneseerhebung und Erhebung der Basisdaten**

Die Anamneseerhebung erfolgte anhand der präoperativen Sprechstundenbriefe und anhand des Operationsberichts, welche der uns vorliegenden elektronischen Patientenakte entnommen wurden.

### **3.2.1 Demographische Daten**

Als demographische Merkmale wurden das Geschlecht, die Seitenlokalisierung der jeweils therapierten Kniegelenke, das Alter zum Zeitpunkt der Primäroperation sowie das Alter zum Zeitpunkt der aktuellen Revisionsoperation im Studienprotokoll vermerkt.

### **3.2.2 Anamnese**

Es wurde dezidiert nach Angaben über ein stattgehabtes Trauma als Grund für eine erneute PFI oder PFS nach operativem Eingriff gesucht und auf dem Studienprotokoll vermerkt.

Verweise oder Angaben bezüglich einer zusätzlichen radiologischen Diagnostik vor Primäreingriffen oder Besonderheiten hierüber wurden ebenfalls vermerkt.

### **3.2.3 Vorangegangene operative Eingriffe**

Es wurde die Anzahl und die Art der vorhergehenden patellastabilisierenden Operationen dokumentiert.

Die Art der operativen Eingriffe wurde folgenden zuvor festgelegten Kategorien zugeordnet:

- MPFL-Rekonstruktion mittels autologer Sehne
- MPFL-Rekonstruktion mittels artifiziellem Transplantat
- MPFL-Refixation

- Trochleoplastik
- Laterales Release
- Mediale Raffung
- Tuberositastransfer
- Laterale Retinakulumverlängerung
- Korrekturosteotomien
- Operation nach Goldthwait-Roux
- Operation nach Blauth
- Sonstige

### **3.3 Klinische präoperative Diagnostik vor Revisionsoperation**

Die Angaben über den klinischen Befund des betroffenen Kniegelenks wurden dem präoperativen Sprechstundenbrief entnommen. Der Untersuchungsgang war stets durch denselben Untersucher durchgeführt worden.

#### **3.3.1 Erguss**

Das Vorhandensein eines Gelenkergusses wurde durch den Test der sogenannten „Tanzenden Patella“ festgestellt (154). Bei entspannt liegendem Patienten wird zunächst mit der einen Hand von kranial kommend der Recessus suprapatellaris ausgestrichen und mit der anderen Hand die Patella auf das Femur gedrückt. Ein federnder Widerstand wird als pathologisch gewertet.

Dokumentiert wurde der Erguss als dichotome Variable „vorhanden“ oder „nicht vorhanden“.



Abb. 18: Untersuchung eines Gelenkergusses

### 3.3.2 Klinische Inspektion

Die klinische Inspektion war stets bei entkleideten unteren Extremitäten statisch im Beidbeinstand und dynamisch im Einbeinstand im Vergleich zur Gegenseite erfolgt (154). Dokumentiert wurde im Rahmen der Studie die Beinachse und -rotation in der Frontalansicht.

Die Beinachse wurde entweder als gerade und somit unauffällig oder als entsprechend pathologische Ausprägung „varisch“ oder „valgisch“ gewertet. Beide pathologischen Ausprägungen wurden zusätzlich in die zwei Abstufungen „leicht“ oder „deutlich“ unterteilt.

Eine „schielende Patella“ in der Ansicht von vorn ist hinweisgebend für eine vermehrte femorale Antetorsion (77). War das der Fall wurde dies als vermehrte Innenrotation angeführt.

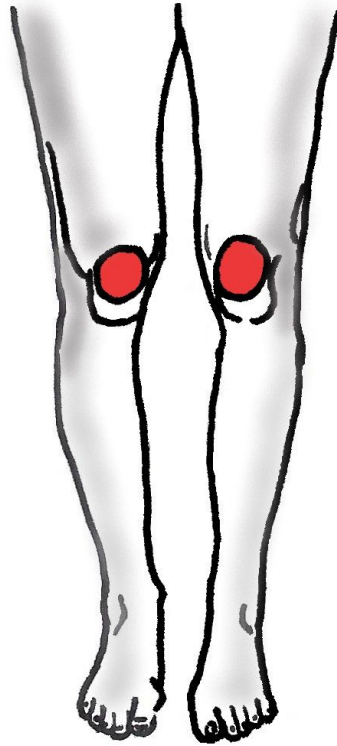


Abb. 19: Schielende Patella, Nach: Abb. 3.2.1a (77)

### 3.3.3 Bewegungsumfang

Die Beweglichkeit des Kniegelenks wird üblicherweise in der Extensions-Flexions-Ebene im Seitenvergleich ermittelt und nach der Neutral-Null-Methode erfasst (77). Die physiologische Extension liegt bei  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$ , die Flexion bei  $120^{\circ}$ - $150^{\circ}$  (154).

Dokumentiert wurde die passive Beweglichkeit qualitativ entweder als „freie Beweglichkeit“ oder bei entsprechend pathologischer Ausprägung als „Flexionsdefizit“ oder „Extensionsdefizit“.

### 3.3.4 Patella-Apprehension- und Mediolateraler Patellaverschiebetest

Der Patella-Apprehension-Test gilt als pathognomisch für eine symptomatische PFI (155). Hierbei wird die Patella bei entspanntem Quadrizepsmuskel in unterschiedlichen Beugegraden des Knies einer lateralisierenden Kraft ausgesetzt. Sobald die Patella die Nähe der Luxationsstellung erreicht, wird dies vom Patienten als unangenehm empfunden. Der Patient kontrahiert reflektorisch den Quadrizepsmuskel um der lateralisierenden Kraft entgegen zu wirken. Überprüft wird stets von der Flexion ausgehend in die Extension (155).

Der mediolaterale Patellaverschiebetest wird üblicherweise in 0° und 30° Knieflexion durchgeführt und dient der Beurteilung der Patellamobilität (154). Die Patella wird maximal nach lateral und nach medial verschoben. Als physiologisch wird eine symmetrische mediolaterale Mobilisierung bis maximal zwei Quadranten der Patella ohne Schmerzen oder Krepitationen angesehen. Eine Verschieblichkeit nach lateral um mindestens drei Patellaquadranten gilt als insuffiziente mediale Weichteilzügelung (154).



Abb. 20: Untersuchung auf laterale Instabilität in Extension



Abb. 21: Untersuchung auf Instabilität in 30° Flexion

Eine mediale Instabilität geht mit einer vermehrten medialen Dislokation bis hin zur Subluxation einher und kann mitunter von lateral auftretenden Schmerzen begleitet sein (154).



In Anlehnung an den Apprehension-Test wurde der Patellaverschiebetest auch in den Flexionsgraden 60° und 90° durchgeführt.

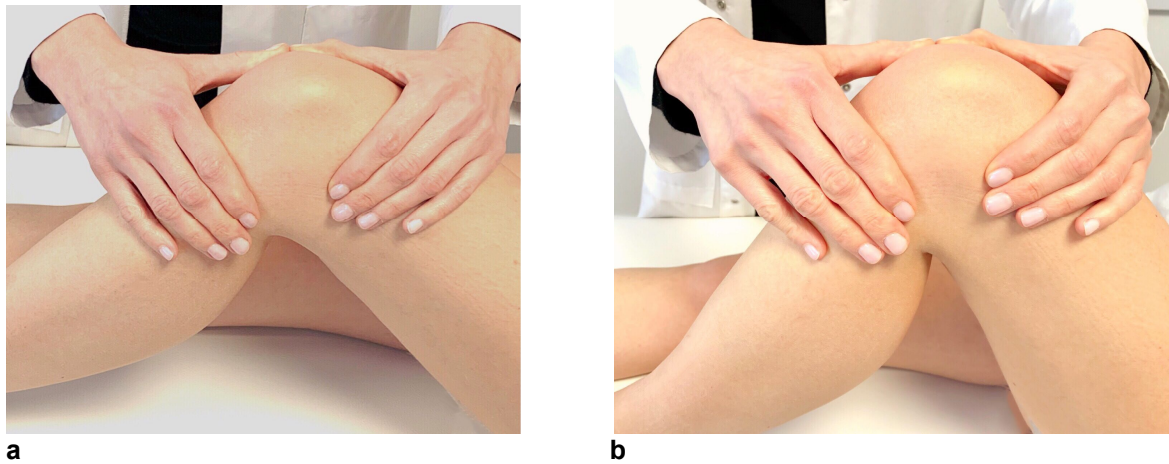


Abb. 22: Untersuchung auf Instabilität in **a** 60° Flexion **b** 90° Flexion

Dokumentiert wurde anhand der Ergebnisse aus beiden klinischen Tests zunächst der Bereich der Instabilität kategorisiert in

- Instabilität 0°-30°
- Instabilität 0°-60°
- Instabilität 0°-90°

sowie die Richtung der Instabilität in „lateral“, „medial“, „beidseits“ oder „keine“. Die Variable „keine“ war für Fälle mit hypomobiler Patella bestimmt.

### 3.3.5 Patellakompressionstest

Der Patellakompressionstest wird zur Untersuchung von patellofemorale Knorpelschäden oder Arthrose herangezogen (154). Der Patient liegt mit gestreckten Beinen auf einer Untersuchungsfläche. Der Untersucher hält mit einer Hand die Patella an beiden Facetten und drückt mit zwei Fingern die Patella in die Trochlea, während sie nacheinander nach medial und lateral verschoben wird (154). Retropatelläre Schmerzen oder Krepitationen werden als positiv gewertet und im Studienprotokoll als solche aufgeführt.



Abb. 23: Patellakompressionstest

### **3.4 Radiologische präoperative Diagnostik**

Die radiologische Diagnostik erfolgte anhand des präoperativen MRT der aktuellen Revisionsoperation. Anhand üblicher Klassifikationen und Indizes wurden Risikofaktoren und charakteristische Ausprägungen einer PFI ermittelt (s.u.).

Zudem wurden Besonderheiten, die der Patientenakte zu entnehmen waren, über eine vorhergehende radiologische Diagnostik auf den Dokumentationsbögen vermerkt.

#### **3.4.1 Patellahöhe**

Die Messung der Patellahöhe wird in der Literatur heterogen durchgeführt. Im europäischen Raum hat sich insbesondere die Methode nach Caton-Dechamps verbreitet (59). Ursprünglich wurde der Index für die seitliche Röntgenaufnahme entwickelt, ist aber ebenso auf die sagittale MRT-Bildebene anwendbar (156). Gemessen wird das Verhältnis zwischen der Länge der knorpeligen Patellarrückfläche und dem Abstand zwischen dem distalen Punkt der Patellagelenkfläche und dem antero-superioren Tibiaplateau (59). CDI-Werte  $>1,2$  entsprechen einer Patella alta, CDI-Werte  $<0,6$  einer Patella baja (59).



Abb. 24: Caton-Dechamp-Index (59) a Schematische Darstellung b Messung MRT sagittal

### 3.4.2 Trochleadysplasie

Das Mittel der Wahl zur Bestimmung der trochleären Dysplasie sind die axialen Schichten der MRT (78). In der Praxis hat sich die Beschreibung der Trochleamorphologie nach D. Dejour bewährt (62). Die Beurteilung erfolgt anhand des ersten axialen MRT-Bildes, das den vollständig mit Knorpel überdeckten trochleären Eingang darstellt. Unterteilt wird die Morphologie nach Schweregrad der Dysplasie aufsteigend von A bis D, wobei Typ B-D als höhergradige Dysplasie betrachtet wird (62).

Im Rahmen der Studie zeigte sich in einigen Fällen im Bereich der proximolateralen Trochlea ein knöcherner Überstand, sog. „Bump“, der zusätzlich vermerkt wurde (135).

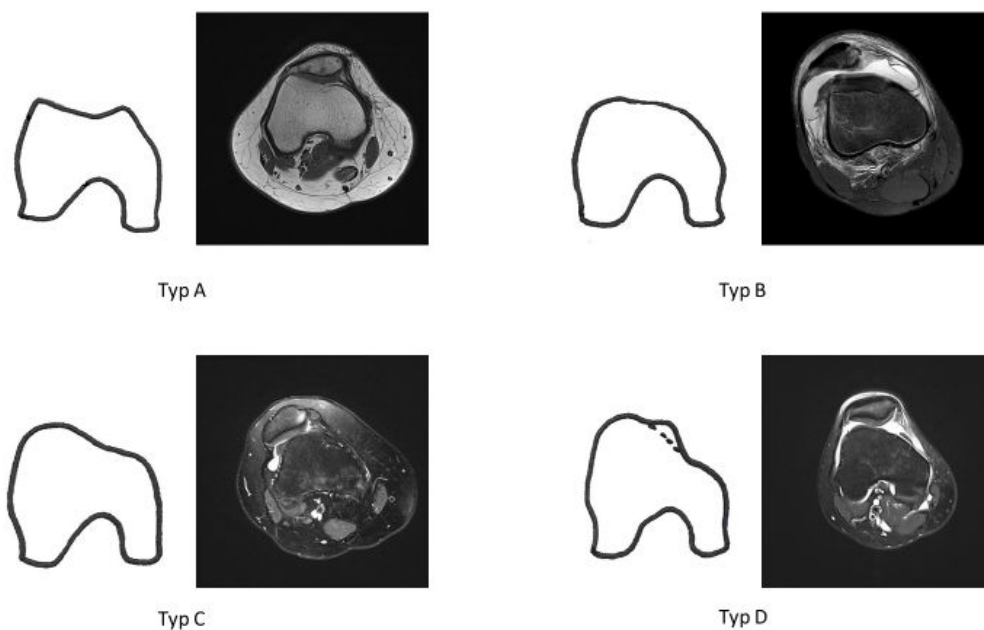


Abb. 25: Klassifikation der Trochleadysplasie nach D. Dejour (62)

### 3.4.3 TTTG-Abstand/TTTG-Index

Der TTTG-Abstand beschreibt die Distanz zwischen der Tuberositas tibiae und dem Sulcus trochlearis und damit den auf die Patella wirkenden lateralisierenden Kraftvektor (40).

Praktisch wurde die TTTG-Distanz nach folgendem Ablauf in der axialen Ebene ermittelt: Zunächst wurde eine Tangente an beide dorsale Femurkondylen im Sinne einer Hilfslinie gelegt, die die Kondylenebene markierte. Der erste Referenzpunkt wurde in der axialen Ebene gesetzt, in der erstmalig der gesamte Knorpel der Trochlea abgebildet war. In dieser Ebene wurde der tiefste Punkt der Trochlea aufgesucht und mittels orthogonaler Linie zur Kondylenebene eingezeichnet. Die zweite Referenz wurde in der axialen Schicht, die die Mitte der Tuberositas abbildete, erneut als Orthogonale auf die Hilfslinie gesetzt. Die Distanz zwischen beiden Orthogonalen ergibt den TTTG-Abstand.

Basierend auf der anatomisch-radiologischen Studie von Dejour et al. zur pathologischen Bedeutung des TTTG-Abstands auf die PFI werden derzeit folgende Grenzwerte angegeben (10):

TTTG-Abstand < 15mm	Normalbefund
TTTG-Abstand 15mm-20mm	Grenzbereich
TTTG-Abstand >20mm	Pathologischer Wert.

Bei einer Korrektur sollte versucht werden auf eine TTTG-Distanz von 10-15mm zu korrigieren, also eine Überkorrektur auf Werte <10mm zu vermeiden (137). Derartige überkorrigierte Werte nach Tuberositas-Transfer wurden in dieser Studie als technischer Fehler vermerkt.

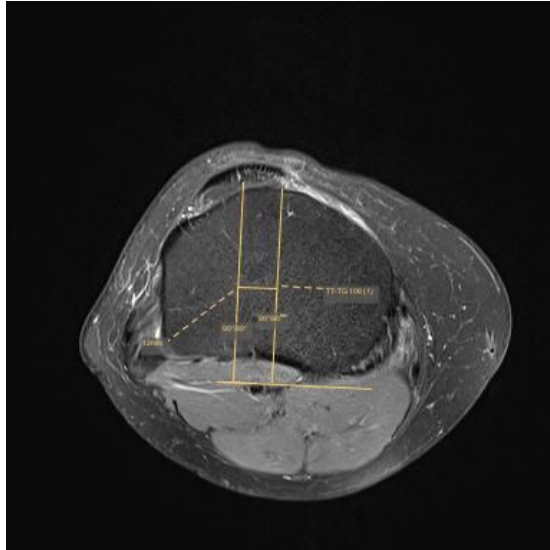


Abb. 26: TTTG-Messung anhand axialem MRT

Als Schwachpunkt des TTTG-Abstands gilt die mitunter schwierige Identifizierung des Sulcus bei dysplastischer Trochlea (42). Darüber hinaus sind die Grenzwerte in Form eines Absolutwerts als kritisch zu betrachten, da individuelle Einflussfaktoren, wie die Größe des Kniegelenks, nicht berücksichtigt werden (157).

Um einen relativen Wert zu erhalten, bietet sich der TTTG-Index nach Hingelbaum et al. an (157). Zusätzlich zum TTTG-Abstand wird die Strecke der knorpeligen Trochleaeingangsebene zum Ansatz der Patellarsehne an der Tuberositas tibiae gemessen (TTTE, Tuberositas-Tibiae-Tuberositas-Entrance-Abstand). Das Verhältnis  $TTTG/TTTE$  ergibt den TTTG-Index. Als pathologisch geben die Autoren einen Wert  $>0,23$  an.

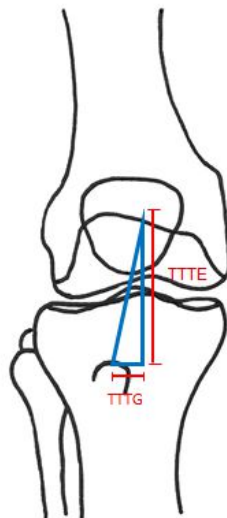


Abb. 27: Schematische Darstellung TTTG-Abstand und TTTE-Abstand zur Ermittlung des TTTG-Index

In der vorliegenden Untersuchung wurde bei Patienten mit einem TTTG-Abstand  $\geq 15\text{mm}$  eine zusätzliche Bestimmung des TTTG-Index durchgeführt.

#### 3.4.4 Patella-Tilt

Als Tilt wird die Abkipfung der Patella in der axialen Ebene bezeichnet (79).

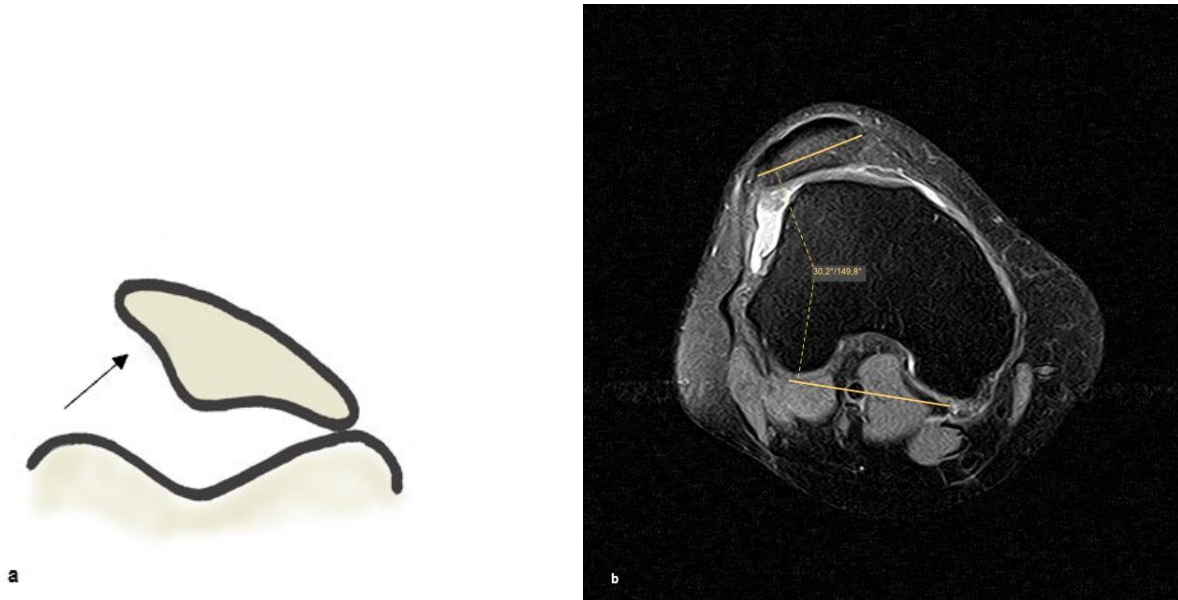


Abb. 28: Patella Tilt **a** Schematische Darstellung **b** Messung Winkel modifiziert nach Fulkerson et al. (158)

Wir verwendeten die Messung des Winkels modifiziert nach Fulkerson et al. auf der axialen Schnittbildebene (158). Hierbei wird eine Messlinie durch eine Tangente entlang der dorsalen Kondylenlinie erzeugt, eine zweite Messlinie durchkreuzt den medialen und lateralen Pol der Patella. Bei einem eingeschlossenen Winkel  $>20^\circ$  wird er als pathologisch betrachtet (78). Wir dokumentierten die gemessenen Winkel als absolute Werte.

Ein pathologisch veränderter Tilt wird als Insuffizienz der medialen Weichteilstrukturen angesehen. Er zeigt sich zudem vergrößert bei akutem Gelenkerguss, kontraktem lateralen Retinaculum, femoraler Innenrotation oder einer Dysplasie der Trochlea, sodass er am ehesten die Folge der o.g. pathologischen Veränderungen bei patellofemoraler Instabilität darstellt (78, 79).

### 3.4.5 Patella-Shift

Der Patella-Shift beschreibt die Patellaverschiebung in der axialen Schnittbildebene (79).

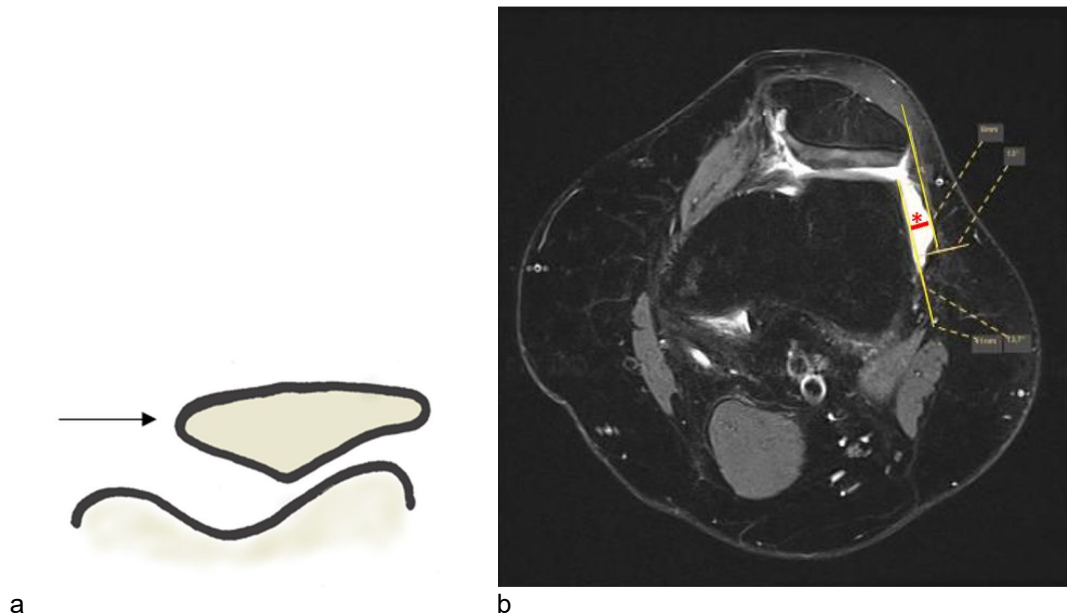


Abb. 29: Patella-Shift a Schematische Darstellung b Messung Lateralisierung nach Pfirrmann et al. (87)

In der Studie wurde die Lateralisierung der Patella nach Pfirrmann et al. bestimmt (87). Sie wird beschrieben durch den Abstand zwischen der Tangente an der femoralen lateralen Kondyle und ihrer Parallelen an der lateralsten Begrenzung der Patellafacette. Werte ab 6mm werden vermehrt bei Patienten mit Luxationen und auch bei dysplastischen Veränderungen beobachtet (78). In der Studie vermerkten wir den Patellashift als Absolutwert, wobei der Bezugspunkt auf der femoralen Tangente den Wert 0 annahm. Eine Verschiebung der patellären Tangente nach lateral ergab einen positiven, eine Verschiebung nach medial einen negativen Wert.

### 3.4.6 Beurteilung der Fixation nach MPFL-Rekonstruktion

Komplikationen, die nach MPFL-Rekonstruktion auftreten, sind nach derzeitigem Kenntnisstand am häufigsten mit technischen Fehlern während des operativen Eingriffs assoziiert (24, 159). Die Schwierigkeit liegt darin, die physiologischen Gegebenheiten zu berücksichtigen, um eine exakt anatomische MPFL-Rekonstruktion durchführen zu können (64).

Die Fehlerquellen können sowohl in der patellären als auch in der femoralen Transplantatfixation liegen (64).

Das MPFL inseriert physiologischerweise im proximalen Drittel der medialen Patellakante (48). Für die Fixation an entsprechender Lokalisation sind unterschiedliche Verankerungstechniken bekannt (160). Für alle Techniken gilt, dass eine Perforation des ventralen oder dorsalen Patellakortex zu vermeiden ist, da die Gefahr eines patellofemoralen Knorpelschadens, einer Fraktur, eines „Blowout“ des Transplantats oder mechanischer Irritationen durch die Implantate besteht (64). Wird das Implantat nur knapp subchondral eingebracht, so kann es zu einer Migration nach intraartikulär und zu den bereits genannten Komplikationen führen. Ein versehentliches Einbringen der Implantate in die distale Quadrizepssehne führt zu postoperativen Schmerzbeschwerden und einer fehlerhaften muskulären Ansteuerung (64).

Eine symptomatische patelläre Fehlpositionierung wurde in der Studie als „nicht anatomisch“ zu der sonst „anatomischen“ Fixation deklariert. Beurteilt wurde die patelläre Fixation anhand der sagittalen MRT-Schichten beginnend am medialen Patellakortex über die vollständige mediolaterale Patellausdehnung.

Eine von der Anatomie abweichende femorale Insertion führt zu unphysiologischen Transplantatspannungen (22, 115). Die damit einhergehende erhöhte patellofemorale Druckbelastung äußert sich klinisch durch Schmerzbeschwerden sowie ein Bewegungsdefizit und birgt das Risiko von Knorpelschäden und akzellerierter Arthroseentstehung (22). Die anatomische femorale Insertionsstelle, beschrieben und bekannt geworden als „Schöttle-Punkt“, befindet sich in der seitlichen Röntgenaufnahme des Kniegelenks in der Verlängerung der posterioren femoralen Kortikalis zwischen dem proximalen Ansatz des medialen Femurkondylus und dem posteriorsten Punkt der Blumensaat-Linie (161, 162). Analog zur Röntgendiagnostik ist auch eine Beurteilung mittels sagittaler MRT-Schichten möglich. Für die Beurteilung der korrekten Fixation in der MRT projizierten wir den kortikalen Eintrittspunkt des MPFL auf die sagittalen Schichten, die die charakteristischen Orientierungsstrukturen des Schöttle-Punkts abbildeten. In der Studie wurde eine femorale Fehlpositionierung als „nicht anatomisch“ deklariert.



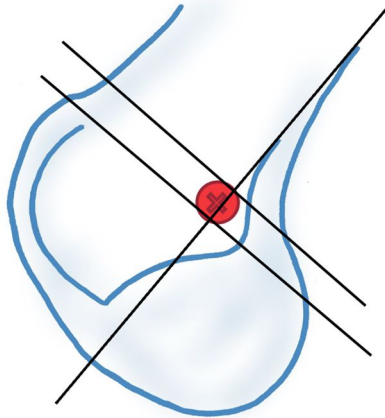


Abb. 30: Anatomische femorale Insertion



Abb. 31: Anatomische patelläre Insertion

### 3.5 Intraoperative Befunderhebung

Die intraoperativen Befunde wurden dem Operationsbericht der zuletzt im Institut durchgeführten Revisionsoperation entnommen. Alle Revisionsoperationen waren durch denselben Operateur durchgeführt und dokumentiert worden.

#### 3.5.1 Narkoseuntersuchung

Die Untersuchung unter Narkose bietet den Vorteil, dass ein muskuläres Gegenspannen des Patienten ausgeschaltet wird, was insbesondere bei ängstlichen Patienten nach rezidivierenden Luxationen zusätzliche Informationen liefern kann. Zusätzlich zur präoperativen klinischen Diagnostik wurde für diese Studie der Umfang und die Richtung der Instabilität aus dem Operationsbericht entnommen.

Die Dokumentation erfolgte in der gleichen Weise wie bereits in der präoperativen klinischen Diagnostik (s. Kapitel 3.3.4.).

Zusätzlich wurde die intraoperative Untersuchung zur abschließenden Entscheidungsfindung über die Durchführung einer Tuberositasmialisierung bei Instabilität in den hohen Flexionsgraden und Trochleadysplasie verwendet. War es möglich, die Patella manuell zu medialisieren und in dieser Position über den vollständigen Bewegungsumfang zu halten, so wurde vom Operateur auf einen additiven Tuberositastransfer verzichtet.

### 3.5.2 Knorpelstatus

Die genaueste Methode zur Evaluierung des intraartikulären Knorpelstatus ist die arthroskopische Untersuchung (163).

Anhand der makroskopischen Beobachtung des Operateurs wurde der Schweregrad von Knorpelläsionen nach der vierstufigen Outerbridge-Klassifikation evaluiert und getrennt nach retropatellär und trochleär dokumentiert (164). Bei Mehrfachangaben zu einer Lokalisation wurde in der Studie stets der höhere Schweregrad berücksichtigt.

Grad 0	Normalbefund
Grad 1	Erweichung und Schwellung des Knorpels mit intakter Oberfläche
Grad 2	Partieller Defekt der Oberfläche mit Fissuren, erreicht den subchondralen Knochen nicht
Grad 3	Tiefer Defekt oder Ulzerationen mit instabilen Rändern, erreicht den subchondralen Knochen nicht
Grad 4	Vollschichtiger Knorpelverlust mit Freilegung des subchondralen Knochens

Abb. 32: Outerbridge Klassifikation zur Einteilung von Knorpelschäden (165)

## 3.6 Ursachenanalyse

### 3.6.1 Konzept der Ursachenanalyse

Die Beurteilung der Ursache einer PFI oder PFS nach patellastabilisierendem Eingriff erfolgte individuell für jeden Patienten nach derzeit anerkannten wissenschaftlichen Standpunkten und geltenden Empfehlungen zur Therapie der Patellaerstluxation und der Patellarezidivluxation.

Folgende sieben ursächlichen Gründe wurden festgelegt, die nach Analyse jedes Falls dem jeweiligen Patienten zugeordnet wurden, wobei auch Mehrfachnennungen berücksichtigt wurden.

- unzureichende präoperative radiologische Diagnostik
- mangelhafte Indikationsstellung für ein chirurgisches Verfahren
- technische Fehler in der Umsetzung eines operativen Verfahrens
- unzureichende Berücksichtigung von Begleitpathologien
- Wachstumsbedingtes Neuauftreten von Begleitpathologien
- adäquates Trauma
- Implantatversagen

### 3.6.2 Entscheidungspfad zur Ursachenanalyse

Die Ursachenzuschreibung wurde nach einem festgelegten Ablauf für jeden Patienten separat vorgenommen.

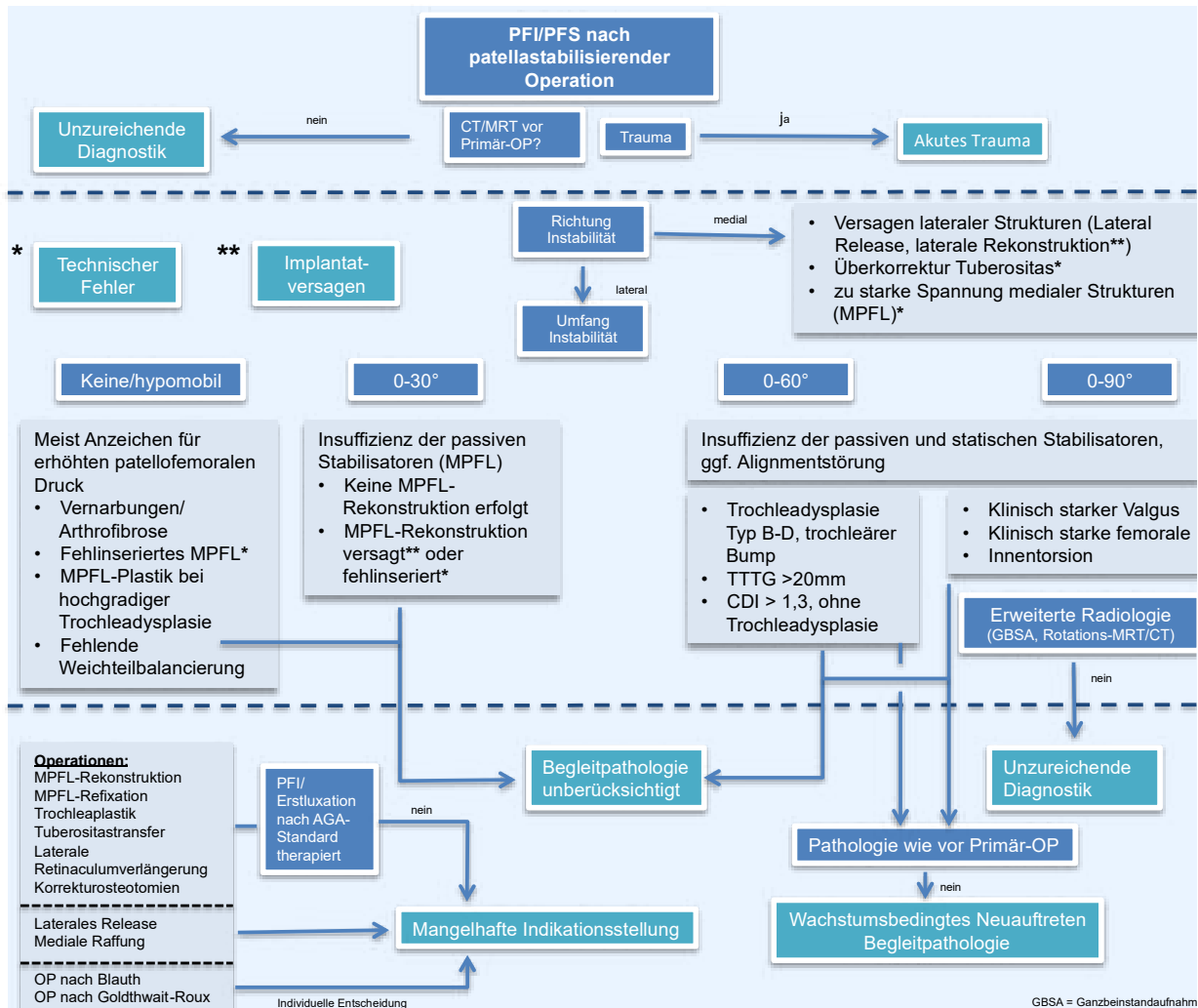


Abb. 33: Entscheidungspfad zur Ursachenzuschreibung

Mit Hilfe der anamnestischen Daten wurde zunächst recherchiert, ob ein akutes Trauma vorgelegen hatte, das ursächlich für eine erneute Instabilität oder Schmerzen war und eine Revisionsoperation erforderte.

Des weiteren wurde nach Details zur Primärdiagnostik, die vor den Primäreingriffen durchgeführt worden war, gesucht. Hinweise hierzu wurden entweder den Sprechstundenbriefen entnommen oder die radiologischen Bilder waren in der Patientenakte hinterlegt. Waren statt einer Schnittbildgebung (MRT/CT) ausschließlich Röntgenaufnahmen des Kniegelenks durchgeführt worden oder war gänzlich auf eine

Bildgebung verzichtet worden, so wurde dies in die Studie als unzureichende präoperative radiologische Diagnostik aufgenommen.

Im nächsten Schritt wurde die Richtung der Instabilität festgestellt. Ausschlaggebend waren die Angaben der präoperativen und intraoperativen Untersuchung. Bei Diskrepanzen wurde dem intraoperativen Befund eine höhere Gewichtung beigemessen. Mit dem Wissen um die Einschlusskriterien in die Studie konnte eine Instabilität nach medial nur konsekutiv durch einen operativen Eingriff entstanden sein. Unter dem Aspekt, dass die lateralen Strukturen ebenso zur Stabilisierung der Patella nach medial beitragen, wurde eine mediale Instabilität nach stattgehabtem Lateral Release aufgrund der bewussten Durchtrennung der Stabilisatoren nicht als technischer Fehler betrachtet. Vielmehr galt die Verwendung eines Lateral Release insgesamt als mangelhafte Indikationsstellung für ein operatives Verfahren. Die technische Durchführung einer lateralen Retinakulumverlängerung kann retrospektiv nicht abschließend beurteilt werden, sodass eine mediale Instabilität in diesem Fall als Versagen des operativen Verfahrens angesehen wurde. Bestand eine mediale Instabilität nach Tuberositastransfer, so wurde dies bei einer Überkorrektur des TTTG  $<10\text{mm}$  als technischer Fehler gewertet. Gleiches gilt für eine mediale Instabilität nach MPFL-Rekonstruktion.

Die Patienten mit einer lateralen oder einer kombinierten Instabilität zu beiden Seiten ordneten wir in die bereits bekannten drei Gruppen, die das Ausmaß der Instabilität in unterschiedlichen Flexionsgraden widerspiegeln ( $0^\circ\text{-}30^\circ$ ,  $0^\circ\text{-}60^\circ$ ,  $0^\circ\text{-}90^\circ$ ). Ergänzt wurde eine vierte Gruppe, in der sich die Patella hypomobil zeigte.

Eine hypomobile Patella ist in der Regel Ausdruck eines erhöhten patellofemoralen Drucks aufgrund einer pathologisch veränderten Physiologie. In diesen Fällen wurde anhand der Voroperationen und der radiologischen Daten auf das Problem geschlossen. Denkbar waren technische Fehler wie die Fehlinsertion eines MPFL oder das Verbleiben von Begleitpathologien wie einer hochgradigen Trochleadysplasie nach MPFL-Plastik oder nicht adressierte laterale Weichteilverkürzungen, die wiederum eine nicht berücksichtigte Begleitpathologie darstellten.

Bei einer Instabilität in den ersten Flexionsgraden musste davon ausgegangen werden, dass bisher keine Rekonstruktionen der medialen passiven Weichteilstrukturen (MPFL) erfolgt (Begleitpathologie nicht adressiert) oder die Rekonstruktion nicht regelhaft (technischer Fehler) war, das Implantat versagt hatte oder im Fall einer MPFL-Naht diese nicht indiziert/suffizient war.

Bei Instabilitäten bis zu 60° und 90° muss davon ausgegangen werden, dass sowohl passive als auch statische Stabilisatoren oder sogar eine Alignmentstörung nicht berücksichtigt wurden. Als pathologisch wurden in diesen Flexionsgraden eine hochgradige Trochleadysplasie mit oder ohne proximolateralen Bump, ein TTTG-Abstand >20mm und eine Patella alta bei einem CDI >1,2 (ohne bestehende Trochleadysplasie) gewertet. Im Falle von grenzwertigen TTTG-Abständen bezogen wir uns bei der Entscheidung über die Indikation für einen Tuberositastransfer auf den intraoperativ erhobenen Untersuchungsbefund (s. Kapitel 3.5.1.). Waren die Pathologien in den vorherigen Operationen nicht berücksichtigt worden, so ergab sich eine „unzureichende Berücksichtigung von Begleitpathologien“.

Bei Patienten, deren Ersteingriff während der Wachstumsphase durchgeführt worden war, wurde bedacht, dass sich im Verlauf des Wachstums knöcherne Pathologien erst noch ergeben oder verstärken können. Dies gilt insbesondere für die Trochleadysplasie, die sich im Verlauf des Knochenwachstums in ihrer Ausprägung noch verändern kann (166), sodass initial möglicherweise keine Indikation zur Operation bestanden hatte („wachstumsbedingtes Neuauftreten von Begleitpathologien“). War die initiale radiologische Diagnostik zugänglich, so wurde die Ausprägung der Pathologie mit aktuellen Aufnahmen verglichen.

In den Fällen mit klinisch apparenter starker Valgusstellung oder starker femoraler Innentorsion hätten im Vorfeld Ganzbeinstandaufnahmen oder eine Rotationsvermessung durchgeführt werden müssen. Waren derartige Aufnahmen anamnestisch nicht angefertigt worden, so wurde eine unzureichende Diagnostik attestiert.

Abschließend wurden noch einmal die bisher durchgeführten stabilisierenden Operationen begutachtet. Entsprach ihre Verwendung nicht dem von der AGA vorgegeben Standard für eine Patellaerstluxation oder eine Rezidivluxation, so bestand eine mangelhafte Indikationsstellung. Die Mediale Raffung und das Lateral Release gelten nach dem Standard der AGA und aufgrund ihrer durch Studien belegten klinischen Ergebnisse gegenüber anderen Behandlungsformen als unterlegen und daher nicht indiziert. Ihre Verwendung wurde per se als mangelhafte Indikationsstellung dokumentiert.

### 3.7 Statistische Auswertung

Die Daten wurden tabellarisch in dem Programm Microsoft® Excel® 2011 Version 14.2.0 erfasst und anschließend in das Statistik-Paket IBM® SPSS® Statistics 25 überführt.

Die statistische Auswertung erfolgte nach Beratung durch das Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charité – Universitätsmedizin Berlin.

#### 3.7.1 Deskriptive Statistik

Es wurde zunächst eine deskriptive Zusammenfassung der Daten mittels deskriptiver univariater Statistik entsprechend ihrer Merkmalsausprägung erstellt (167):

- Qualitative Daten (Variablen mit kategorialer Merkmalsausprägung) wurden in Häufigkeitstabellen aufgelistet und mittels absoluter und relativer Häufigkeit sowie dem Modalwert numerisch beschrieben. Die graphische Darstellung erfolgte über Balkendiagramme (167).
- Quantitative Daten (Variablen mit metrischer Merkmalsausprägung) wurden numerisch durch Häufigkeiten, Lagemaße (Mittelwert, Median, Modalwert), Streuungsmaße (Spannweite, Varianz, Standardabweichung, Quartile) beschrieben und auf Normalverteilung (Schiefe, Kurtosis) getestet. Graphisch wurden sie durch Balkendiagramme oder Boxplott-Diagramme dargestellt (167).

#### 3.7.2 Induktive Statistik

Zur Ermittlung einer signifikanten Korrelation zwischen nominalskalierten, unabhängigen Variablen verwendeten wir den Chi-Quadrat-Test aus zuvor erstellten Kreuztabellen (168). Um sinnvolle und überschaubare Werte zu erhalten, wurden die Daten zuweilen zweckmäßig gruppiert. Entstand hierdurch der Vergleich zweier dichotomer Variablen, so wurde im Fall von Erwartungshäufigkeiten kleiner 5 der Exakte Test nach Fisher verwendet (168).

Der Korrelationstest nach Pearson als Test auf einen linearen Zusammenhang zwischen zwei stetigen normalverteilten Variablen wurde unter der Voraussetzung einer bivariaten Normalverteilung und dem Fehlen von Ausreißern zur Korrelation von TTTG-Abstand und TTTG-Index verwendet (168).

Ein p-Wert  $<0,05$  wurde als signifikant betrachtet.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Patientenkollektiv

Im Zeitraum vom 01.07.2017 bis zum 30.11.2019 wurde bei 35 aufgrund einer erneuten oder persistierenden PFI oder PFS nach bereits stattgehabter patellastabilisierender Operation ein Revisionseingriff durchgeführt. Angesichts der Ausschlusskriterien schieden drei Patienten aus der Studie aus, sodass die Gesamtstudienpopulation 32 Patienten betrug.

#### 4.1.1.1 Demographische Daten

In dem Patientenkollektiv machten die weiblichen Patienten einen Anteil von 71,9% (n=23), die männlichen entsprechend 28,1% (n=9) der Studienpopulation aus. Dies entspricht einem Verhältnis (m/w) von ca. 1:2,6.

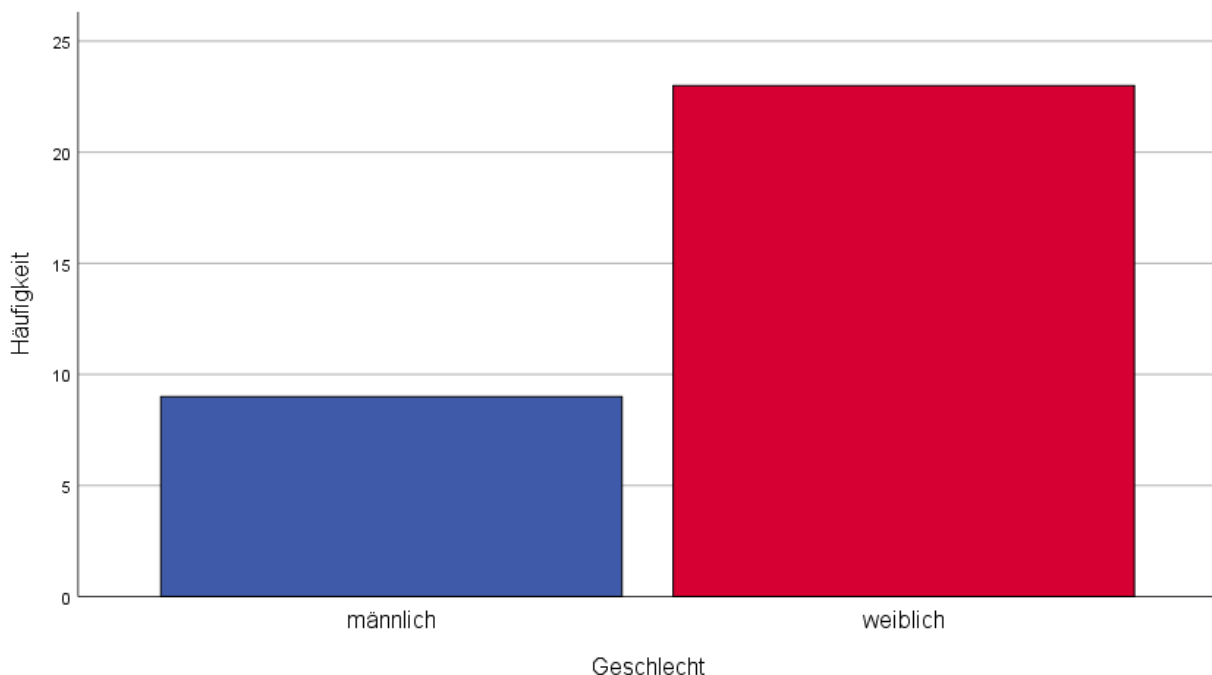


Abb. 34: Geschlechterverteilung des Patientenkollektivs

Das Alter zum Zeitpunkt der Primäroperation betrug im Durchschnitt 18,2 Jahre mit einer Spannweite von 11 bis 43 Jahre, wobei der Modalwert bei 14 Jahren (n=10) lag. Im

gesamten Patientenkollektiv waren zu diesem Zeitpunkt 62,5% (n=20) jünger als 18 Jahre alt, 18,8% (n=6) zwischen 18 und 30 Jahre und 6,3 % (n=2) älter als 30 Jahre alt.

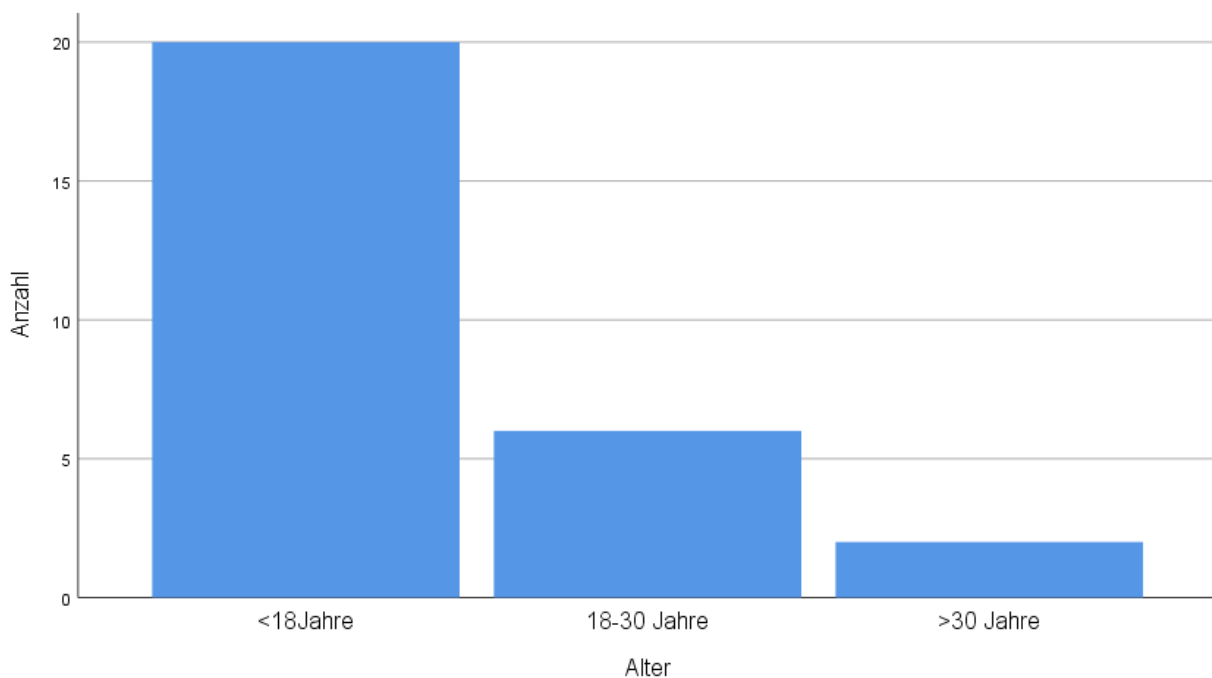


Abb. 35: Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Primäroperation nach Altersgruppen

Die männlichen Patienten waren zum Zeitpunkt der Primäroperation mit durchschnittlich 16,6 Jahren (Spannweite 11-25 Jahre) jünger als das weibliche Kollektiv mit 18,9 Jahren (Spannweite 11-43 Jahre), wobei bei den Frauen zwei Ausreißerinnen ( $n_1=29$  Jahre,  $n_2=33$  Jahre) und eine extremer Ausreißerin ( $n_3=43$ Jahre) zu verzeichnen waren.

Das Durchschnittsalter zum Zeitpunkt der aktuellen Revisionsoperation stieg auf 27,3 Jahre (Spannweite 14-50Jahre) an, wobei der größte Anteil des Gesamtkollektivs mit 40,6% (n=13) älter als 30 Jahre war. 21,9% (n=7) waren jünger als 18 Jahre, 37,5% (n=12) zwischen 18 und 30 Jahre alt.



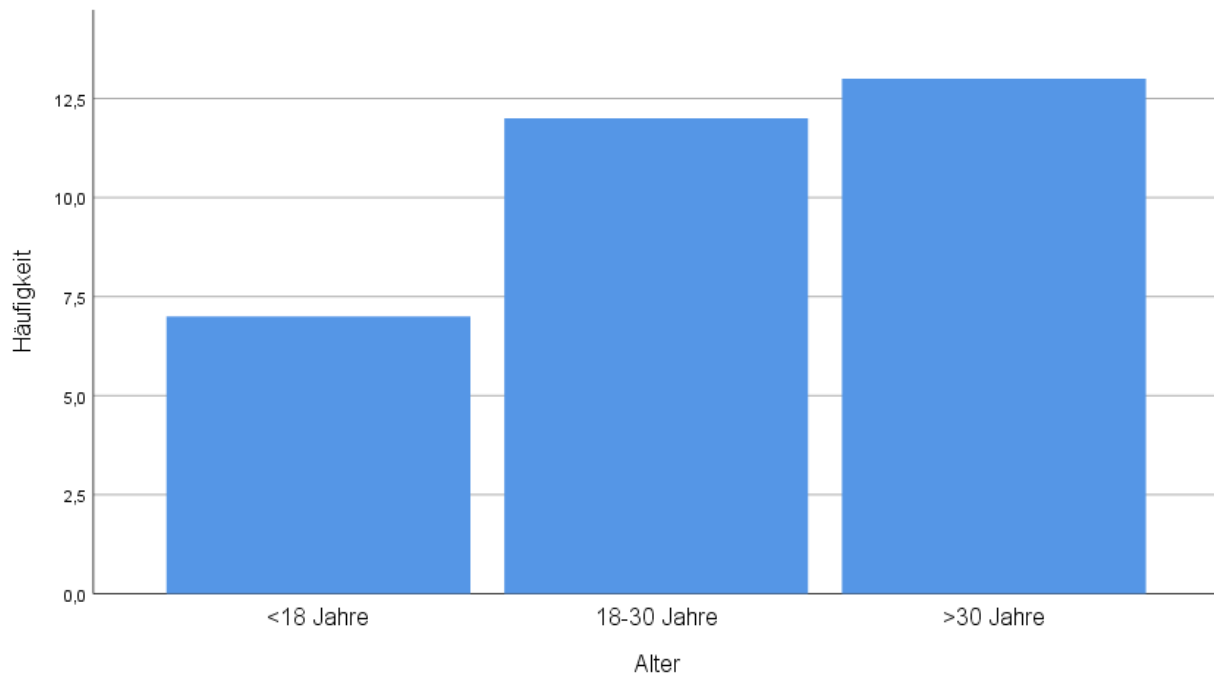


Abb. 36: Alter der Patienten zum Zeitpunkt der letztmaligen Revisionsoperation nach Altersgruppen

Während der Altersdurchschnitt innerhalb der männlichen Population nur gering auf 21,1 Jahre anstieg, so stieg dieser bei den weiblichen Patienten von Primär- zu letztmaliger Revisionsoperation auf 29 Jahre an. Auch die Spannweite zeigte sich mit 35 Jahren in der weiblichen Kohorte deutlich größer (Spannweite der männlichen Patienten: 22 Jahre).

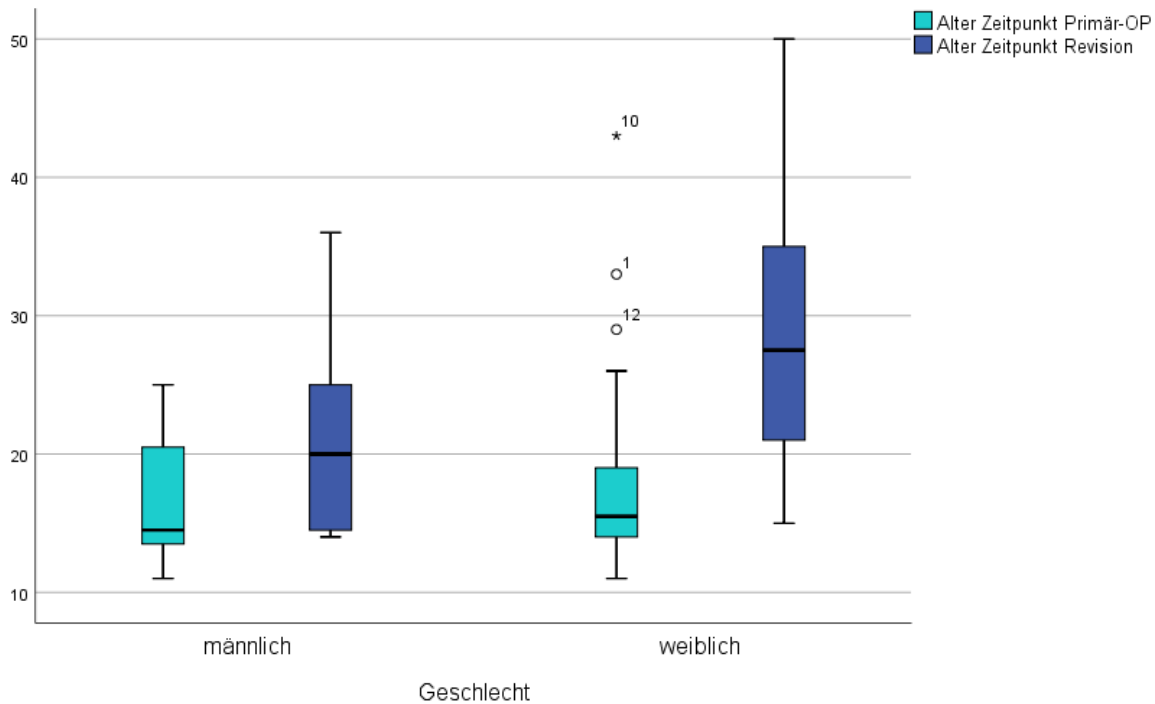


Abb. 37: Geschlechtsabhängige Altersverteilung des Patientenkollektivs

#### 4.1.2 Vorangegangene operative Eingriffe

Die eingeschlossenen Fälle bildeten die Therapie von 10 rechten und 22 linken Kniegelenken ab.

Von den insgesamt 32 Patienten war in der Vergangenheit bereits bei 71,9% (n=23) einmalig, bei 15,6% (n=5) zweimalig und bei 12,5% (n=4) dreimalig ein operativer Eingriff zur Patellastabilisierung durchgeführt worden. Zuweilen waren innerhalb einer Operation unterschiedliche Stabilisierungsmethoden kombiniert worden. Die am häufigsten angewandten Operationsmethoden waren die Mediale Raffung (n=18, 31,0%) und die MPFL-Rekonstruktion mittels Sehnentransplantat (n=15, 25,9%). Die Mediale Raffung wurde bei einem Patienten 3mal vorgenommen.

	MPFL-Reko Sehne	MPFL-Reko FiberTape	MPFL-Reko Refix	MPFL-Trochleapl.	Lat. Release	Med. Raffung	Tub. Transf.	Lat. Reko	Goldthwait-R.	Blauth	Osteotomie	Sonst
N	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Gültig	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Fehlend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Summe</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Tab. 1: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden gesamt (Reko=Rekonstruktion, Refix=Refixation, Trochleapl=Trochleoplastik, Lat. Release = Lateral Release, Med. Raffung=Mediale Raffung, Tub. Transf.=Tuberositas Transfer, Goldthwait-R.=Goldthwait- Roux, Sonst=Sonstige)

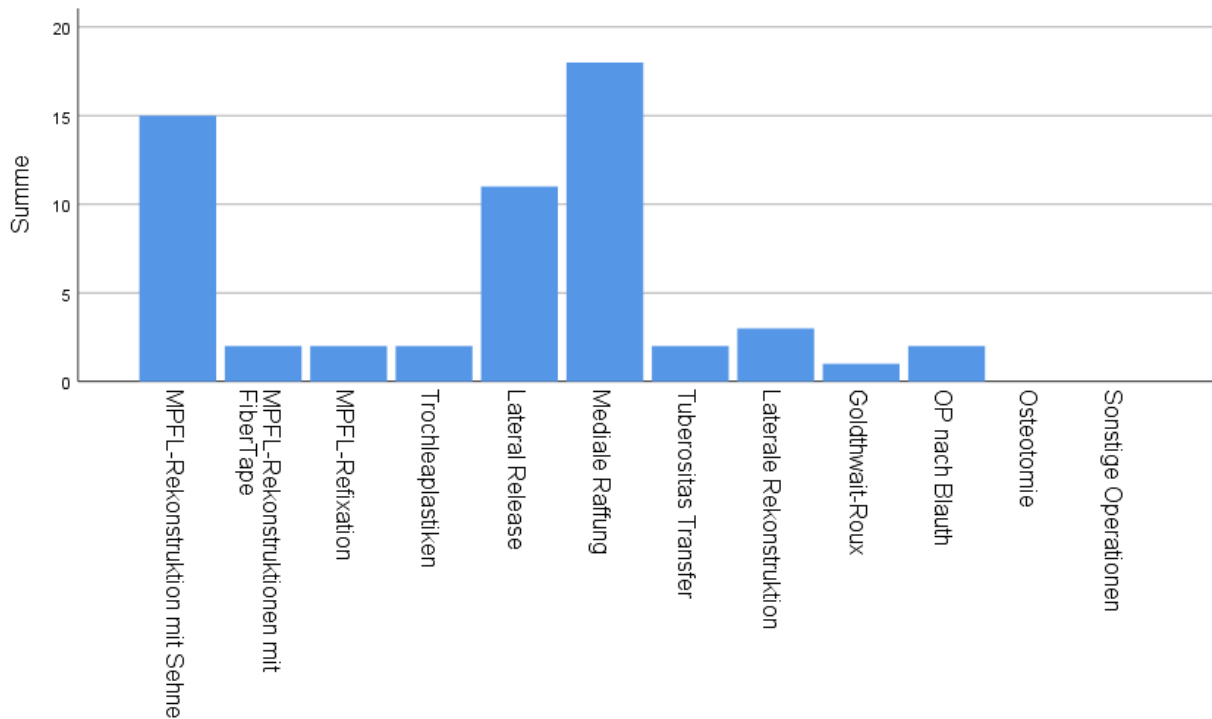


Abb. 38: Absolute Häufigkeiten der angewandten Operationsmethoden

Die Gesamtzahl der MPFL-Eingriffe betrug 19 (32,8%). Neben den 15 Rekonstruktionen mittels Sehnentransplantat wurde in zwei Fällen (3,5%) eine Rekonstruktion mittels FiberTape® und weiteren zwei Fällen (3,5%) eine MPFL-Refixation durchgeführt. Als Sehnentransplantat wurde 13mal eine Gracilissehne und in jeweils einem Fall die Quadrizeps- oder Adduktorensehne verwendet. Bei drei Patienten wurde die MPFL-Rekonstruktion an ein und demselben Patienten wiederholt vorgenommen.

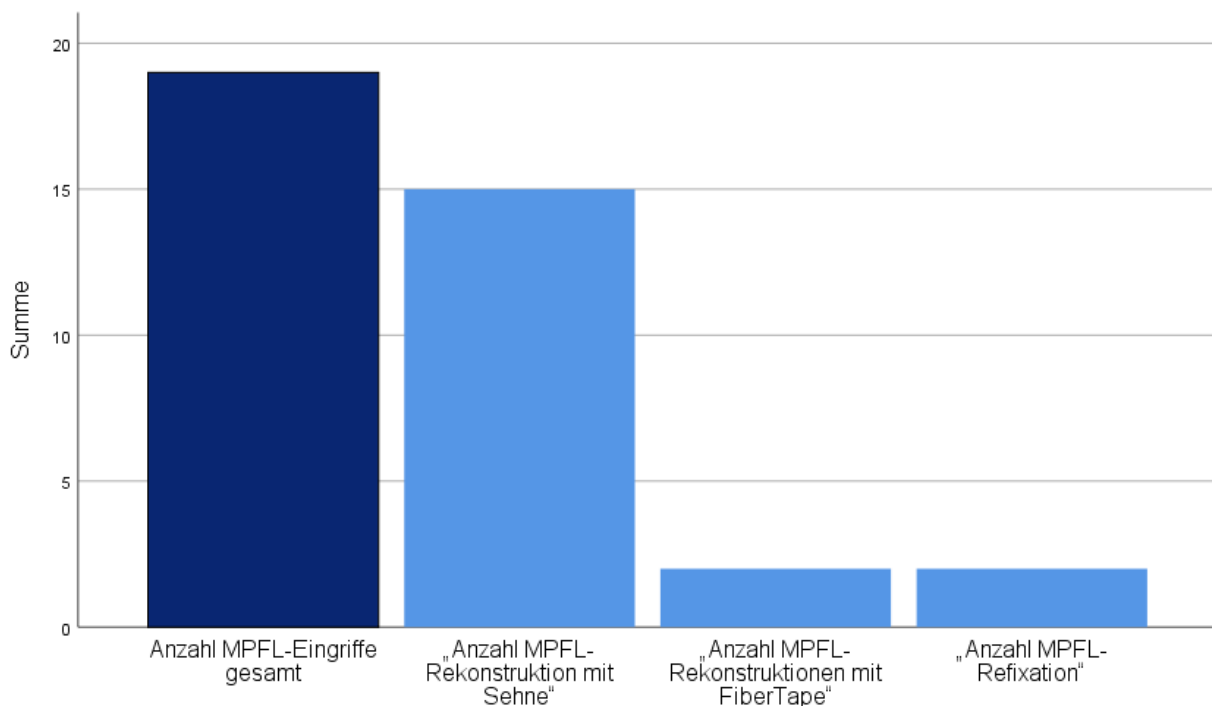


Abb. 39: Verteilung absoluter Häufigkeiten der MPFL-Eingriffe

Das ebenfalls häufig angewandte Lateral Release wurde in elf Fällen (19,0%), hierunter bei einem Patienten auch wiederholt, durchgeführt, während die laterale Rekonstruktion dreimal (5,1%) Anwendung fand.

Eine Trochleoplastik, ein Tuberositas-Transfer oder die Operation nach Blauth wurden jeweils zweimal (3,5%) durchgeführt, die Methode nach Goldthwait-Roux in einem Fall (1,7%). Femurosteotomien wurden in dem Patientenkollektiv nicht verwendet.

In dem Patientenkollektiv mit ausschließlich einer Voroperation (n=23) zeigte sich im Vergleich zum Gesamtkollektiv eine ähnliche Häufigkeitsverteilung der Operationsmethoden, mit der Medialen Raffung (n=10, 34,5%), der MPFL-Rekonstruktion mittels Sehnentransplantat (n=6, 20,7%) und dem Lateral Release (n=6, 20,7%) als häufigste Operationsverfahren.

		MPFL- Reko Sehne	MPFL-Reko FiberTape®	MPFL- Refix	Trochleapl. Trochleaplastik	Lat. Release	Med. Raffung	Tub. Transf.	Lat. Reko	Goldth wait- R.	Osteo- tomie	Sonst
N	Gültig	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	Fehlend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe		<b>6</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>

Tab. 2: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden bei einer Voroperation (Reko=Rekonstruktion, Refix=Refixation, Trochleapl=Trochleaplastik, Lat. Release = Lateral Release, Med. Raffung=Mediale Raffung, Tub. Transf.=Tuberositas Transfer, Goldthwait-R.=Goldthwait- Roux, Sonst=Sonstige)

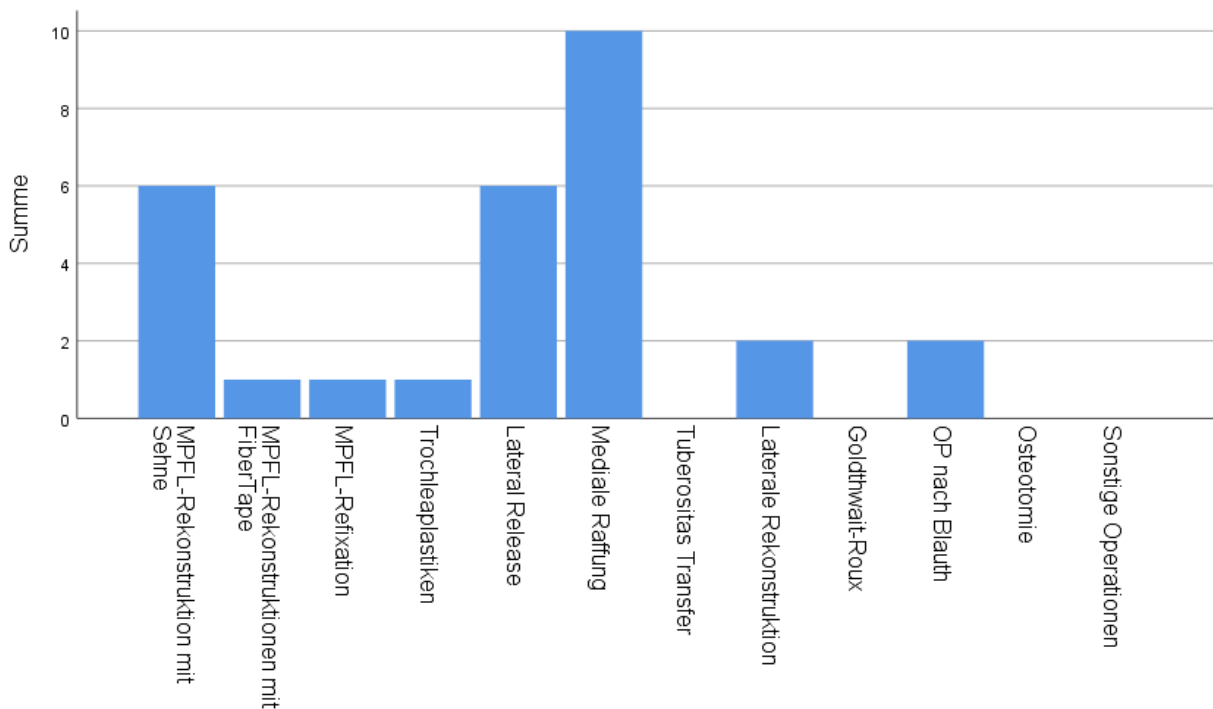


Abb. 40: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden der Patienten mit einer Voroperation

Da in dem Patientenkollektiv mit einer Voroperation das Alter bei Primär- und Revisionsoperation eindeutig zuzuordnen war, lässt sich zudem eine altersabhängige Verteilung der Operationsmethoden herausarbeiten. In der Altersgruppe unter 18 Jahren dominieren bei Primäroperationen insbesondere die reinen Weichteileingriffe Mediale Raffung (n=7, 30,4%) und Lateral Release (n=4, 17,4%), während die MPFL-Plastik mittels Sehne mit der Notwendigkeit einer Knochenbohrung im Bereich der distalen Femurepiphyse mit 8,7% (n=2) weniger Anwendung findet. Die Operationsmethode nach Blauth als Verfahren zur PF-Stabilisierung bei noch offenen Wachstumsfugen wurde in beiden Fällen bei Patienten jünger als 18 Jahre angewendet. In dem Patientenkollektiv ab 18 Jahren wurde die MPFL-Rekonstruktion mittels Sehnentransplantat am häufigsten

durchgeführt (n=5, 21,7%) und entsprach dem Anteil des Gesamtpatientenkollektivs. Bei drei Patienten waren keine Altersangaben erhältlich.

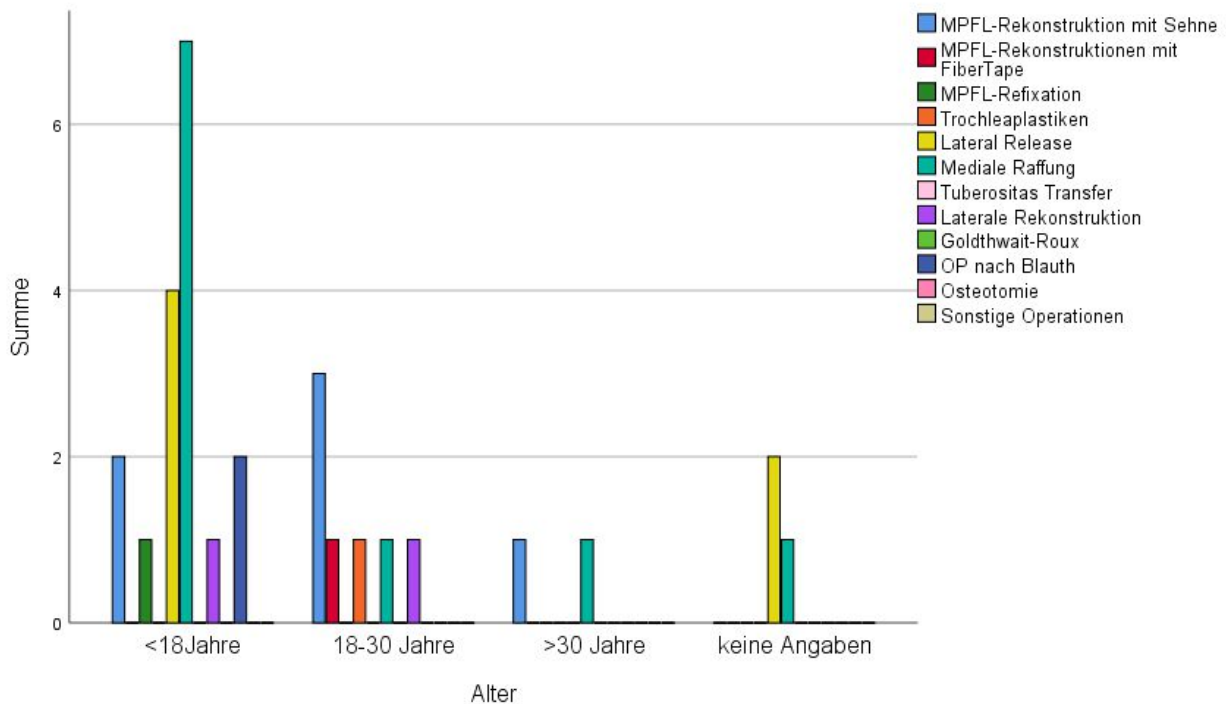


Abb. 41: Operationsmethoden altersgruppiert von Patienten mit einem Revisionseingriff

In dem Patientenkollektiv mit zwei Voroperationen (n=5) wurde die MPFL-Rekonstruktion mittels Sehnentransplantat am häufigsten verwendet (n=4, 33,3%) und bildete einen vergleichsweise größeren Anteil im Vergleich zum Gesamtkollektiv. Bei einem Patienten wurde diese Technik wiederholt durchgeführt. Weitere häufige Methoden waren auch hier die Mediale Raffung (n=3, 25%) und das Lateral Release (n=2, 16,7%) sowie der Tuberositas Transfer (n=2, 16,7%). Die Goldthwait-Roux-Operation war in diesem Kollektiv einmalig vertreten.

		MPFL-Reko	MPFL-Reko	MPFL-		Lat.	Med.	Tub.	Lat.	Goldth		Osteo-	
		Sehne	FiberTape®	Refix	Trochleapl.	Release	Raffung	Transf.	Reko	wait-	Blauth	tomie	Sonst
N	Gültig	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Fehlend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe		4	0	0	0	2	3	2	0	1	0	0	0

Tab. 3: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden der Patienten mit zwei Voroperationen  
 (Reko=Rekonstruktion, Refix=Refixation, Trochleapl=Trochleaplastik, Lat. Release = Lateral Release, Med. Raffung=Mediale Raffung, Tub. Transf. =Tuberositas Transfer, Goldthwait-R.=Goldthwait- Roux, Sonst=Sonstige)

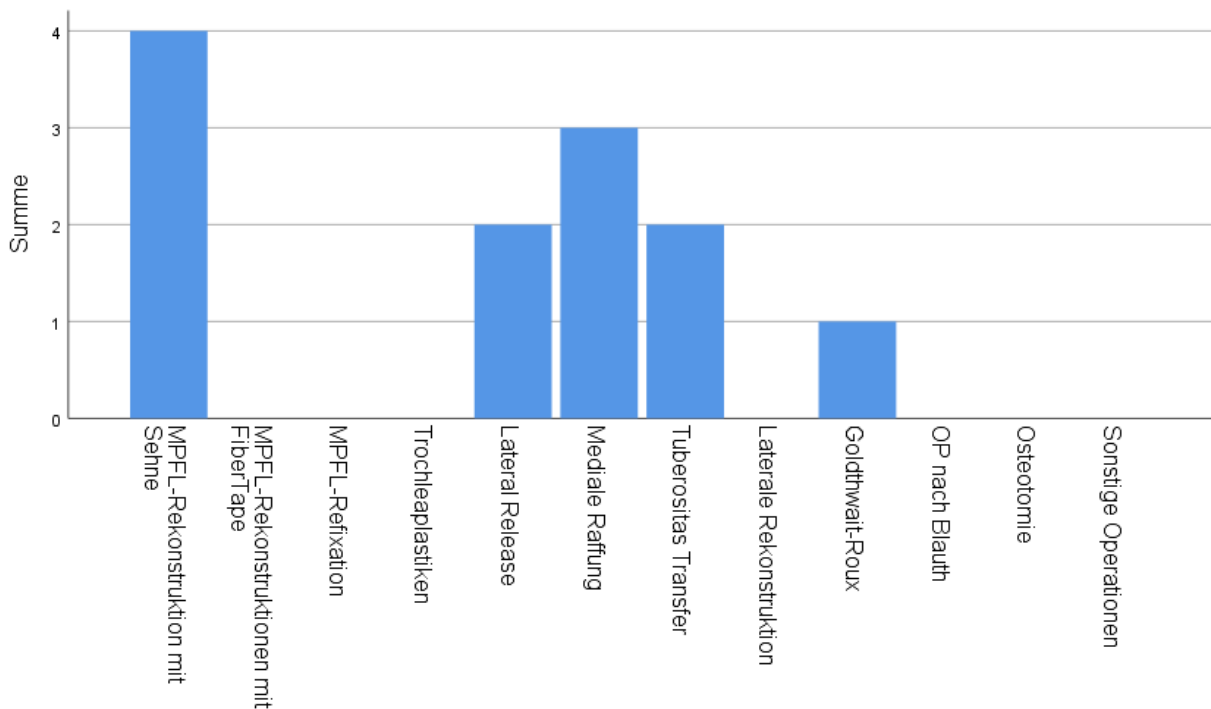


Abb. 42: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden der Patienten mit zwei Voroperationen

In dem Patientenkollektiv mit drei Voroperationen (n=4) dominierten erneut die MPFL-Rekonstruktion mittels Sehne (n=5, 29,4%) gemeinsam mit der Medialen Raffung (n=5, 29,4%) und dem Lateral Release (n=3, 17,6%). Hierbei fand erneut die MPFL-Sehnenrekonstruktion, aber auch das Lateral Release in einem Patientenfall wiederholte Anwendung. Die Mediale Raffung wurde in einem Patientenfall sogar dreimalig durchgeführt. Die weiteren einmal genannten Operationsmethoden Trochleaplastik, Laterale Rekonstruktion und die MPFL-Rekonstruktion mittels FiberTape® waren in Kombination bei ein und demselben Patienten durchgeführt worden.

		MPFL-Reko	MPFL-Reko FiberTape®	MPFL-Refix	Trochleapl.	Lat. Release	Med. Raffung	Tub. Transf.	Lat. Reko	Goldthwait-R.	Blauth	Osteotomie	Sonst
N	Gültig	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Fehlend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Summe		5	1	1	1	3	5	0	1	0	0	0	0

Tab. 4: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden der Patienten mit drei Voroperationen  
(Reko=Rekonstruktion, Refix=Refixation, Trochleapl=Trochleaplastik, Lat. Release = Lateral Release, Med.Raffung=Mediale Raffung, Tub. Transf.=Tuberositas Transfer, Goldthwait-R.=Goldthwait- Roux, Sonst=Sonstige)

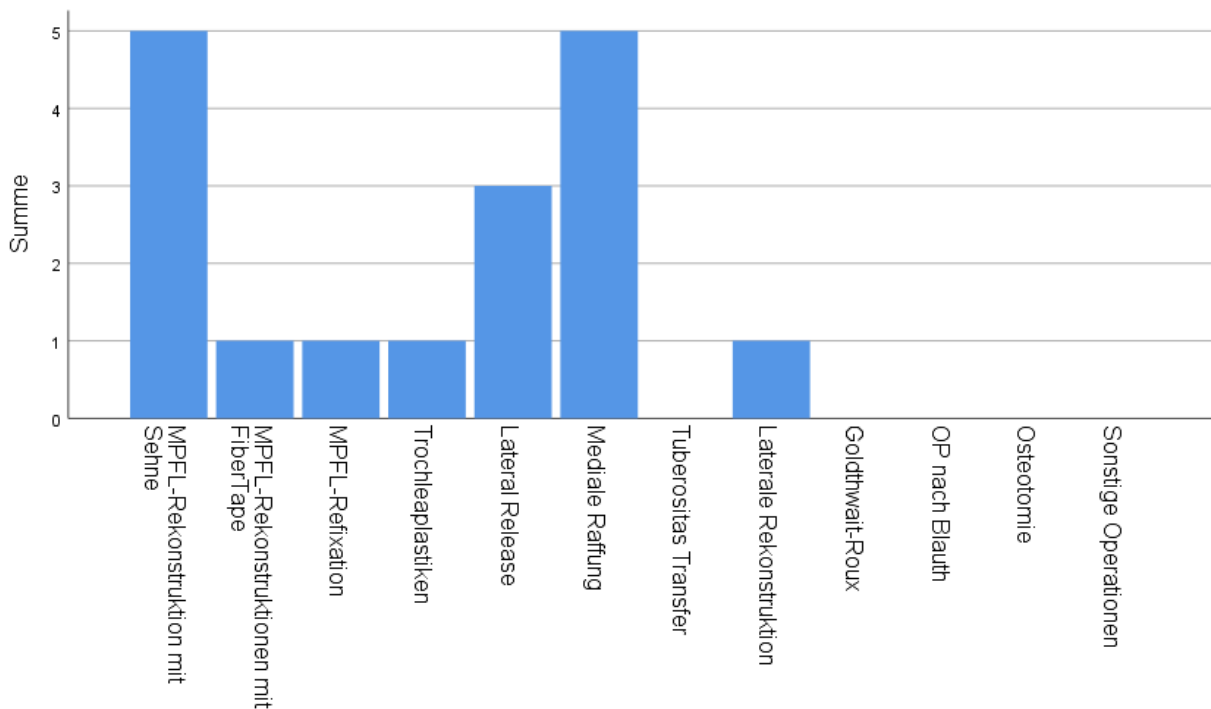


Abb. 43: Absolute Häufigkeiten der Operationsmethoden der Patienten mit drei Voroperationen

## 4.2 Klinische präoperative Diagnostik vor Revisionsoperation

### 4.2.1 Ergussbildung

Bei fünf Patienten (15,6%) wurde präoperativ ein Kniegelenkserguss festgestellt. Die jeweiligen Voroperationen und zugrundeliegenden Pathomorphologien bei diesen Patienten zeigten sich insgesamt inhomogen. Es bestand keine Signifikanz hinsichtlich des Auftretens eines Kniegelenksergusses bei einem patellären ( $p=0,975$ ) oder trochleären ( $p=0,648$ ) Knorpelschaden, wobei diese Aussage bei der geringen Fallzahl von fünf Patienten mit einem bestehenden Kniegelenkserguss nur eingeschränkt betrachtet werden kann.



#### 4.2.2 Klinische Inspektion

Ein Patient (3,1%) zeigte inspektorisch eine starke und somit klinisch relevante valgische Beinachse, sechs Patienten (18,8%) eine leicht valgische Achse. Es bestand kein geschlechtsspezifischer signifikanter Zusammenhang hinsichtlich einer valgischen Beinachse.

Eine inspektorisch leichte oder starke Innenrotation des Beins wurde bei jeweils einem (3,1%) Patienten beobachtet.

#### 4.2.3 Bewegungsumfang

Ein Flexionsdefizit bestand bei sechs Patienten (18,8%), ein Extensionsdefizit bei vier Patienten (12,5%). Für das gemeinsame Auftreten beider Formen eines Bewegungsdefizits bestand keine statistische Signifikanz ( $p=0,304$ ). Zudem bestand keine Signifikanz hinsichtlich eines Flexionsdefizits ( $p=0,679$ ) oder Extensionsdefizits ( $p=0,217$ ) bei fehlplatziertem femoralen MPFL. In zwei Fällen wurde bei bestehendem Flexionsdefizit eine derartige Fehlplatzierung registriert, in einem Fall eine patelläre Fehlplatzierung. Bei vier Patienten bestand eine nicht-adressierte hochgradige Trochleadysplasie Typ C-D. Bezüglich eines Extensionsdefizits sahen wir bei drei Patienten eine hochgradige Trochleadysplasie.

#### 4.2.4 Patella-Apprehension- und Mediolateraler Patellaverschiebetest

In der präoperativen Untersuchung war die Patella bei drei Patienten (9,4%) hypomobil, bei neun Patienten (28,1%) zeigte sie eine Instabilität in den ersten Flexionsgraden  $0^{\circ}$ - $30^{\circ}$ . In 16 Fällen (50,0%) bestand eine Instabilität von  $0^{\circ}$ - $60^{\circ}$  und in vier Fällen (12,5%) von  $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$ .

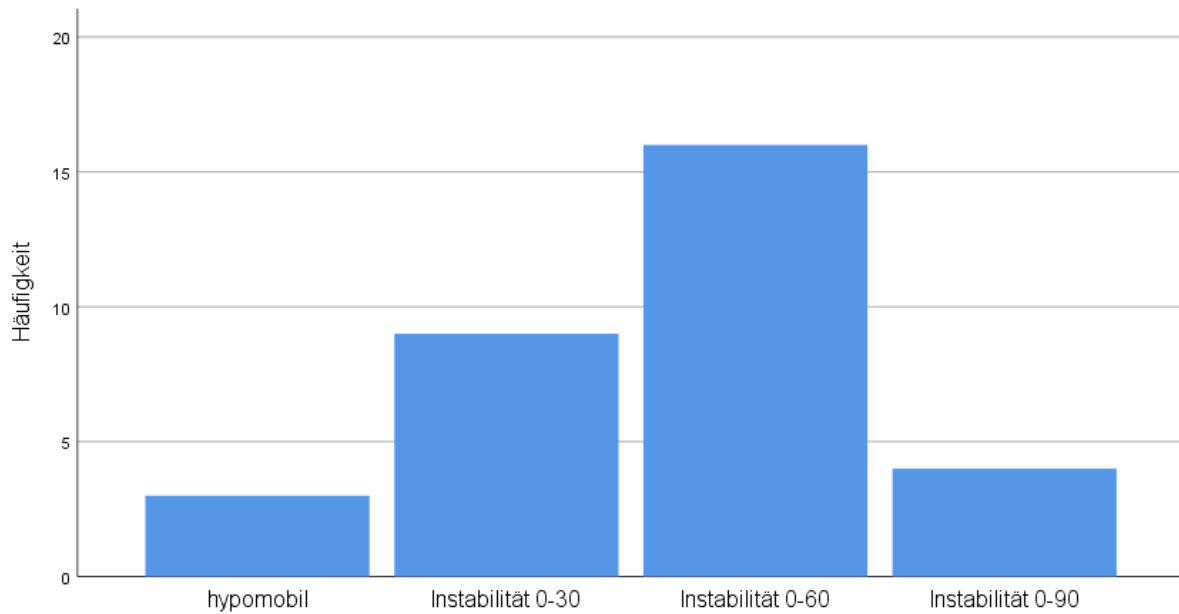


Abb. 44: Häufigkeiten einer Patellainstabilität nach Flexionsgraden

Analog zeigte sich auch bei der Analyse der Richtung der Instabilität bei drei Patienten (9,4%) eine hypomobile Patella. Bei 25 Patienten (78,1%) bestand eine laterale Instabilität, bei drei Patienten (9,4%) eine Instabilität nach medial und bei einem Patienten (3,1%) eine kombinierte Instabilität zu beiden Seiten.

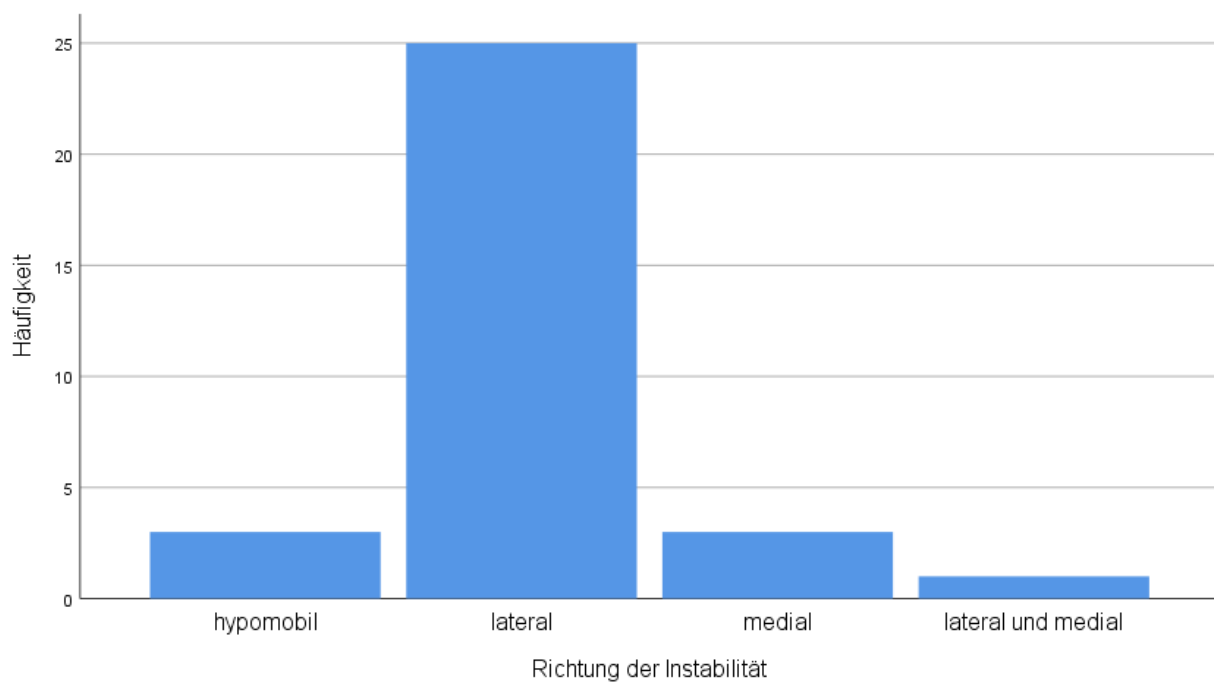


Abb. 45: Richtung der Patellainstabilitäten präoperativ

In die Studie wurden ausschließlich Patienten mit einer initial lateralen Instabilität eingeschlossen. Da wir in der klinischen Untersuchung vor letztmaliger Revisionsoperation bei vier Patienten (12,5%) eine mediale Instabilität detektierten, konnte diese ausschließlich sekundär entstanden sein. Gemeinsam mit den Patienten, die in der gleichen Untersuchung eine hypomobile Patella aufwiesen, war bei insgesamt 7 Patienten (21,9%) von einer iatrogen induzierten pathologischen Instabilität auszugehen.

#### 4.2.5 Patellakompressions-Test

Ein positiver Patellakompressions-Test wurde präoperativ bei elf Patienten festgestellt. Hierunter beklagten fünf (15,6%) ausschließlich Schmerzen, zwei Patienten (6,3%) Krepitationen und vier Patienten (12,5%) eine Kombination aus beiden Symptomen.

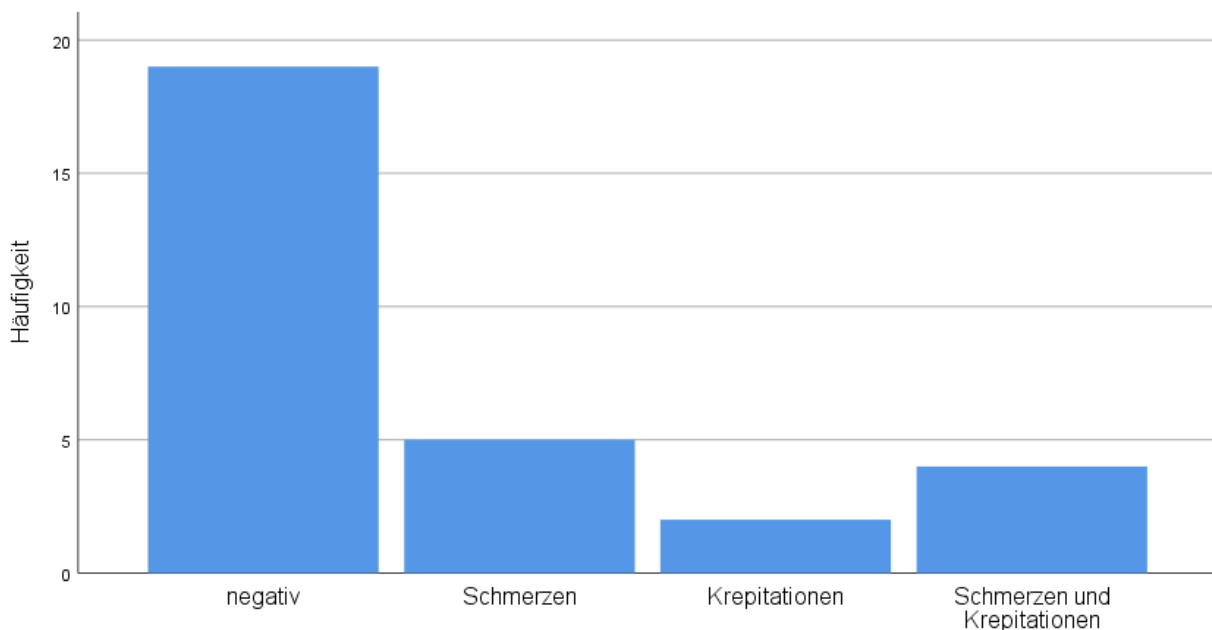


Abb. 46: Ergebnisse des Patellakompressions-Tests

Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen einem positiven Patellakompressions-Test und einem retropatellären Knorpelschaden ( $p=0,041$ ). Diese Signifikanz wurde erst nach Gruppierung des Knorpelschadens in Kategorie 1 „Geringgradiger Knorpelschaden“ (Outerbridge 0-2) und Kategorie 2 „Hochgradiger

Knorpelschaden“ (Outerbridge 3-4) erreicht. Ein signifikanter Zusammenhang zu einem trochleären Knorpelschaden bestand nicht.

### 4.3 Radiologische präoperative Diagnostik

#### 4.3.1 Patellahöhe

Die durchschnittlich ermittelte Patellahöhe mittels Caton-Dechamp-Index betrug 1,138 (Minimum 0,9, Maximum 1,4) bei einem Modalwert von 1,2. Bei 29 Patienten (90,6%) bestand eine normwertige Patellahöhe, bei drei Patienten (9,4%) stand die Patella nach Definition pathologisch erhöht.

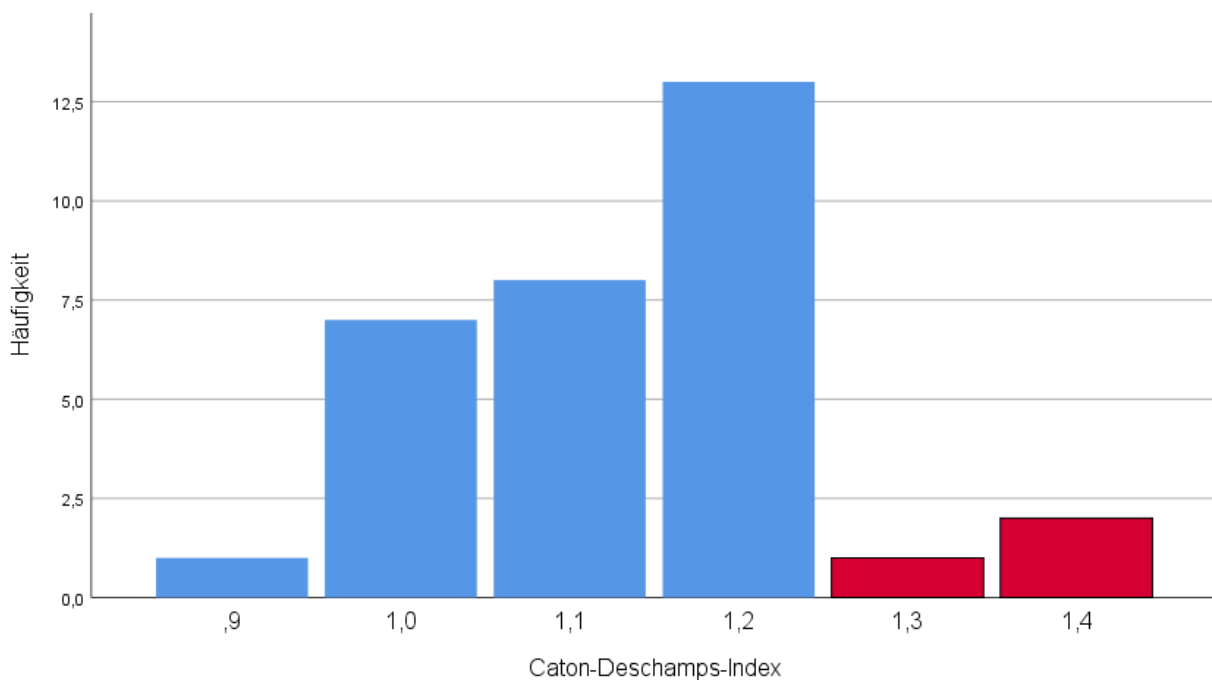


Abb. 47: Ergebnisse Bestimmung des Caton-Dechamp-Index

Jeder dieser drei Patienten zeigte darüber hinaus unterschiedliche Ausprägungen einer Trochleadysplasie. Während wir in einem Fall eines CDI-Index=1,4 eine Typ-B-Dysplasie attestierten, so sahen wir in den verbliebenen zwei Fällen eine hochgradige Dysplasie Typ B-C mit posterolateralem Bump oder Typ C. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang ließ sich insbesondere durch die geringe erwartete Häufigkeit innerhalb der Kreuztabellen bedingt durch die reduzierte Patientenzahl mit pathologischer Ausprägung nicht ermitteln.

### 4.3.2 Trochleadysplasie

In zwei Patientenfällen (6,3%) stellten wir keine Trochleadysplasie fest, bei 29 Patienten (90,6%) hingegen sahen wir eine Dysplasie unterschiedlicher Schweregrade in folgender Verteilung: Typ A vier Patienten (12,5%), Typ B sieben Patienten (21,9%), Typ B-C mit proximolateralem Bump fünf Patienten (15,6%), Typ C zehn Patienten (31,3%), Typ D vier Patienten (12,5%).

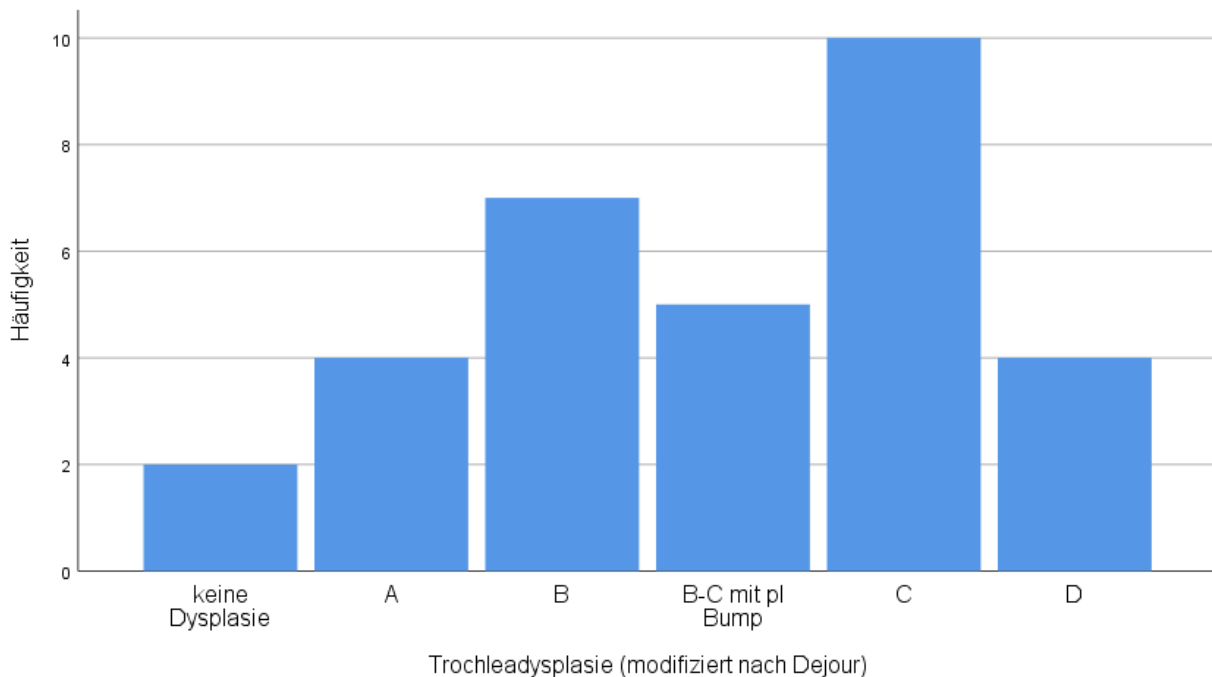


Abb. 48: Ergebnisse Bestimmung des Ausmaßes einer Trochleadysplasie (modifizierte Klassifikation nach Dejour)

Da die klinische Ausprägung der Dysplasie für die Therapie maßgeblich ist, ermittelten wir die Patienten mit einer präoperativ dokumentierten Patellainstabilität in einem Bewegungsausmaß von entweder 0°-60° oder 0°-90°. Eine Trochleadysplasie Typ A bestand erwartungsgemäß bei keinem dieser Patienten. Drei Patienten (15,0%) wiesen eine Dysplasie Typ B auf, vier Patienten (20,0%) Typ B-C mit Bump, 9 (45%) einen Typ C und vier Patienten (20,0%) einen Typ D.

Zogen wir die Ergebnisse aus der intraoperativen Stabilitätsmessung heran, so ergaben sich sehr ähnliche Werte. Die gesamte Patientengruppe reduzierte sich auf 19 Patienten, da sich hier bei einem Patienten mit einer Dysplasie Typ B nur eine Instabilität in extensionsnaher Position zeigte. Die übrige Verteilung blieb gleich.

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	keine Dysplasie	2	6,3	6,3	6,3
	A	4	12,5	12,5	18,8
	B	7	21,9	21,9	40,6
	B-C mit pl Bump	5	15,6	15,6	56,3
	C	10	31,3	31,3	87,5
	D	4	12,5	12,5	100,0
	Gesamt	32	100,0	100,0	

Tab. 5: Ergebnisse Bestimmung des Ausmaßes einer Trochleadysplasie (modifizierte Klassifikation nach Dejour) im gesamten Patientenkollektiv

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	B	3	15,0	15,0	15,0
	B-C mit pl Bump	4	20,0	20,0	35,0
	C	9	45,0	45,0	80,0
	D	4	20,0	20,0	100,0
	Gesamt	20	100,0	100,0	

Tab. 6: Ergebnisse Trochleadysplasie bei Patienten mit präoperativ bestehender Patellainstabilität zwischen 0°-60° oder 0°-90°

		Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Gültig	B	2	10,5	10,5	10,5
	B-C mit pl Bump	4	21,1	21,1	31,6
	C	9	47,4	47,4	78,9
	D	4	21,1	21,1	100,0
	Gesamt	19	100,0	100,0	

Tab. 7: Ergebnisse Trochleadysplasie bei Patienten mit intraoperativ bestehender Patellainstabilität zwischen 0°-60° oder 0°-90°

### 4.3.3 TTTG-Abstand/TTTG-Index

Der durchschnittliche TTTG-Abstand lag bei 13,16 mm (Std.-Abweichung 4,95) und somit im Normbereich. Die Spannweite betrug 25 mm (Minimum 3 mm, Maximum 28 mm). Es lag eine rechtsschiefe (Schiefe 0,609) und spitze (Kurtosis 1,477) Verteilung ohne signifikante Abweichung von der Normalverteilung vor.

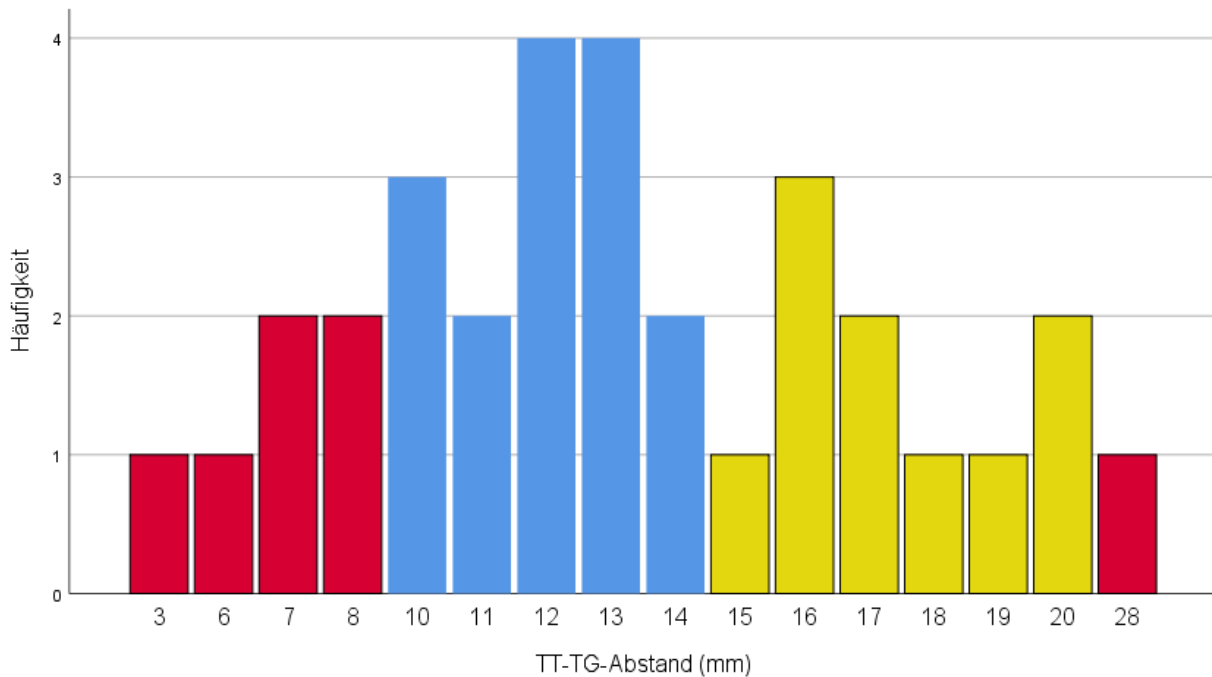


Abb. 49: Ergebnisse Bestimmung des TTTG-Abstands

In 46,9% bestand ein normwertiger TTTG-Abstand von 10-15 mm.

Bei zwei Patienten (6,3%) zeigte sich der TTTG-Abstand nach Tuberositas-Transfer mit <10 mm zu klein, weshalb dies als Überkorrektur gewertet werden musste. Bei vier Patienten (25%) lag ein angeborener verkleinerter TTTG-Abstand vor. Ein Patient zeigte einen zu großen TTTG-Abstand (28 mm) ohne vorherige Manipulation.

31,3% zeigten einen grenzwertigen TTTG-Abstand (15-20 mm). Für diese elf Patienten war zusätzlich der TTTG-Index ermittelt worden und ergab den Mittelwert 0,25 (Std.-Abweichung 0,047, Minimum 0,20, Maximum 0,35). Als normwertig wird von den Ursprungsautoren ein Index von  $\leq 0,23$  angegeben. Lediglich fünf (45,5%) der Patienten erfüllten diesen Grenzwert.

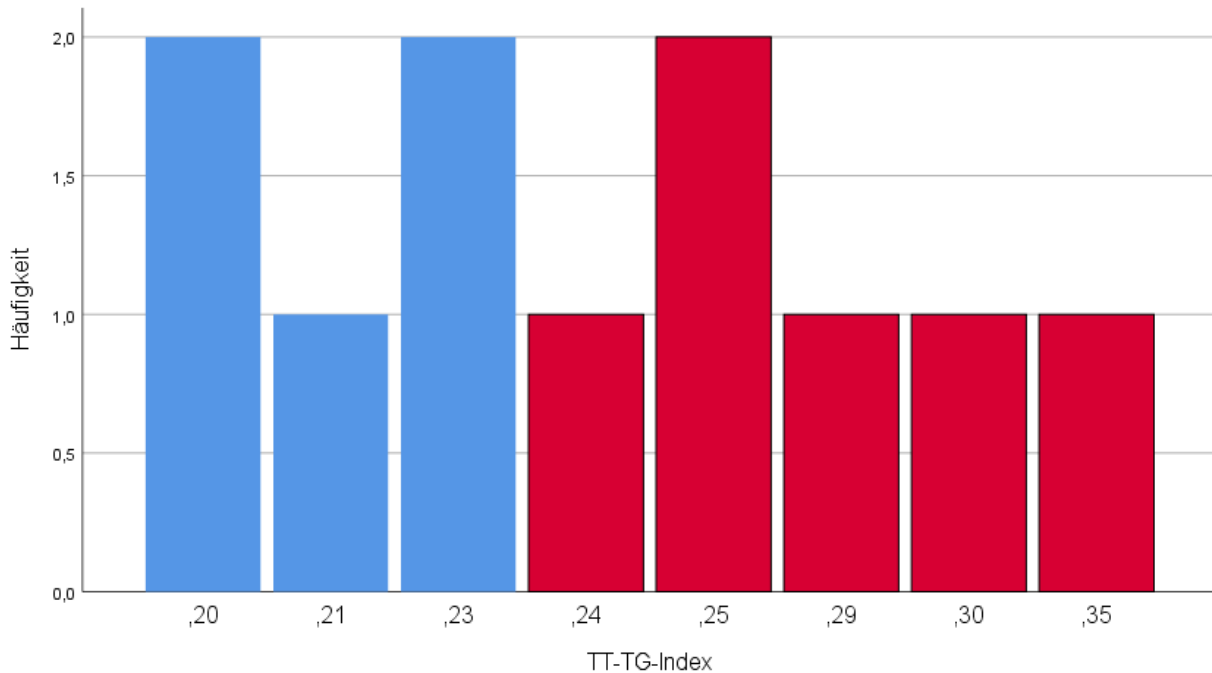


Abb. 50: Ergebnisse Bestimmung des TTTG-Index

Nach unseren eigenen klinischen Kriterien zur Indikation für einen Tuberositas-Transfer bestand lediglich für den Patienten mit einem eindeutig pathologisch erhöhten TTTG-Abstand von 28 mm und TTTG-Index 0,35 eine entsprechende Indikation. Beide Werte charakterisierten sich in unserer Messreihe als einfache Ausreißer.

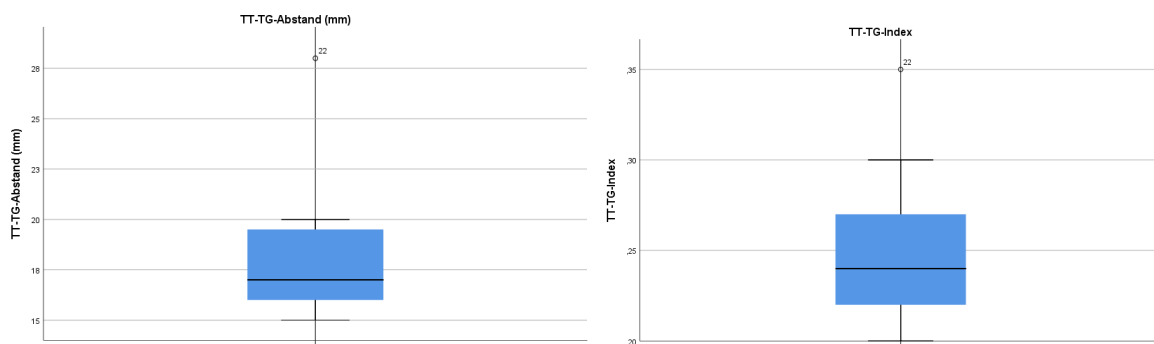


Abb. 51: Verteilung der Werte des TTTG-Abstands und des TTTG-Index

Nichtsdestotrotz konnten wir zwischen den Werten des TTTG-Abstands und des TTTG-Index eine statistisch signifikante positive Korrelation ( $p=0,001$ ) feststellen.



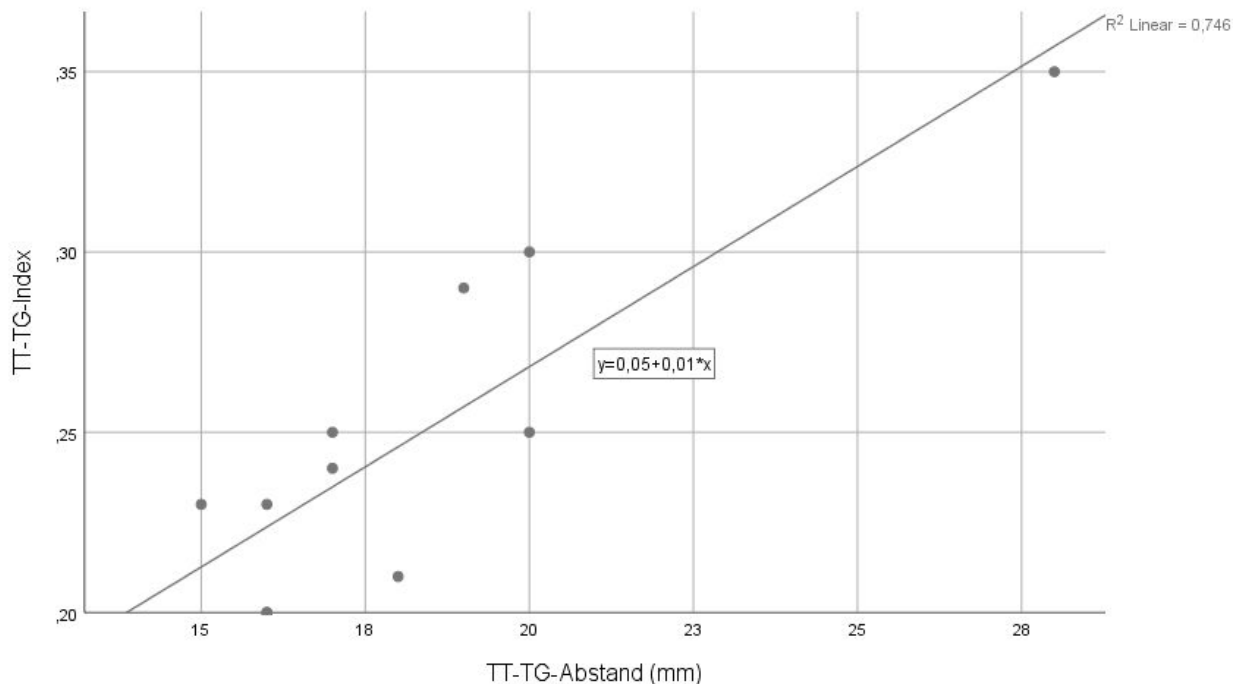


Abb. 52: Darstellung der Korrelation zwischen TTTG-Abstand und TTTG-Index

#### 4.3.4 Patella-Tilt

Der Mittelwert des Patella-Tilt betrug  $23,58^\circ$  (Std.-Abweichung  $11,42^\circ$ ) mit einer Spannweite von  $39,5^\circ$  (Minimum  $0,5^\circ$ , Maximum  $40,0^\circ$ ). Es handelte sich um eine nicht-signifikante links schiefe und signifikant abgeflachte Verteilung. 13 Patienten (40,6%) zeigten normwertige und 19 Patienten (59,4%) pathologisch veränderte Tilt-Werte.

Wir testeten den Zusammenhang zwischen einer Trochleadysplasie und pathologisch erhöhten Tilt-Werten. In 73,7% zeigten sich bei einer hochgradigen Trochleadysplasie pathologisch veränderte Tilt-Werte, während bei 61,5% ein normwertiger Tilt bei niedriggradiger oder nicht vorhandener Dysplasie gemessen wurde. Dieser Zusammenhang war signifikant ( $p=0,046$ ).

#### 4.3.5 Patella-Shift

Für 28 Patienten bestimmten wir positive Werte i.S. einer Patellalateralisierung, für vier Patienten negative Werte als Shift nach medial i.S. einer Patellamedialisierung.

Für die Patellalateralisierung betrug der Mittelwert 10,18 mm (Std.-Abweichung 4,59 mm) mit einer Spannweite von 18 mm (Minimum 2 mm, Maximum 20 mm). Es bestand Normalverteilung.

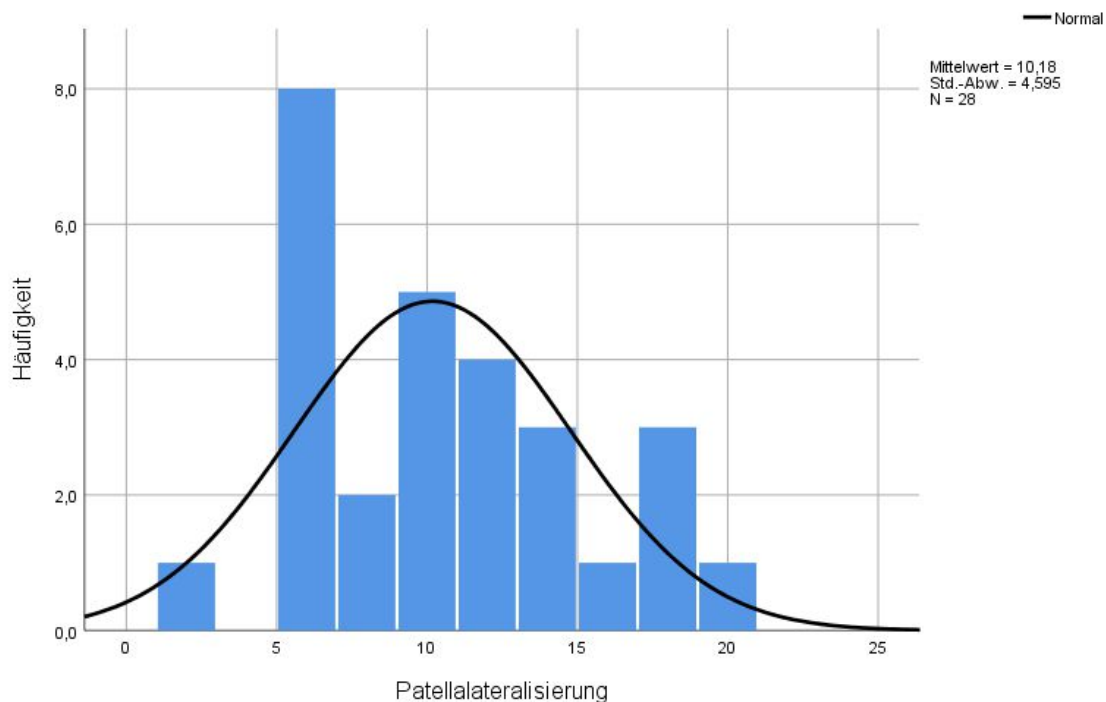


Abb. 53: Ergebnisse der Bestimmung der Patellalateralisierung

13 Patienten (40,6%) zeigten eine normwertige Lateralisierung  $\leq 6$ mm, 19 Patienten eine pathologisch vergrößerte (59,4%).

Die durchschnittliche Patellamedialisierung betrug 2,25 mm mit einer Spannweite von 4 mm (Minimum 1 mm, Maximum 5 mm). Bei zwei Patienten stellten wir eine Medialisierung von 1 mm fest, klinisch bestand bei ihnen ausschließlich eine Instabilität nach lateral. Die beiden übrigen Patienten zeigten eine Patellamedialisierung von jeweils 2 mm und 5 mm mit zudem klinischer Instabilität nach medial.

Patellamedialisierung (mm)		Richtung Instabilität Intraoperativ		Gesamt
		lateral	medial	
5		0	1	1
2		0	1	1
1		2	0	2
<b>Gesamt</b>		<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>

Tab. 8: Korrelation der radiologisch gemessenen Patellamedialisierung mit der Richtung der intraoperativ klinisch erhobenen Patellainstabilität

Angelehnt an das Vorgehen beim Patella-Tilt untersuchten wir den Zusammenhang zwischen Patella-Shift und dem Vorhandensein einer Trochleadysplasie. Es bestand auch hier ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Schweregrad einer Trochleadysplasie und pathologisch verändertem Patella-Shift ( $p=0,006$ ).

#### 4.3.6 Beurteilung der Fixation nach MPFL-Rekonstruktion

Patellaseitig:

Von den insgesamt 19 durchgeführten MPFL-Eingriffen (MPFL-Rekonstruktion mittels Sehne oder FiberTape®, MPFL-Refixation) wurde 16mal (84,2%) patellär anatomisch fixiert, dreimal (15,8%) nicht anatomisch. Bei der nicht-anatomischen Verankerung handelte es sich in zwei Fällen um eine Kortikalis perforierende Fixierung, in einem weiteren Fall waren die Fixationsschrauben in die distale Quadrizepssehne eingebracht worden. In einem dieser Fälle war zweimalig eine MPFL-Rekonstruktion durchgeführt worden, eine hiervon anatomisch.

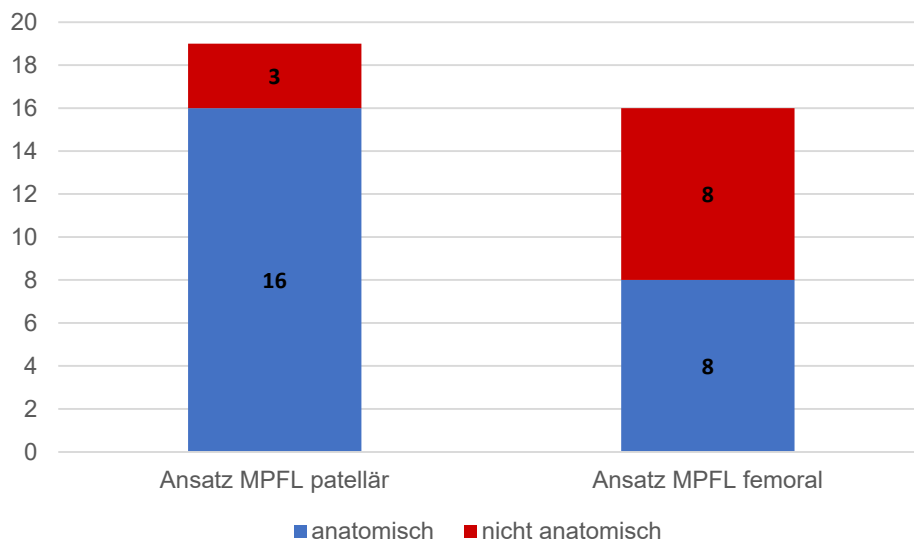


Abb. 54: Ergebnisse Bestimmung der anatomischen Lage des MPFL-Ansatzes patellär und femoral

Femoralseitig:

Femoral wurde in acht Fällen anatomisch (50%) und in acht Fällen nicht anatomisch (50%) fixiert. In einem Fall war zweimalig nacheinander das Sehnentransplantat nicht anatomisch fixiert worden. Bei den übrigen Patienten handelte es sich um ein einmaliges Vorkommnis, fünfmal im Rahmen einer Sehnenplastik und einmal bei Fixation mit einem FiberTape®.

Es besteht eine Differenz zwischen der absoluten Zahl dokumentierter MPFL-Eingriffe (n=19) und der der femoralen MPFL-Fixationen (n=16) von n=3. Diese vermeintliche Diskrepanz ergibt sich daraus, dass in zwei Fällen eine patelläre MPFL-Refixation durchgeführt und in einem Fall zur MPFL-Rekonstruktion eine Adduktorensehne als Sehnentransplantat verwendet worden war. In letzterem Fall erfolgt die Fixation üblicherweise ausschließlich patellär.

#### 4.4 Intraoperative Befunderhebung

##### 4.4.1 Narkoseuntersuchung

Die Ergebnisse der Patellainstabilität in den unterschiedlichen Bewegungsumfängen zeigte im Vergleich zur präoperativen Untersuchung dezente Unterschiede.

Anstelle von drei Patienten wurde intraoperativ noch bei zwei Patienten eine hypomobile Patella festgestellt. Dem dritten Patienten wurde eine Instabilität in extensionsnaher Stellung attestiert. Bei einem Patienten bestand ein Downgrading von „0°-60°“ auf „0°-30°“ sowie bei zwei Patienten von „0°-90°“ auf „0°-60°“. Bei nur einem Patienten bestand ein Upgrading von der präoperativen zur intraoperativen Untersuchung von „0°-60°“ auf „0°-90°“.

		präoperativ	intraoperativ
Gültig	hypomobil	3	2
	Instabilität 0-30	9	11
	Instabilität 0-60	16	16
	Instabilität 0-90	4	3
	Gesamt	32	32

Tab. 9: Bestimmung der Instabilität nach Bewegungsumfang im Vergleich präoperativ-intraoperativ

Die Richtung der Instabilität unterschied sich insgesamt bei sechs Patienten (18,8%). In fünf Fällen zeigte sich neben der präoperativ bereits diagnostizierten lateralen Instabilität zusätzlich eine Instabilität nach medial. In einem Fall änderte sich eine hypomobile Patella in eine lateral instabile.

		Häufigkeit	intraoperativ
Gültig	hypomobil	3	2
	lateral	25	21
	medial	3	3
	lateral und medial	1	6
	Gesamt	32	32

Tab. 10: Bestimmung der Richtung der Instabilität im Vergleich präoperativ – intraoperativ

Anhand des intraoperativen und damit abschließenden klinischen Befundes bestand bei insgesamt neun Patienten (28,13%) eine iatrogen nach medial instabile oder hypomobile Patella, was als iatrogen induzierte pathologische Patellamobilisierung gewertet wurde.

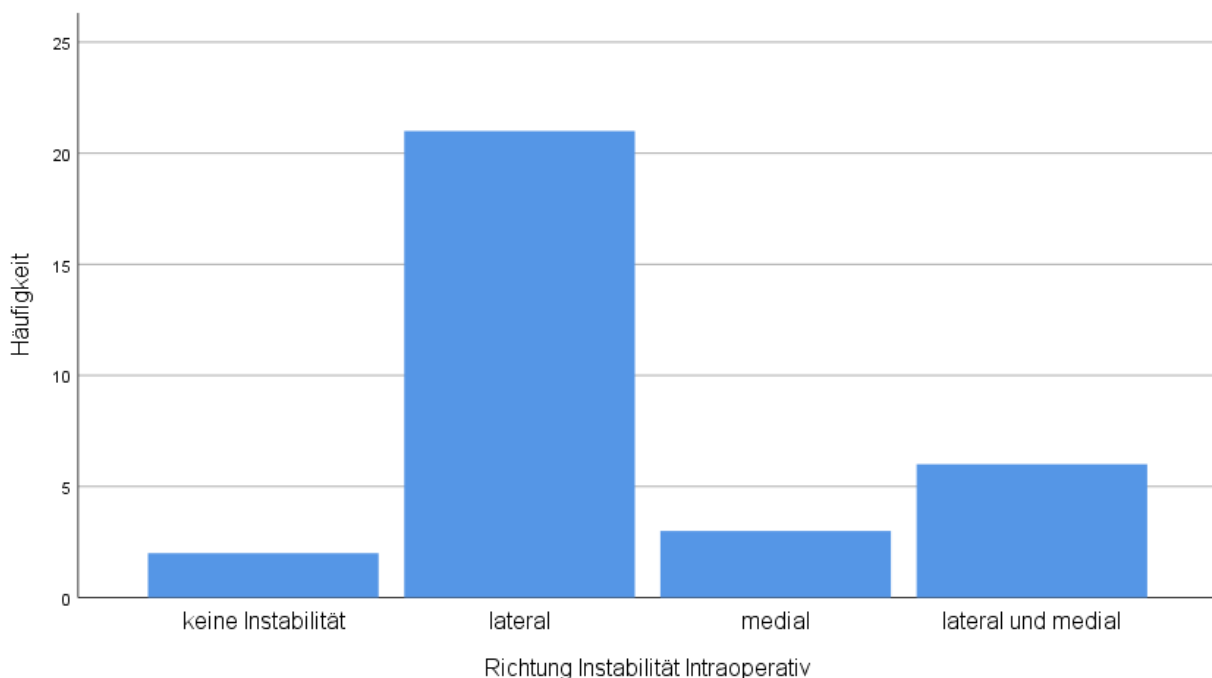


Abb. 55: Ergebnisse der intraoperativen Bestimmung der Richtung der Instabilität

60% der Patienten, bei denen ein Lateral Release durchgeführt worden war, entwickelten sekundär eine mediale Instabilität. Der Zusammenhang zwischen beiden Variablen zeigte sich statistisch signifikant ( $p=0,022$ ).

13,6% der Patienten mit einer sekundären medialen Instabilität hatten zuvor kein Lateral Release erhalten.

Neben dem isolierten Lateral Release zeigten sich als weitere Gründe für eine iatrogen induzierte mediale Instabilität in zwei Fällen eine Überkorrektur eines Tuberositas-Transfers mit kombiniertem Lateral Release. Bei zwei Patienten versagte die Laterale

Rekonstruktion. Bei einem Patienten vernarbte das patellär fehlplatzierte MPFL und sorgte durch die mediale Weichteilverkürzung für eine mediale Subluxationsstellung.

#### 4.4.2 Knorpelstatus

Patellofemoral zeigte sich folgende Häufigkeitsverteilung für den jeweiligen Gelenkknorpel von Patella und Trochlea entsprechend der Outerbridge-Klassifikation:

- Retropatellär: Mittelwert 1,57, Median 2, Modalwert 2
- Trochleär: Mittelwert 1,66, Median 2, Modalwert 0

Gemessen an den Durchschnittswerten erscheinen schwerwiegendere Knorpelschäden im Bereich der Trochlea lokalisiert. Dieses Ergebnis erscheint insbesondere durch die höhere Anzahl an Knorpelschäden Grad 4 beeinflusst, welche sich ausschließlich im Bereich der Neotrochlea bei hochgradigen Trochleadysplasien zeigten. Werden diese in der Betrachtung nicht berücksichtigt, so ergeben sich für den retropatellären Bereich höhergradigere Knorpelläsionen. Ein statistischer Zusammenhang zwischen Knorpelläsionen der Patella und der Trochlea bestand nicht.

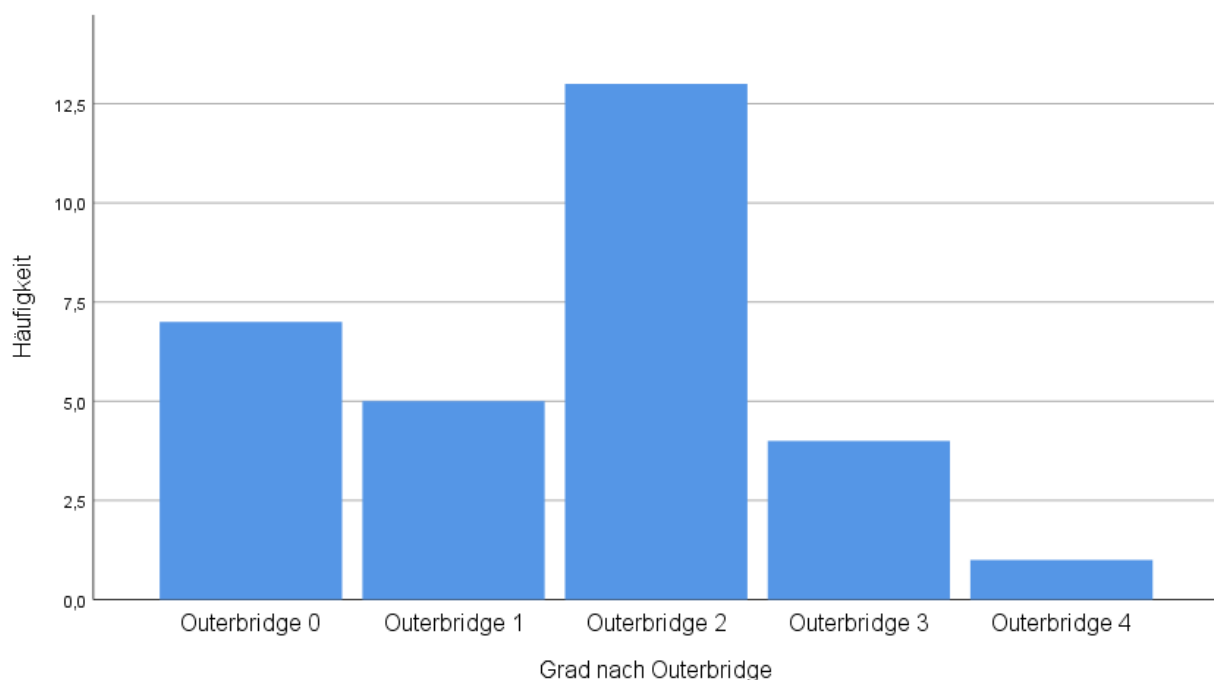


Abb. 56: Ergebnisse des intraoperativ erhobenen Knorpelstatus retropatellär

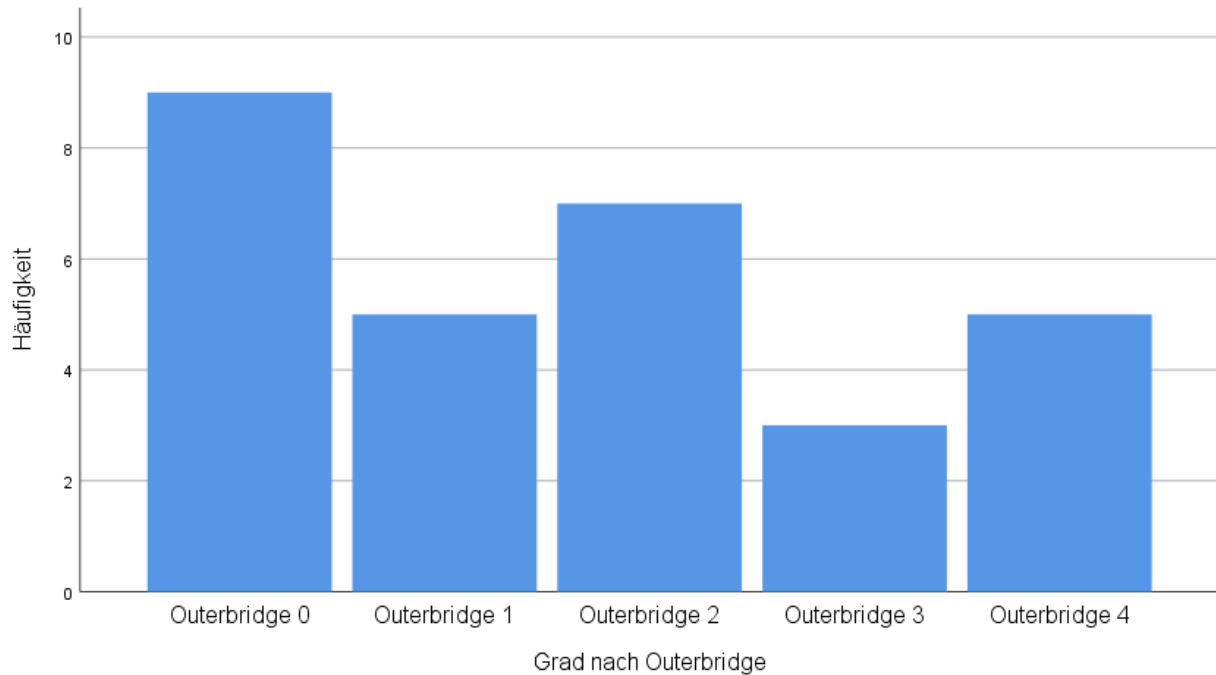


Abb. 57: Ergebnisse des intraoperativ erhobenen Knorpelstatus trochleär

#### 4.5 Ursachenanalyse

Für jeden Patienten war eine Mehrfachnennung von Ursachen möglich, sodass die Gesamtzahl der Ursachen die Patientenzahl überstieg.

Wir fanden bei 32 Patienten in der Summe 73 Ursachen, die zu einer erneuten PFI oder PFS nach patellastabilisierenden Operationen führten. Dies entspricht pro Patient 2,3 Ursachen mit einer Spannweite von 5 (Minimum 1, Maximum 6). Bei neun Patienten ließ sich eine Ursache feststellen, bei zwölf Patienten zwei, was auch dem Modalwert entsprach, bei sechs Patienten drei Ursachen, bei vier Patienten vier Ursachen und bei einem Patienten in der Summe sechs Ursachen.

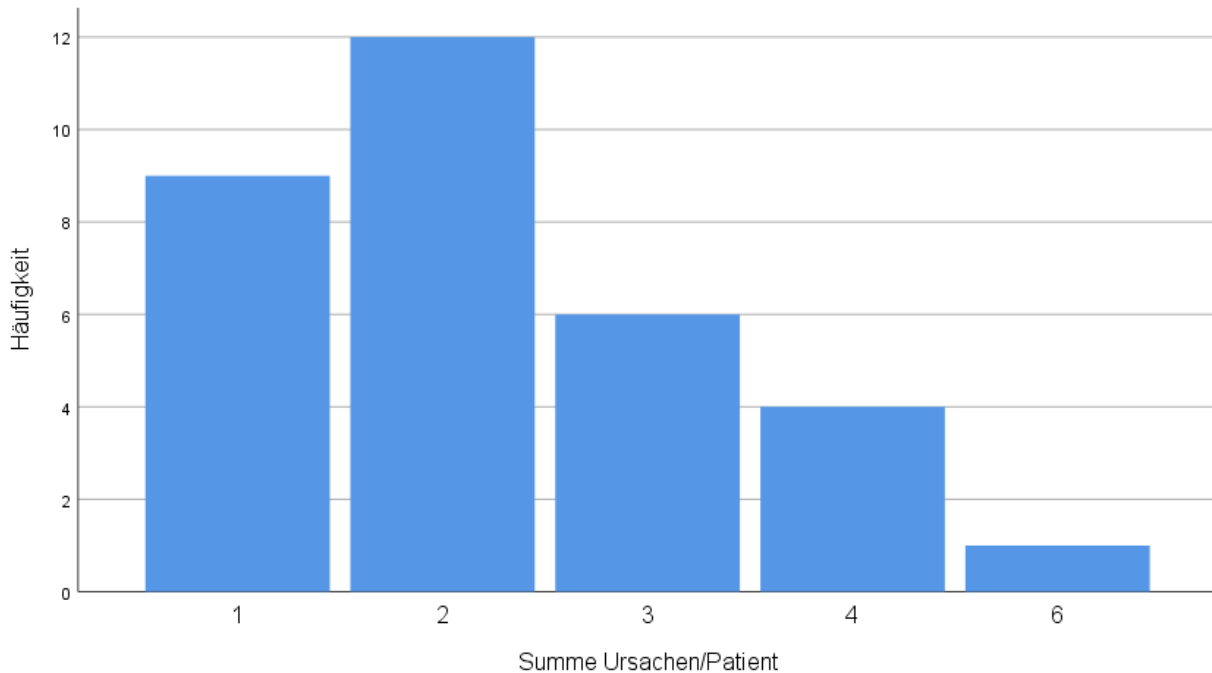


Abb. 58: Ergebnisse Anzahl der Versagensursachen pro Patient

33mal (45,2%) legten wir bei 25 Patienten eine fehlerhafte Indikationsstellung für ein operatives Verfahren zugrunde, in 22 Fällen (30,2%) bei 21 Patienten eine unberücksichtigte Begleitpathologie, 12mal (16,4%) bei elf Patienten einen technischen Fehler in der Umsetzung eines operativen Verfahrens und in jeweils drei Fällen (4,1%) bei auch jeweils drei Patienten ein Implantatversagen oder eine unzureichende präoperative Diagnostik. Ein adäquates Trauma oder ein wachstumsbedingtes Neuauftreten von Begleitpathologien sahen wir in keinem Fall als gegeben.



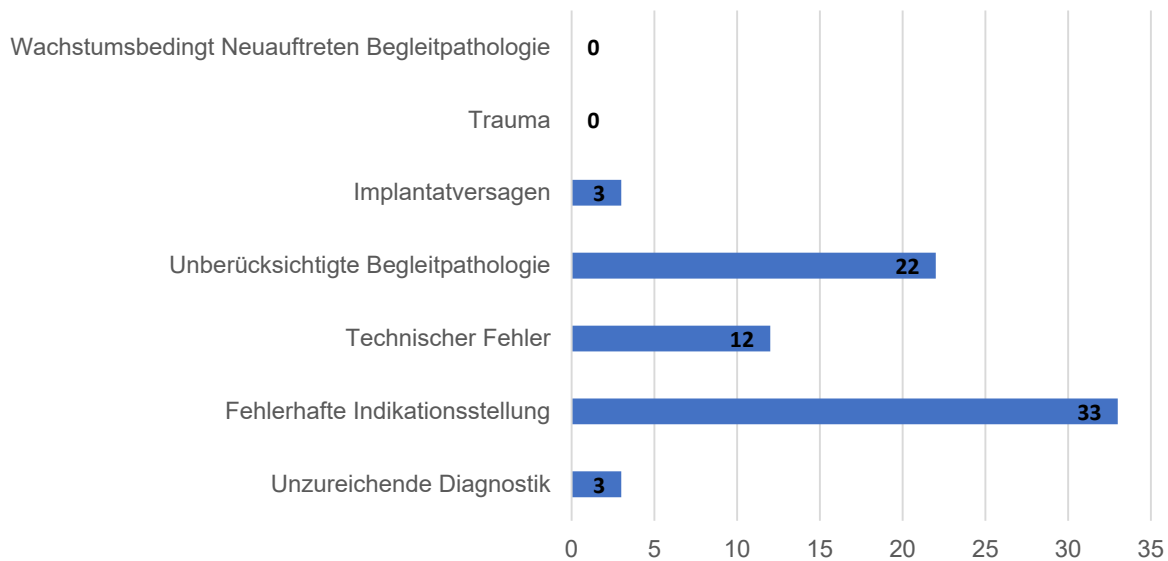


Abb. 59: Verteilung der Versagensursachen im gesamten Patientenkollektiv

Die 33 von uns definierten fehlerhaften Indikationsstellungen begründeten wir 19 mal (57,6%) durch die Anwendung einer Medialen Raffung und 10 mal (30,3%) durch ein Lateral Release. In einem Fall (3,0%) wurde eine OP nach Blauth bei einem bereits 18jährigen Patienten angewandt. Ebenfalls einmal (3,0%) sahen wir die Durchführung einer Goldthwait-Roux-Operation als fehlerhafte Indikationsstellung an. In den verbliebenen zwei Fällen (6,1%) war eine MPFL-Refixation bei gleichzeitig bestehender Trochleadysplasie durchgeführt worden.

	Häufigkeit	Prozent	Prozent Gesamtursachen
Mediale Raffung	19	57,6%	26,0%
Lateral Release	10	30,3%	13,7%
Blauth-OP bei Patientenalter 18 J.	1	3,0%	1,4%
Goldthwait-Roux-Operation	1	3,0%	1,4%
MPFL-Refixation bei bestehender Trochleadysplasie	2	6,1%	2,7%

Tab. 11: Verteilung der mangelhaften Indikationsstellung für ein chirurgisches Verfahren nach Operationsverfahren

Eine unzureichend berücksichtigte Begleitpathologie aufgrund einer operativ nicht adressierten und damit unberücksichtigten klinisch relevanten Trochleadysplasie bestand in 20 Fällen (90,9%). In einem Fall (4,5%) wurde ein pathologisch vergrößerter TTTG-Abstand nicht korrigiert. In einem weiteren Fall (4,5%) bestand eine angeborene anatomische Anomalie des distalen Femurs mit ausladendem medialen Femurkondylus,

der ohne Adressierung eine MPFL-Fixation femoral deutlich erschwerte und zugleich als Hypomochlion auf das MPFL-Transplantat mit Erhöhung der Transplantatspannung wirkte.

	Häufigkeit	Prozent	Prozent Gesamtursachen
Trochleadysplasie	20	90,9%	27,4%
Vergößerter TTTG-Abstand	1	4,5%	1,4%
Anatomische femorale Anomalie	1	4,5%	1,4%

Tab. 12: Unzureichend berücksichtigte Begleitpathologien

Im Bereich der als intraoperativ definierten technischen Fehler bestand in zehn Fällen (83,3%) eine Fehlplatzierung des MPFL sowie in zwei Fällen (16,7%) die Überkorrektur der Tuberositas tibiae im Rahmen eines Tuberositas-Transfers.

	Häufigkeit	Prozent	Prozent Gesamtursachen
Fehlplatzierung MPFL	10	83,3%	13,7%
Überkorrektur Tuberositas-Transfer	2	16,7%	2,7%

Tab. 13: Technischer Fehler in der Umsetzung eines operativen Eingriffs

Im Bereich der präoperativ durchgeführten radiologischen Diagnostik war in zwei Fällen (66,7%) keine erweiterte Diagnostik i.S. einer Achsvermessung der unteren Extremität trotz klinisch auffälliger Fehlrotation durchgeführt worden. In einem Fall (33,3%) war auch keine präoperative Schnittbildgebung in Form einer MRT- oder CT-Untersuchung erfolgt.

	Häufigkeit	Prozent	Prozent Gesamtursachen
Keine Rotationsmessung	2	66,7%	2,7%
Präoperativ keine Schnittbildgebung	1	33,3%	1,4%

Tab. 14: Unzureichende präoperative radiologische Diagnostik

Ein Implantatversagen i.S. einer mechanischen Insuffizienz der Nahtplastik bestand zweimal (66,7%) nach lateraler Erweiterung und führte zu einer medialen sekundären Instabilität. In einem weiteren Fall (33,33%) versagte das mittels alloplastischem Material (FiberTape®) rekonstruierte MPFL.

	Häufigkeit	Prozent	Prozent Gesamtursachen
Laterale Erweiterung	2	66,7%	2,7%
MPFL mittels FiberTape®	1	33,3%	1,4%

Tab. 15: Implantatversagen

Obwohl die mangelhafte Indikationsstellung für ein operatives Verfahren die häufigste Ursache für ein Versagen darstellte, ergab sich anhand der Einzelaufstellung aller Gründe die unzureichende Adressierung einer klinisch relevanten Trochleadysplasie mit 27,4% als häufigste Ursache für die Notwendigkeit einer Revisionsoperation. Erst an zweiter Stelle folgte mit 26% die Mediale Raffung sowie mit 13,7% das Lateral Release aus der Gruppe „mangelhafte Indikationsstellung“ als Grund für eine Revision. Die Transplantatfehlplatzierung eines MPFL zeigte mit 13,7% die gleiche relative Häufigkeit wie die Verwendung des Lateral Release. Alle übrigen Gründe in der Einzelaufstellung waren mit einer Häufigkeit <3% vertreten.

## 5 Diskussion

Die patellofemorale Chirurgie bei instabiler Patella war in den letzten Jahrzehnten geprägt von der intensiven Evaluierung von Hauptrisikofaktoren, die sich chirurgisch korrigieren ließen, um eine stabile Gelenksituation zu schaffen. 1994 veröffentlichte eine Arbeitsgruppe aus Lyon eine richtungsweisende Arbeit, in der sie die vier Risikofaktoren Trochleadysplasie, Patella-Alta-Index (Caton-Dechamp-Index)  $\geq 1,2$ , Patella-Tilt  $\geq 20^\circ$  und TTTG-Abstand  $\geq 20\text{mm}$  identifizierte (10). Sie empfahl die operative Adressierung dieser Faktoren zur erfolgreichen Patellastabilisierung und Reduktion eines patellofemorales Arthroserisikos. Ungefähr zur gleichen Zeit, im Jahr 1992, wurde der erste Bericht über die Rekonstruktion des MPFL ohne Beachtung relevanter Risikofaktoren veröffentlicht (169), sodass sich parallel zwei chirurgische Schulen entwickelten. Eine verfolgte den Ansatz einer generalisierten MPFL-Rekonstruktion für alle Patienten (5), während die zweite den Grundsatz favorisierte, alle wesentlichen Hauptrisikofaktoren zu korrigieren und damit das chirurgische Management auf den jeweiligen Patienten anzupassen (170). Es gibt hinreichend Evidenz dafür, dass der dogmatische Ansatz einer alleinigen MPFL-Rekonstruktion nur bis zu einem gewissen Grad der Ausprägung und Anzahl von Risikofaktoren zu einer suffizienten und schmerzfreien Stabilisierung beiträgt und ein individualisierter Ansatz geringe Redislationsraten mit gutem klinischen Outcome zeigt (11), weshalb beide Konzepte fusionierten und sich im deutschsprachigen Raum die Idee einer „à la carte“-Chirurgie mit der gleichzeitig fast regelhaften Durchführung der MPFL-Rekonstruktion durchgesetzt hat (2). Eine derartig individualisierte Chirurgie setzt bei den Behandlern ein hohes Know-how sowohl in der Diagnostik und Indikationsstellung als auch in der technischen Ausführung voraus, weshalb hier Raum für Fehlermöglichkeiten besteht. Durch die Entwicklung eines therapeutischen Algorithmus, vergleichbar mit einem Grundrezept für diese „à la carte“ Chirurgie, durch das Komitee-Knie-Patellofemoral der AGA wurde ein entscheidender Schritt zur systematischen Indikationsstellung vollzogen, der maßgeblich zur Reduktion von Revisionsoperationen beitragen soll (2). Nichtsdestotrotz sehen wir in der klinischen Praxis nach wie vor hohe Fallzahlen von fehlgeschlagenen Stabilisierungsoperationen.

Die Literatur liefert multiple Erklärungsansätze für das Versagen von einzelnen patellofemorales Stabilisierungstechniken ohne jedoch einen globalen Blick auf das

gesamte Kollektiv mit notwendigen Revisionsoperationen zu richten. Nach aktuellem Stand handelt es sich bei der vorliegenden Studie um die erste Analyse, die an einem repräsentativen Patientenkollektiv grundsätzlich Ursachen, die zu einer Revisionsoperation nach patellastabilisierenden Eingriffen führen, systematisch herausarbeitet.

Wir sahen in unserer Studie, dass mit durchschnittlich 2,3 Ursachen pro Patient die Gründe nicht nur auf einen entscheidenden Faktor heruntergebrochen werden können, sondern oftmals eine Summation oder Wiederholung von Versagensursachen verantwortlich ist.

### **5.1 Fehlerhafte Indikationsstellung für ein chirurgisches Verfahren**

Als Hauptursache stellten wir mit 45,2% eine fehlerhafte Indikationsstellung für ein operatives Verfahren fest. Problematisch erscheint hierbei, dass besonders Operationsmethoden, deren klinische Unterlegenheit bereits belegt wurde, häufig Anwendung fanden. Unter ihnen nahmen allein die Mediale Raffung und das Lateral Release gemeinsam 87,9% ein. Der Erfolg der Medialen Raffung, basierend auf der Grundidee die Zugrichtung des VMO zu beeinflussen um eine medialisierende Wirkung auf die Patella zu erzielen, ist allein aus biomechanischer Sicht schwer nachvollziehbar (79). Da der Faserverlauf des VMO nicht geändert werden kann, tritt seine stabilisierende Wirkung erst ab einer Flexion von 60° ein und nicht in der erforderlichen strecknahen Stellung (1). Befürworter der Medialen Raffung berichten nichtsdestotrotz von guten Ergebnissen dieser Technik, die bei genauerer Betrachtung unter anderem auf die technische Durchführung und ihre Nomenklatur zurückgeführt werden können. Boddula et al. sahen gute mittel- und langfristige Ergebnisse nach arthroskopisch assistierter Medialer Raffung (171). Die Raffnaht wurde über einen ca. 2cm medialen Hautschnitt im Bereich des medialen Patellarandes, ähnlich der Schnittführung bei MPFL-Rekonstruktion, durchgeführt. Streng genommen wurde hier eine Kapselraffung ohne Verlagerung des VMO durchgeführt, die durch ihren Nahtverlauf unter Einbeziehung des periostalen medialen Patellarands ein insuffizientes MPFL miterfassen und reparieren kann. Dieses Vorgehen erinnert stark an die bereits 1986 von Yamamoto beschriebene Technik zum Verschluss eines retinaculär-kapsulären Defekts nach jedoch akuter Patelladislokation (94), die in der modifizierten Technik nach Strobel zum Repair des

medialen Retinaculum 2006 gute klinische Ergebnisse nach ebenfalls akutem Trauma zeigte (172). Die wesentliche Problematik in der Gesamtbeurteilung der Studienlage liegt daher oftmals in der inhomogenen Terminologie der operativen Verfahren. Genau genommen handelte es sich in der Studie von Boddula et al. um eine patellanahe Repair-Operation des MPFL.

Unter Betrachtung der üblichen Lokalisation einer MPFL-Ruptur kann dieses Verfahren nur bei einem begrenzten Anteil von MPFL-Rupturen zur Stabilisierung der medialen Strukturen beitragen. Eine überwiegende Anzahl an Studien beschreibt die übliche MPFL-Ruptur in der Nähe des femoralen Ansatzes (46, 173, 174). Balcarek et al. fanden in 50% eine MPFL-Läsion im Bereich des femoralen Ursprungs, eine Läsion im Bereich des patellären Ansatzes oder im mittleren Bereich des Ligaments zeigte sich bei je 13,9% (174). Bei 22,2% konnte mehr als ein Läsionsort festgestellt werden, Elias et al. berichteten dies bei 48% (175). Diese Beobachtungen der Autoren geben einen plausiblen Erklärungsansatz für die Ergebnisse von Puzitiello et al., die 32 isolierte MPFL-Rekonstruktionen mit 19 Repair-Operationen nach mehrfacher Patellaluxation verglichen (176). Sie beobachteten einen mittelfristig besseren klinischen Outcome sowie geringere Redislokationsraten bei rekonstruiertem MPFL im Vergleich zum MPFL-Repair, wodurch sich die Unterlegenheit der letzteren Technik bei PFI zeigte. Hiemstra et al. fanden in einer kürzlich veröffentlichten Studie an 342 Patienten mit PFI eine mit 5,1% geringere Relaxationsrate nach MPFL-Rekonstruktion im Vergleich zu 20,9% nach Medialer Raffung (11), Begleitpathologien waren zusätzlich in allen Fällen im Sinne der „à la carte“-Chirurgie beseitigt worden.

Biomechanisch konnten Ostermeier et al. in einer Kadaverstudie nach Medialer Raffung eine vermehrte Medialisierung und Verkippung der Patella zeigen, was zu unphysiologischen Druckbelastungen des PF-Gelenks führen kann (177).

Das isolierte Lateral Release hat seine Bedeutung in der Therapie der PFI weitestgehend verloren. Christoforakis et al. konnten in einer biomechanischen Analyse seine lateral destabilisierende Wirkung in allen Beugungsgraden des Kniegelenks zeigen (124). Zudem wiesen Langzeitstudien bereits wiederholt postoperative Komplikationen wie eine mediale Instabilität, Muskelatrophie oder Adhäsionen nach (121, 178). Umso überraschender erscheint der vermeintliche Siegeszug des Lateral Release in der klinischen Anwendung der vergangenen Jahrzehnte, da Hughston et al. bereits 1988 erstmals über die hohe Inzidenz einer sekundären medialen Instabilität nach Lateral

Release berichteten (126). Auch wir sahen in unserer Studie einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Durchführung eines Lateral Release und einer medialen Instabilität. Larson et al. entwickelten die alternative Technik einer lateralen Verlängerung mittels Z-Plastik des lateralen Retinaculums (128). Diese modifizierte Technik ist am ehesten als ergänzende Operationsmethode bei proximaler oder distaler Alignmentstörung (121) oder bei lateraler Hyperkompression (65, 179) zu bewerten. Pagenstert et al. zeigten in einer prospektiven Doppelblindstudie nach einem Follow-up von zwei Jahren weniger mediale Instabilitäten und Quadrizepsathrophien sowie ein besseres klinisches Outcome nach Lateraler Retinaculumverlängerung im Vergleich zum „Lateral Release“ bei Patienten mit lateralem Hyperkompressionssyndrom (129). In unserem Patientenkollektiv waren drei Patienten mit einem Zustand nach lateraler Retinaculumverlängerung vertreten. Diese waren additiv bei proximaler Alignmentstörung und zu erwartendem Hyperkompressionssyndrom durchgeführt worden. In zwei Fällen konnte aber auch hiernach eine mediale Instabilität festgestellt werden. Pagenstert et al. hingegen sahen in keinem Patientenfall eine derartige mediale Instabilität. In unseren Augen ist das Ergebnis in unserem Patientenkollektiv nicht als unmittelbare Komplikation der Operationstechnik anzusehen, sondern spiegelt am ehesten eine Überlastung der lateralen Weichteilstrukturen durch Versagen der übrigen Stabilisatoren wider. Die lateralen passiven Stabilisatoren übernehmen im nativen Zustand 10% der PF-Stabilität (45). Es lässt sich also vermuten, dass bei Wegfall der übrigen Stabilisatoren eine erhöhte Belastung auf diese Strukturen wirkt. Eine derartige unphysiologische Belastung auf die Laterale Retinaculumverlängerung kann so - in der Theorie - zu einem Versagen und, ähnlich dem Lateral Release, zu einer medialen Instabilität führen. Gestützt wird diese Hypothese durch das klinische Bild einer palpablen Weichteillücke im Bereich der ehemaligen Z-Plastik, die wir in beiden Patientenfällen feststellen konnten.

Ein weiterer mehrfach begangener Indikationsfehler betraf mit 6,1% die Therapie nach Erstluxation. Die aktuelle Datenlage erscheint auf den ersten Blick diesbezüglich eher gegensätzlich. Während ein 2011 von Hing et al. veröffentlichtes Systematisches Review und Meta-Analyse leichte Vorteile bezüglich einer operativen Intervention hinsichtlich Relaxationsrate und Aktivitätsrückkehr zeigte (180), können einige prospektive mittel- und langfristige Studien zum Outcome nach konservativer versus operativer Therapie bei Patellaerstluxation keine Überlegenheit eines Vorgehens feststellen (181, 182). Als

aktueller Konsens, gestützt durch die Studien von Stefancin et al. (183), gilt nach Vorgaben der AGA die Durchführung einer operativen Therapie im Sinne einer MPFL-Refixation nur bei Nachweis eines osteochondralen Flakes als Mittel der Wahl (2). Sonst ist ein konservatives Vorgehen vertretbar. Durch den PIS-Score vordefinierte Begleitpathologien, wie in unserer Studie der Nachweis einer hochgradigen Trochleadysplasie in zwei Fällen, erhöhen das Risiko einer Re-Luxation. Neben einer Trochleoplastik sollte hier anstelle eines Repair aufgrund höherer Stabilität und besserem klinischen Outcome eine MPFL-Rekonstruktion gewählt werden (2).

Eine allgemeine Zurückhaltung unter Orthopäden und Unfallchirurgen besteht in besonderem Maße hinsichtlich der operativen Versorgung von Kindern und Jugendlichen aufgrund der Gefahr einer möglichen Interferenz knöcherner Verfahren mit der Epiphysenfuge des distalen Femurs, die ca. 70% des femoralen Längenwachstums ausmacht (4, 184). Eine Affektion kann neben Störungen des Längenwachstums zu Veränderungen der Beinachse führen. Die PFI ist ein angeborenes Krankheitsbild, weshalb es sich meist in frühen Jahren bemerkbar macht (69, 70). In unserem Patientenkollektiv betrug das Durchschnittsalter der primären operativen Stabilisierung 18,2 Jahre, wobei 62,5% jünger als 18 Jahre waren, die meisten unter ihnen 14 Jahre alt. In dieser Altersgruppe dominierten die Weichteileingriffe Mediale Raffung und Lateral Release mit gemeinsam 47,8%, während die MPFL-Rekonstruktion mittels Sehnentransplantat nur einen Anteil von 8,7% im Vergleich zu 25,9% des gesamten Kollektivs einnahm. Die MPFL-Rekonstruktion birgt bei unvorsichtigem Vorgehen die Gefahr die mediale oder dorsale Epiphysenfuge zu schädigen und eine Varisierung der Beinachse oder eine Flexionsdeformität des Femurs zu provozieren (185). Es konnte jedoch festgestellt werden, dass der femorale MPFL-Ansatz im Durchschnitt 5mm distal vom medialen Aspekt der Wachstumsfuge lokalisiert ist und daher bei genauer Beachtung der Anatomie eine Schädigung vermieden werden kann (186). Parikh et al. sahen im kurzfristigen postoperativen Verlauf nach 179 MPFL-Rekonstruktionen bei Kindern in 16,2% Komplikationen wie eine erneute Instabilität, eine starke Bewegungseinschränkung oder eine Patellafraktur, wobei die Hälfte auf technische Fehler zurückzuführen und somit vermeidbar gewesen waren (24). Um eine irrtümliche Manipulation der femoralen Wachstumsfuge bei MPFL-Rekonstruktion zu vermeiden, besteht die Möglichkeit der Verwendung der Adduktor-Magnus-Sehne, deren femorale Insertion belassen und bedarfsweise mit Fäden gegen ein weiteres Einreißen gesichert



wird (187). Die MPFL-Rekonstruktion mittels Quadrizepssehne bietet den Vorteil vollständig auf eine patelläre Fixation zu verzichten und hierdurch Patellafrakturen vermeiden zu können. Das Problem der femoralen Fixation kann hierdurch nicht gelöst werden (188).

Historisch wurden zur Therapie der PFI bei offenen Wachstumsfugen Techniken zur weichteiligen Veränderung des distalen Alignments bei Kindern und Jugendlichen, in der Regel der Patellarsehne, entwickelt. Zu ihnen zählt die als erste im 19 Jh. beschriebene Goldthwait-Roux-Methode (96, 138). Ein kürzlich erschienen systematisches Review bescheinigt der Technik zwar zufriedenstellende Ergebnisse, jedoch weisen die Autoren auch auf die methodologisch geringe Qualität der aktuellen Studienlage hin (189). Im Vergleich mit der MPFL-Rekonstruktion treten nach der Goldthwait-Roux-Operation vermehrt Schmerzbeschwerden auf (145). Da eine MPFL-Plastik durch einen erfahrenen Operateur auch bei offenen Wachstumsfugen sicher angewendet werden kann, sollte die Goldthwait-Roux-Operation nur verwendet werden, wenn dadurch die eigentliche Pathologie, wie z.B. ein pathologisch verändertes distales Alignment mit vergrößertem TTTG-Abstand adressiert wird. (118). In unserem Patientenkollektiv wurde in einem Fall die Goldthwait-Roux-Methode ohne Vorliegen einer entsprechenden Pathologie verwendet.

Bei zwei Patienten wurde eine Stabilisierung mittels Operation nach Blauth durchgeführt - in einem Fall bei bereits verschlossenen Epiphysenfugen, obwohl selbst die Originalautoren W. Blauth und I. Schwarz diese Technik zur Therapie der kindlichen Patellaluxation beschrieben hatten (144). Es existieren nur vereinzelt Studien an kleinen Patientenkollektiven zum Outcome dieser seit 1989 bekannten Technik (190), weshalb bei dieser niedrigen Evidenzlage von der Verwendung im Besonderen nach Verschluss der Epiphysenfuge abgesehen werden sollte.

Die möglichen Optionen bei noch offenen Wachstumsfugen bestehen in der Gesamtheit je nach zugrundeliegender Pathologie aus der geführten Wachstumslenkung bei Genu valgum, einem distalen Realignment der Patellarsehne oder der MPFL-Rekonstruktion (116).

## **5.2 Unzureichende Berücksichtigung von Begleitpathologien**

Die Kenntnis und Adressierung der Risikofaktoren einer PFI ist von entscheidender Bedeutung für das Outcome einer patellastabilisierenden Therapie (10). Die

Trochleadysplasie erscheint hierunter der relevanteste Faktor zu sein. Dejour et al. beobachteten bei Patienten mit einer PFI bei 85% eine Trochleadysplasie (10). Nelitz et al. beschrieben an 19 jungen Patienten, die nach MPFL-Rekonstruktion einer Revisionsoperation unterzogen wurden, einen Zusammenhang zwischen einer hochgradigen Trochleadysplasie und dem Versagen des MPFL (28). In ihrer Studie postulierten sie als einen der häufigsten Gründe für das Versagen des MPFL das fehlende Adressieren von Begleitpathologien, im Besonderen der Trochleadysplasie bei 26,3%. In unserem Patientenkollektiv sahen wir unter Einbeziehung aller stabilisierender Verfahren die nicht adressierte, hochgradige Trochleadysplasie sogar bei 62,5%. Sie war damit der häufigste Grund für die Notwendigkeit einer Revisionsoperation. Ab einer Knieflexion von 30° hängt die Stabilität wesentlich von der knöchernen Anatomie der Trochlea ab. Durch eine isolierte MPFL-Plastik oder anderweitige weichteilige Eingriffe kann eine Stabilität in diesen Bewegungsgraden nicht suffizient erreicht werden. Im Falle von MPFL-Rekonstruktionen bei bestehender Dysplasie wird das Transplantat hohen biomechanischen Kräften ausgesetzt, die bis zu seinem Versagen in Form von Elongationen oder Ausrissen führen können (25). Zusätzlich können hohe punktuelle PF-Anpressdrücke induziert werden, die zu vorzeitig degenerativen Veränderungen führen (64). Klinisch macht sich diese Situation in Form einer erneuten Instabilität, Schmerzen, einer hypomobilen Patella oder einem Streckdefizit bemerkbar. In 2 von 3 Patienten mit hypomobiler Patella konnten wir dieses sekundäre Hyperkompressionssyndrom nach MPFL-Rekonstruktion mit begleitender hochgradiger Trochleadysplasie beobachten. Einen signifikanten Zusammenhang zu einem Bewegungsdefizit sahen wir nicht. Wir konstatierten lediglich einen Zusammenhang zwischen einem Extensionsdefizit und einer hochgradigen Trochleadysplasie, jedoch ohne Signifikanz.

Nach Fucentese et al. ist die Trochleoplastik zur Therapie der dysplastischen Trochlea eine zuverlässige Operationstechnik zur Verbesserung der PFI (191). Die Gesamtergebnisse hängen unmittelbar von dem Grad der Dysplasie ab, mit einem signifikant besseren klinischen Outcome bei Typ B und D-Dysplasie (191). Darüber hinaus sollte sie stets in Kombination mit einer MPFL-Rekonstruktion zum Erhalt der Stabilität in den ersten Beugegraden durchgeführt werden (192). Die Trochleoplastik ist zwar inzwischen eine etablierte chirurgische Methode, jedoch wird sie gemeinhin als anspruchsvoller chirurgischer Eingriff angesehen (193). Laut einer Online-Umfrage des Komitees Knie-Patellofemorale der AGA unter kniechirurgisch tätigen Mitgliedern im Jahr 2019 ist sich ein Großteil der Befragten (79%) der wichtigen Rolle der Trochleoplastik bei

wiederkehrender Patellaluxation bewusst (4). Jedoch zeigten die Ergebnisse, dass dieses operative Verfahren hauptsächlich von erfahrenen Chirurgen mit hohen Fallzahlen durchgeführt wird. Nur 25% der Gesamtbefragten, aber 60% der Chirurgen mit insgesamt hohen Fallzahlen einer PFI hatten jemals zuvor eine Trochleoplastik durchgeführt. Unter Betrachtung dieser Ergebnisse muss also konsequent vermutet werden, dass das häufige chirurgische Negieren einer relevanten Trochleadysplasie aus fehlender Erfahrung vieler Chirurgen mit der operativen Technik und nicht der Indikationsstellung heraus resultiert. Eine besondere Herausforderung stellt die Trochleadysplasie bei Kindern und Jugendlichen durch die enge Beziehung zwischen proximaler Trochlea und anteriorer distaler Femurepiphyse mit einer durchschnittlichen Distanz von 4,5mm dar (194). Derzeit wird von den meisten Autoren die Trochleoplastik bei offenen Wachstumsfugen als kontraindiziert angesehen (195). Doch Nelitz et al. konnten auch bei Kindern mit offenen Epiphysenfugen die Trochleadysplasie als Hauptrisikofaktor für eine wiederkehrende Instabilität nach patellastabilisierenden Operationen identifizieren (90). Ähnlich wie auch bei Erwachsenen adressieren andere operative Techniken die zugrundeliegende Pathologie nicht, sodass die Gefahr einer erneuten Instabilität besteht. Folgt man also den allgemeinen Empfehlungen, Trochleoplastiken erst nach Wachstumsabschluss durchzuführen, entsteht eine Therapielücke für Patienten mit offenen Wachstumsfugen und hochgradiger Trochleadysplasie mit hohem Risiko einer Relaxation und degenerativen Veränderungen. Mädchen erreichen den Höhepunkt ihres Wachstums zwischen dem 10. und 12., Jungs hingegen zwischen dem 12. und 14. Lebensjahr. In den Folgejahren nimmt die Wachstumsrate sukzessive ab (196, 197). Auf dieser Grundlage untersuchten Nelitz et al. 18 Jugendliche mit einer verbleibenden Wachstumszeit von geschätzt zwei Jahren zum Zeitpunkt der Trochleoplastik bei hochgradiger Trochleadysplasie im Zwei-Jahres-Follow-up nach Abschluss des Wachstums (136). Sie berichteten von guten klinischen Ergebnissen ohne Relaxation oder Wachstumsstörungen. Machado et al. untersuchten die Ergebnisse nach isolierter MPFL-Rekonstruktion bei Jugendlichen im mittel- und langfristigen Verlauf (198). Die langfristigen Ergebnisse waren signifikant schlechter, wenn die Patienten gleichzeitig eine Trochleadysplasie aufwiesen, weshalb die Autoren eine zweizeitige Trochleoplastik nach Wachstumsabschluss als erfolgversprechend erachteten. Die bisherigen Studien basieren weitestgehend auf kleinen Kohorten, sodass die endgültige Entscheidung nur individuell angepasst auf den jeweiligen Patienten erfolgen kann. Bei der Durchführung einer isolierten MPFL-Rekonstruktion ohne Adressierung der Trochleadysplasie sollte

nichtsdestotrotz ein sekundäres Hyperkompressionssyndrom durch vermehrten Anpressdruck vermieden werden, beispielsweise durch die einzeitige Durchführung einer lateralen Retinaculumverlängerung (25). Zudem ist zu diskutieren, ob ein artifizielles Sehnentransplantat statt eines autologen Sehnentransplantats verwendet werden sollte, um entsprechendes Sehnenmaterial für einen wahrscheinlichen Zweiteingriff einzusparen. In der Phase nach Abschluss des Wachstums sollte ein allzu langes zeitliches Aufschieben der Trochleoplastik aus zweierlei Gründen vermieden werden. Zum einen sind rezidivierende Luxationen mit einer hohen Inzidenz von Knorpelschäden vergesellschaftet (199), zum anderen unterliegt der hyaline Knorpel mit steigendem Alter degenerativen Veränderungen mit Abnahme seiner Flexibilität (200). Beides gemeinsam erschwert die technische Durchführung einer Trochleoplastik deutlich oder macht sie bei fortgeschrittenen Knorpelschäden bzw. arthrotischen Veränderungen gar unmöglich.

Basierend auf dem Q-Winkelprinzip ist bekannt, dass selbst bei physiologisch ausgebildeter Trochleagrube eine weit lateral lokalisierte Tuberositas tibiae zu einer obligatorischen Lateralisierung der Patella führt. Die Tuberositasmedialisierung ist der entsprechende operative Korrekturingriff der pathologischen Position. Als Operationsindikation wird derzeit ein TTTG-Abstand  $>20$  mm angegeben (10), wobei in der Literatur inzwischen unterschiedliche Grenzwerte beschrieben werden. Balcarek et al. sahen beispielsweise bereits einen TTTG-Abstand  $\geq 16$  mm als kritischen Grenzwert (68). Matsushita et al. zweifeln hingegen eine absolute Operationsindikation ab einer TTTG-Distanz  $>20$  mm an (201). In einer vergleichenden Studie von Patienten mit erhöhtem versus normwertigem TTTG-Abstand zeigte sich in beiden Gruppen nach isolierter MPFL-Rekonstruktion ein vergleichbares Outcome. Lediglich bei einem Patienten mit einer Distanz von 27 mm wurden ungewöhnliche Patellabewegungen beobachtet, weshalb die Autoren diese als Grenzwert betrachten. Diese kritische Auseinandersetzung mit den bisher publizierten Grenzwerten deckt sich auch mit unserer klinischen Praxis. Die Messung des TTTG-Abstands birgt mehrere Probleme. Die größte Problematik besteht in der großen Inter- und Intraobserverreliabilität. Lustig et al. zeigten eine durchschnittliche Differenz von 3,2 mm zwischen zwei aufeinanderfolgenden Messungen an jeweils MRT und CT (42). Des Weiteren müssen methodische Unterschiede in der Bewertung des TTTG-Abstands berücksichtigt werden. Mit zunehmender Flexion des Kniegelenks nimmt der gemessene TTTG-Abstand ab (202). Außerdem stellten Izadpanah et al. fest, dass der im MRT unter Gewichtsbelastung in

Streckung ermittelte TTTG-Abstand im Vergleich zur unbelasteten Aufnahme signifikant kleiner war, während sich der Effekt in 30° Beugung nicht signifikant zeigte (203). Yao et al. demonstrierten die Fehleranfälligkeit des TTTG-Abstands allein durch die Patientenlagerung. In ihren Messungen stellten sie fest, dass eine femorale Abduktion zu einer Überschätzung von 38° führt, eine Adduktion hingegen zu einer Unterschätzung von durchschnittlich 51% (204). Neben den rein methodischen Gesichtspunkten muss bedacht werden, dass der TTTG-Abstand von relevanten anatomischen Faktoren wie einer Trochleadysplasie oder Rotationsveränderungen femoral und tibial beeinflusst wird, weshalb zur Operationsplanung nicht nur ein einzelner Wert herangezogen werden sollte. Schlussendlich kann erst nach Beseitigung der Einflussgrößen eine abschließende Entscheidung zum Tuberositas-Transfer gestellt werden. In unserer Praxis hat sich die intraoperative Beurteilung des Patellalaufs bewährt. Ist die Patella manuell zu medialisieren und über den gesamten Bewegungsumfang zu halten, so besteht in unseren Augen keine Notwendigkeit eines medialisierenden Tuberositas-Transfers. In unserem Patientenkollektiv sahen wir nur einen Patienten mit einem nach derzeitigem Standard pathologisch veränderten TTTG-Wert von 28 mm. In diesem Fall bestand sowohl nach aktuell geltender Definition, nach den Beobachtungen von Matsushita et al., aber auch nach unserem eigenen Vorgehen, die Indikation zur operativen Korrektur. Nichtsdestotrotz wird die TTTG-Distanz stets als absoluter Wert angegeben, ohne die individuelle Größe des Kniegelenks in die Berechnung miteinzubeziehen, weshalb Hingelbaum et al. die Berechnung des TTTG-Indexes vorschlugen (157). In unserer Studie sahen wir bei 31,3% einen nach derzeit geltenden Kriterien grenzwertigen TTTG-Abstand von 15-20 mm und berechneten in diesen Fällen zusätzlich den dazugehörigen Index. Nur 45,5% erfüllten den von den Autoren vorgegebenen normwertigen Index  $<0,23$ , sodass nach Angaben der Arbeitsgruppe mehr als die Hälfte der eigentlich grenzwertigen Fälle eine pathologisch veränderte und damit therapiebedürftige lateralisierte Tuberositas zeigten. Entsprechend unserem eigenen Vorgehen, aber auch nach derzeit geltendem Standard, bestand in diesen sechs Fällen keine Indikation zum Tuberositas-Transfer. Es ist daher zu diskutieren, ob auch der vermeintlich objektivere Index eine klinisch bessere Indikationsstellung für ein operativ aufwändiges Verfahren mit einschränkender Nachbehandlung zulässt. Viel eher sollten zunächst Standards zur radiologischen Aufnahmetechnik und Patientenlagerung festgesetzt werden, die eine erneute Bestimmung von Grenzwerten erlaubt, deren klinische Relevanz für die operative Therapie darüber hinaus zu prüfen ist.

Die üblichen anatomischen Risikofaktoren, die bei einer operativen Versorgung beachtet werden sollten, sind bereits in der Literatur hinreichend beschrieben worden (10). Dies schützt den Behandler jedoch nicht davor, auch seltene anatomische Anomalien zu analysieren und ihren Einfluss auf das Operationsregime zu prüfen. In einem Patientenfall sahen wir einen prominenten medialen Femurkondylus, der den ursprünglichen Behandlern die femorale MPFL-Positionierung deutlich erschwerte und schließlich in einer zu weit ventral gelegenen Fixation resultierte (s. Abb. 61). Zusätzlich wirkte der Femurkondylus als Hypomochlion auf das Transplantat, sodass sich eine zu große Transplantatspannung bei zeitgleich dysplastischer Trochlea Typ B zeigte. In derartigen Fällen ist sowohl das grundlegende Wissen um die Biomechanik des PF-Gelenks als auch um die Wirkungsweise operativer Verfahren entscheidend, um schmerzhafte chronische Verläufe, wie in diesem Fall mit chronisch lateralisierter Patella zu vermeiden. Schlussendlich war im Rahmen der Revisionsoperation für eine schmerzfreie Normalisierung des Patellatrackings die Kombination aus Entfernung der MPFL-Plastik, partieller Osteotomie des medialen Femurkondylus und erneuter MPFL-Rekonstruktion mit Trochleoplastik, Lateraler Retinakulumverlängerung, Tuberositäsmedialisierung sowie Keblish-Plastik - zum Verschluss des lateralen intraartikulären Raums - notwendig.

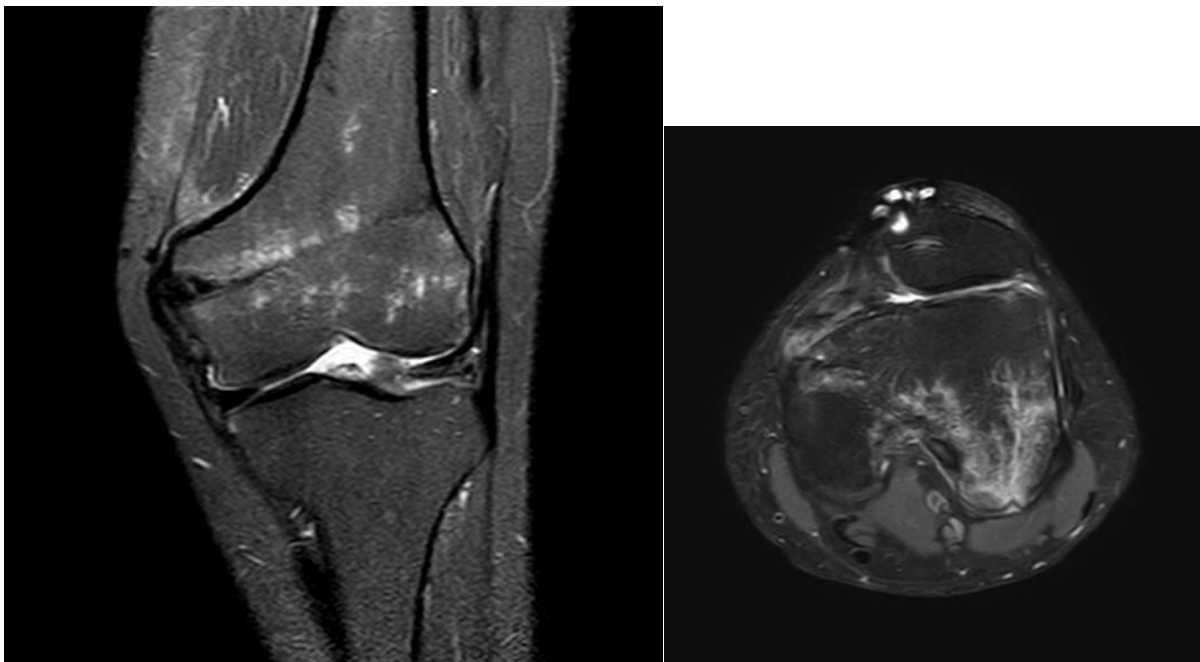


Abb. 60: Z.n. MPFL-Rekonstruktion bei angeborenem hyperplastischen medialen Femurkondylus

### 5.3 Technische Fehler in der Umsetzung eines operativen Verfahrens

Laut der Online-Umfrage des Komitees Knie-Patellofemoral aus dem Jahre 2019 favorisiert ein Großteil der Chirurgen die Durchführung einer MPFL-Rekonstruktion bei PF-Instabilität (4), was weitestgehend auf die nachweislich guten Resultate dieses Verfahrens zurückzuführen ist (5). Diese inzwischen standardisierte Operationsmethode mit relativ kurzer Nachbehandlungsdauer gilt als allgemein hin leicht zu erlernendes Verfahren (64), weshalb in der Zukunft mit einer steigenden Anzahl einerseits primärer MPFL-Rekonstruktionen und andererseits durchführender Chirurgen gerechnet werden muss (25). Sanchis-Alfonso et al. prophezeien auf dieser Basis einen Anstieg der zu erwartenden Revisionsoperationen nach MPFL-Rekonstruktion, von denen ein erheblicher Anteil auf technische Fehler zurückgeführt werden kann (24, 25).

In unserer Studie stellten wir im gesamten Patientenkollektiv bei 16,4% einen technischen Fehler fest. Unter ihnen fielen 83,3% auf eine Fehlplatzierung des MPFL zurück. Parikh et al. berichteten in ihrer Studie nach MPFL-Rekonstruktion an 179 Kniegelenken von einer Gesamtkomplikationsrate von 16,2%, von denen 47% auf einen technischen Fehler zurückgeführt wurden (24). Als Hauptursache lässt sich aus der Literatur, aber auch aus den Daten unserer Studie, die femorale Fehlpositionierung des MPFL nennen (205). In 50% einer femoralen Fixation des MPFL war diese in unserer Erhebung fehlerhaft. Bei der MPFL-Rekonstruktion handelt es sich um eine anatomische Rekonstruktion, sodass zum Erhalt einer physiologischen Biomechanik des PF-Gelenks die genaue Beachtung der Anatomie unabdingbar ist. Elias et al. untersuchten den biomechanischen Einfluss einer Fehlpositionierung (22). Eine zu weit proximal gewählte Positionierung resultiert ab einer Knieflexion von ca. 100° in einer größeren Transplantatspannung und damit einhergehend erhöhten Druckbelastung des PF-Gelenks, was sich klinisch durch medialisseitige Schmerzen und ein Flexionsdefizit bemerkbar macht. Langfristig kann diese erhöhte Druckbelastung zu Knorpelschäden und konsekutiv einer vorzeitigen Arthrosebildung führen. Eine zu weit ventrale Fixation zeigt ein ähnliches biomechanisches Verhalten. Im Gegensatz dazu wirkt das Transplantat bei zu distaler Positionierung wenig stabilisierend. Schöttle et al. empfehlen daher die intraoperative radiologische Prüfung der femoralen Fixation anhand einer streng seitlichen fluoroskopischen Aufnahme (161).

Die Genauigkeit bei der patellären Fixation erscheint insgesamt weniger gravierende Auswirkungen zu haben, da der Effekt einer Längenänderung des Transplantats eher

von der femoralen Fixation abhängt (115). Nach Nomura et al. inseriert das native MPFL an der medialen Patellakante im Bereich des proximalen Drittels (48). Die Schwierigkeit in der Fixation liegt darin, den dorsalen oder ventralen Patellakortex nicht zu perforieren, um Knorpelschäden oder lokale mechanische Komplikationen durch das Implantat zu vermeiden. Auch eine intramuskuläre Fehllage im Bereich des Quadrizepsmuskels, beispielsweise durch eingeschränkte Sichtverhältnisse bei ausgeprägtem Weichteilmantel, sind möglich und können zu schmerzhaften Vernarbungen führen (64). Von den insgesamt drei patellären Fehlplatzierungen in unserer Studie war in einem Fall das Implantat im Bereich der medialen Quadrizepssehne fixiert worden. Die hierdurch entstandenen Vernarbungen führten neben einer ausgeprägten Schmerzsymptomatik zu einer medialen Subluxation.

Aufmerksamkeit sollte auch dem Transplantatlager des MPFL zwischen der zweiten und dritten retikulären Schicht gewidmet werden (206). Eine versehentliche Anlage des Transplantatlagers in den VMO kann postoperativ zu einer fehlenden muskulären Rekrutierung und chronischen Schmerzbeschwerden führen (64).

Grundsätzlich konnten Chatterton et al. nach Revisionsoperationen einer MPFL-Rekonstruktion eine akzeptable PF-Stabilisierung erreichen, zeitgleich wiesen sie jedoch ein schlechteres subjektives Outcome im Vergleich zur primären MPFL-Rekonstruktion nach (205). Ein besonderes Augenmerk sollte daher bereits beim Primäreingriff auf eine korrekte technische Durchführung gelegt werden.

Eine in der Literatur eher selten beschriebene Komplikation behandelt die Überkorrektur bei medialisierendem Tuberositas-Transfer bei vergrößertem TTTG-Abstand (207). Bei 6,25% unserer Patienten sahen wir eine derartige Überkorrektur auf Werte  $< 10\text{mm}$  mit resultierender sekundärer medialer Instabilität, was einen Anteil von 16,7% der von uns registrierten technischen Fehler ausmacht. Prinzipiell sollte bei einer Medialisierung der Tuberositas tibiae auf TTTG-Werte von 15-20 mm korrigiert werden (137, 141). Dieser Wert kann individuell abhängig von Körpergröße oder begleitenden Pathologien angepasst werden (207), jedoch sollte man sich stets des Risikos einer erhöhten Druckbelastung des medialen PF-Gelenks bewusst sein. Bisherige biomechanische Simulationsanalysen konnten zwar mehrheitlich eine Reduktion des lateralen Patellatrackings und des Anpressdrucks im lateralen PF-Gelenk durch Medialisierung der Tuberositas feststellen, jedoch zeigten sie gleichzeitig eine Erhöhung der Druckverhältnisse im medialen PF-Gelenk (208). Zusätzlich sollte auch eine durch die



Medialisierung verursachte Druckerhöhung des medialen tibiofemorales Kompartiments beachtet werden (142). Hierdurch entstehende Knorpelschäden wurden bisher nicht festgestellt, nichtsdestotrotz empfehlen Kuroda et al. eine Medialisierung bei Varusdeformitäten, Kniegelenken mit Z.n. medialer Meniskektomie sowie bei vorbestehenden degenerativen Veränderungen des medialen Kompartiments zu vermeiden (142).

#### **5.4 Implantatversagen**

Ein Implantatversagen stellte mit 4,1% nur einen geringen Anteil der Fehlermöglichkeiten dar. Neben dem bereits unter Kapitel 5.1. erläuterten Versagen der lateralen Retinakulumverlängerung in zwei Fällen, beobachteten wir trotz anatomischer Fixation ein klinisches Versagen einer MPFL-Rekonstruktion mittels Fiber-Tape. Radiologisch schlossen wir einen Implantatausriss i.S. eines Fixationsversagens aus, sodass es entweder zu einer Elongation des Grafts gekommen sein oder bereits seit der Rekonstruktion eine Insuffizienz vorgelegen haben muss. Gegen letzteren Punkt spricht die Tatsache, dass sich die erneute laterale PF-Instabilität erst im Verlauf entwickelt hatte.

Aktuell gilt die Verwendung eines autologen Sehnenstransplantats, im Besonderen die Gracilissehne, als Goldstandard in der MPFL-Rekonstruktion. Doch ähnlich der Kreuzbandchirurgie existieren auch in der PF-Chirurgie Überlegungen zur MPFL-Rekonstruktion mittels artifizialen Transplantaten. Die erste klinische Studie unter Verwendung des Leeds Keio Ligaments (Neoligaments, Leeds, Großbritannien) und des Artrolig (Engimplan-Engenharia De Implante E Com, Brasilien) an 30 Patienten veröffentlichte Ellera Gomes 1992 (169). Er berichtete von einer Verbesserung der Beschwerdesymptomatik bei 83,8% nach einem 39-Monate-Follow-up. Berruto et al. sahen unter Verwendung des LARS R6x400 (LARS, Arc sur Tille, Frankreich), dem LARS-Ligament der zweiten Generation, mittelfristig gute Ergebnisse (209). In einem von 18 Fällen wurde eine Revisionsoperation aufgrund medialisierender Schmerzen notwendig, eine Rezidivinstabilität bestand in keinem Fall. Möglicherweise ist der Vertrauensverlust in die Implantation künstlicher Bänder, den insbesondere Kreuzbandchirurgen der neunziger Jahre erlitten, auch für die sehr spärliche Studienlage der folgenden Jahrzehnte in der PF-Chirurgie verantwortlich. Berichte über Komplikationen wie Rupturen, vermehrter Verschleiß, Synovitis, rezidivierende Instabilitäten, Osteolysen und

chronische Ergüsse nach Kreuzbandrekonstruktionen zwangen damals zum Verzicht synthetischer Transplantate (210). Erst mit der Entwicklung neuerer Implantate und der erfolgreichen Verwendung in anderen Bereichen der muskuloskeletalen Chirurgie scheint das Vertrauen in deren Verwendung auch in der PF-Chirurgie zu wachsen. Lee et al. veröffentlichten 2018 ihre Ergebnisse zur MPFL-Rekonstruktion mittels FiberTape® (Arthrex, FL, USA) (113). In einer prospektiven Studie verglichen sie 27 Kniegelenke mit einer autologen Gracilissehnen-Versorgung mit 23 einer artifiziellen Fiber-Tape®-Versorgung und zeigten in beiden Gruppen ein gutes postoperatives Outcome nach 48 Monaten ohne signifikante Unterschiede zwischen autologem und artifiziellen MPFL-Transplantat. FiberTape® ist ein hochvernetztes Polyethylenband mit einer Ummantelung eines geflochtenen Polyesterbands. Das Implantat wird bereits seit mehreren Jahren erfolgreich in der operativen Therapie von Rotatorenmanschettenläsionen und AC-Gelenksinstabilitäten eingesetzt und hat hier seine gute Gewebeverträglichkeit bewiesen (211, 212). In einem Tiermodell an Kaninchen nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion wurden neben einer guten Knocheneinheilung keine Anzeichen für Inflammation in der histologischen Aufarbeitung gesehen (213). Tsushima et al. stellten in einem kürzlich erschienenen biomechanischen Vergleich des nativen MPFL mit dem FiberTape® eine signifikant höhere Versagenslast und Steifigkeit des FiberTapes® fest (214). Diese Unterschiede im biomechanischen Verhalten sollten während der Implantation beachtet werden, da durch die erhöhte Steifigkeit die Gefahr eines Überspannens des Transplantats mit konsekutiver Hyperkompression besteht. Nichtsdestotrotz erscheint die Verwendung synthetischer Transplantate nach derzeitigem Stand eine erfolgversprechende Alternative darzustellen. Entnahmemorbiditäten wie neurovaskuläre Schäden, höhere Infektionsraten und längere Operationszeiten könnten hierdurch vermieden werden (26). Für eine bedenkenlosen Verwendung artifizierender Transplantate in der PF-Chirurgie sind jedoch mittel- und langfristige Ergebnisse abzuwarten.

## **5.5 Unzureichende präoperative radiologische Diagnostik**

Die Röntgendiagnostik des Kniegelenks bildet einzig und allein die Basis der radiologischen Diagnostik bei PFI. Sie dient lediglich der grob orientierenden Einschätzung zugrundeliegender Begleitpathologien (80). So lässt sich im seitlichen Strahlengang einerseits die Patellahöhe bestimmen (59, 60), andererseits zeigen sich

hier die klassischen von Dejour definierten qualitativen und quantitativen Zeichen einer Trochleadysplasie (10). Insbesondere die Bestimmung des „Crossing Sign“ gelingt jedoch nur anhand einer streng seitlichen Aufnahme. Werden die posterioren Kondylen nicht exakt übereinander projiziert, so kann ein falsch positives Crossing Sign resultieren (81). Da die notwendige Aufnahmequalität nur selten in zufriedenstellendem Maße erreicht wird, ist die Aussagekraft der seitlichen Röntgenaufnahme stets kritisch zu hinterfragen.

Die ausreichende Beurteilung des Patellofemoralgelenks in der axialen Röntgenaufnahme hinsichtlich einer Trochleadysplasie ist stark anzuzweifeln. Stäubli et al. zeigten bereits 1999 in einer MRT-Untersuchung an kryokonservierten Kadavern mit normaler Trochleakonfiguration die fehlende Übereinstimmung der Geometrie der knöchernen Oberfläche der Trochlea mit ihrer knorpeligen Oberfläche (85), was später auch durch van Huyssteen et al. an Kniegelenken mit dysplastischer Trochlea belegt werden konnte (215). Dies zeigt, dass die Röntgendiagnostik die Ausprägung der Dysplasie nicht vollumfänglich erfassen kann. Eine Trochleadysplasie sowie weitere morphologische Risikofaktoren für eine PFI können suffizient mittels MRT-Diagnostik dargestellt werden, sodass diese Methode neben der klinischen Untersuchung den zentralen Pfeiler der präoperativen Diagnostik darstellt (78). Auf die obligate Durchführung einer entsprechenden MRT-Diagnostik war in einem Fall unseres Patientenkollektivs anamnestisch verzichtet worden. Möglicherweise war aus diesem Grund die in diesem Fall bestehende Trochleadysplasie Typ C zuvor unterschätzt und daher operativ nicht korrigiert worden.

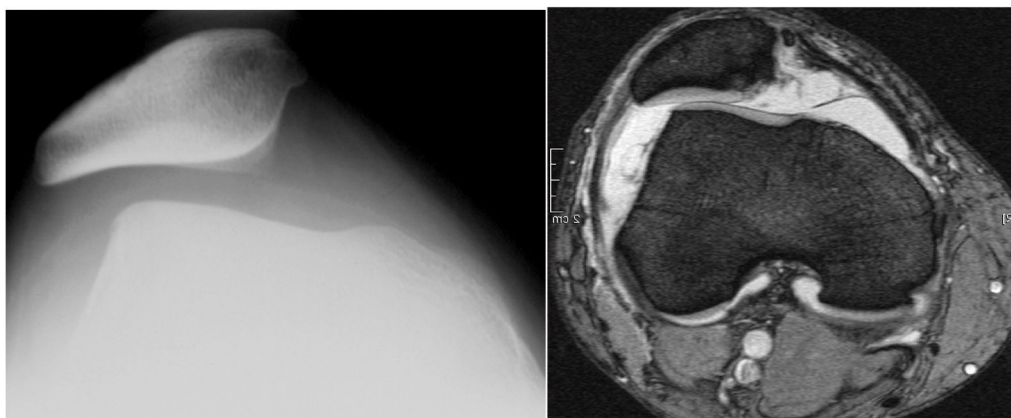


Abb. 61: Vergleich Röntgen- und MRT-Diagnostik axial Aus: (132)

Die Online-Umfrage des Komitees Knie-Patellofemoral 2019 umfasste neben der Frage nach der operativen Versorgung patellofemorale Instabilitäten anhand konstruierter Patientenfälle auch den Umgang mit der präoperativen radiologischen Diagnostik unter praktisch tätigen Chirurgen (4). Es bestand ein signifikanter Unterschied zwischen Chirurgen mit hoher (3,9%) und geringerer chirurgischer Expertise (1%) im Bereich der PF-Chirurgie hinsichtlich der zusätzlichen, erweiterten radiologischen Diagnostik zur Bewertung von Rotations- und Achsdeformitäten der unteren Extremitäten. In unserem Patientenkollektiv präsentierten sich zwei Patienten mit einer klinisch apparenten Fehlrotation mit vermehrter femoraler Antetorsion, bei denen zuvor keine entsprechende radiologische Diagnostik durchgeführt worden war. Prinzipiell bestehen keine messbaren Vorgaben für die Durchführung von zusätzlicher radiologischer Diagnostik. Die Entscheidung obliegt der subjektiven Betrachtung der Untersuchenden und basiert auf deren Einschätzung über die Ausprägung einer Fehlrotation oder Achsfehlstellung (80). Auch in unserer Praxis sehen wir derzeit die Durchführung von Röntgen-Ganzbeinaufnahmen oder MRT-Rotationsmessungen erst bei hochgradiger Deformität im Bereich der unteren Extremität als indiziert, weshalb wir auch nur in derartigen Fällen eine unzureichende präoperative Diagnostik attestierten. Diese Herangehensweise kann durch die Arbeiten von Liebensteiner et al. und Imhoff et al. diskutiert werden (147, 216). Liebensteiner et al. sahen in ihrer Arbeit an 40 CT-Untersuchungen unterer Extremitäten einen signifikanten Zusammenhang zwischen vermehrter femoraler Anteversion und einer dysplastischen Trochlea. Sie vermuteten durch die Erhöhung des Q-Winkels eine vermehrte Belastung der lateralen und geringere Beanspruchung der medialen Trochleafacette und damit eine konsekutive Veränderung der Trochleamorphologie. Inwiefern es sich bei den Untersuchungen um Patienten mit PFI handelte, ist aufgrund der zufälligen Auswahl der CT-Bilder nicht bekannt (216). Imhoff et al. untersuchten hingegen die Korrelation unterschiedlicher Risikofaktoren anhand einer vollständigen radiologischen Untersuchung des Kniegelenks und der Achs- sowie Rotationsverhältnisse von 151 Patienten mit PFI. Sie wiesen eine signifikante Korrelation zwischen femoraler Antetorsion, tibialer Außenrotation, Trochleadysplasie, vergrößertem TTTG-Abstand und der mechanischen Beinachse nach (147). Aus diesem Grund könnte neben dem klinischen Untersuchungsbefund auch der Nachweis einer Trochleadysplasie oder eines erhöhten TTTG-Abstands ausschlaggebend für die Durchführung einer fortgeschrittenen Diagnostik sein. Ob sich jedoch automatisch eine therapeutische Relevanz aus einer korrelierenden Rotationsfehlstellung ergibt, geht aus

beiden Studien nicht unmittelbar hervor. Möglicherweise können bei kombinierten knöchernen Pathologien andere Grenzwerte als nur bei isolierten Deformitäten angenommen werden, da sich beispielsweise bereits durch eine Korrektur der Dysplasie gleichzeitig eine veränderte Rotationsstellung der Trochlea erreichen lässt. Somit wären klassische derotierende Operationen erst ab höheren Rotationsgraden notwendig.

## **5.6 Wachstumsbedingtes Neuauftreten von Begleitpathologien**

Ein Neuauftreten oder auch eine Progredienz von Begleitpathologien mit klinischer Relevanz innerhalb des Wachstums wird in der Literatur insbesondere für die Trochleadysplasie diskutiert (217). In dem von uns eingeschlossenen Patientenkollektiv konnten wir anhand der uns vorliegenden Daten keinen derartigen Prozess feststellen. Jedoch lässt das von uns gewählte Studiendesign keine umfängliche zuverlässige Evaluierung zu, da nicht in jedem Patientenfall die radiologische Diagnostik vor Primäreingriff vorlag. Nichtsdestotrotz sollte diese Ursache auch in der Planung zukünftiger Studien Beachtung finden.

Richmond et al. untersuchten in einer Kadaverstudie an 31 Kniegelenken von zwei- bis elfjährigen Individuen das Wachstumsverhalten von Trochlea und Patella (217). Es zeigte sich eine gleichermaßen Formveränderung von Patella und Trochlea, weshalb die Autoren ein Zusammenspiel zwischen beiden Gelenkpartnern innerhalb des Wachstums vermuten. Weiterhin sahen sie eine zunehmende Vertiefung des Sulcus trochlearis bis zum Alter von acht Jahren, die sich in den Folgejahren gleichförmig zeigte. Parikh et al. untersuchten hingegen die morphologischen Veränderungen speziell einer Trochleadysplasie innerhalb des Wachstumsprozesses retrospektiv anhand MRT-Aufnahmen von Adoleszenten mit PFI (166). Einerseits veränderte sich die Form der Trochleadysplasie gemessen am Sulcuswinkel und der Dejourklassifikation nicht, andererseits stellten die Autoren aber eine signifikante Zunahme sowohl eines chondralen als auch eines knöchernen Bumps fest, der in einigen Fällen bis zum Alter von 15,1 Jahren pathologische Werte erreichen konnte. Ein häufig vermutetes Remodeling der Trochleaform durch eine operative Patellastabilisierung konnte die Arbeitsgruppe in einer neueren Studie bei Kindern älter als zehn Jahre nicht feststellen (218). Anhand der bisherigen spärlichen Datenlage scheint die Trochleadysplasie am ehesten auf eine genetische Prädisposition zurückzuführen und während des Wachstums sowohl endogen als auch exogen in seiner Form nur wenig beeinflussbar zu

sein (219). Die bisherigen Studien geben Hinweise darauf, dass einzelne Ausprägungen dysplastischer Veränderungen, wie dem trochleären Bump, einem Wachstumsprozess unterliegen können, sodass entsprechende Veränderungen in die Planung des operativen Therapieregimes einfließen sollten. So könnte ein zunächst klinisch nicht relevanter trochleärer Bump im Wachstumsverlauf zu Instabilitäten auch in höheren Flexionsgraden führen und Versagensgrund für eine bereits durchgeführte MPFL-Rekonstruktion werden. Die Folge wäre die MPFL-Revision mit der Notwendigkeit einer zweiten Transplantatentnahme in bereits jungem Patientenalter.

Die Stellung der Beinachse ist ebenfalls wachstumsbedingten Änderungen unterlegen. Während die Femurdiaphyse unmittelbar nach der Geburt vertikal verläuft, entwickelt sie mit Beginn des Laufens bis zum 7. Lebensjahr den bekannten schrägen Verlauf und induziert damit den natürlichen Valgus des Streckapparats (220). Dieser schräge Verlauf entwickelt sich nicht bei Kindern, die das Laufen nie erlernen (220).

Die Femurtorsion zeigt bei Geburt eine charakteristische Antetorsion von  $35^{\circ}$ - $40^{\circ}$  und reduziert sich im Wachstumsverlauf bis zum Alter von acht Jahren um zunächst 80% und bis zum 12.-14. Lebensjahr auf den physiologischen Bereich von Erwachsenen von ca.  $10^{\circ}$ - $25^{\circ}$  (221, 222). Abweichungen hiervon sind häufig idiopathischer Genese, können jedoch auch auf Bewegungsstörungen, wie z.B. bei einer Zerebralparese, auf Femurfrakturen oder eine Hüft dysplasie zurückzuführen sein (223).

Die tibiale Torsion korrigiert sich physiologischerweise von einer initial Innentorsion von  $2^{\circ}$ - $4^{\circ}$  bis in das Alter von 8-10 Jahren in eine Außentorsion von  $15^{\circ}$ - $20^{\circ}$  und resultiert in einem Fußöffnungswinkel von  $5^{\circ}$ - $10^{\circ}$ . Eine unphysiologische tibiale Torsion kann idiopathisch auftreten, aber auch als Kompensation einer vermehrten femoralen Antetorsion oder auf dem Boden einer neurologischen Grunderkrankung. Sie zeigt in der Regel keine Rückbildungstendenz (224).

Beide Torsionsfehlstellungen, sowohl femoral als auch tibial, sind einer konservativen Therapie nicht zugänglich. Während die vermehrte femorale Antetorsion bei PFI im Kindes- oder Erwachsenenalter einer derotierenden Korrekturosteotomie bedarf, so gilt dies prinzipiell bei isolierter tibialer Innentorsion bereits im Kindesalter auch ohne das Vorliegen einer PFI ab einer Außentorsion von  $40^{\circ}$ , da sie sekundär die femorale Femurtorsion beeinflussen kann (223).

## **5.7 Adäquates Trauma**

In der Literatur gibt es bisher keine verlässlichen Daten über die rein traumatisch bedingte Rezidivinstabilität nach patellastabilisierenden Operationen. Doch bereits unter Einbeziehung der epidemiologischen Daten bei Patellaerstluxation ist analog von einem geringen Anteil auszugehen (70), weshalb es nicht verwundert, dass wir in unserem Patientenkollektiv kein adäquates Trauma als Versagensursache feststellen konnten.

Die Mehrheit der Patellaerstluxationen ereignet sich im Rahmen sportlicher Tätigkeiten. Atkin et al. berichteten in ihrem Patientenkollektiv bei 72% von einer Patellaerstluxation während sportlicher Aktivitäten, von denen etwa zwei Drittel auf pivotierende Level-1-Sportarten zurückzuführen waren (225). Nichtsdestotrotz ist auch in diesen Fällen von einer am ehesten atraumatischen oder gering traumatischen Genese auszugehen (226). Balcarek et al. sahen in nur 3% der Primärluxationen ein echtes Trauma i.S. einer Krafteinwirkung auf die mediale Patella oder ein Sturzereignis als ursächlich (227). Es lässt sich daher unter Einbeziehung unserer Daten mutmaßen, dass extrinsische Faktoren als Versagensursache nach PF-Stabilisierung nahezu vernachlässigbar sind.

## **5.8 Stärken und Limitationen der Studie**

Die vorliegende Studie beinhaltet einige Einschränkungen, die bei Betrachtung der Ergebnisse beachtet werden sollten.

In die Studie wurde eine eher kleine Studienpopulation eingeschlossen, was die statistische Signifikanzbestimmung zwischen selten vertretenen Variablen erschwert. Doch abgesehen von wenigen Ausnahmen zeigen sich in der Literatur zur Patellofemoralkirurgie häufig ähnliche oder kleinere Patientenkollektive. Insbesondere die PF-Revisionschirurgie ist eine vergleichsweise junge Disziplin, die erst in den vergangenen Jahren im Zuge der breiten Durchführung der MPFL-Rekonstruktion weiter in den Fokus gerückt ist, weshalb noch weitestgehend Unkenntnis über deren Ursachen herrscht. Nach unserem Wissen handelt es sich bei der vorliegenden Studie um die erste Analyse, die an einem repräsentativen Patientenkollektiv grundsätzlich Ursachen, die zu einer Revisionsoperation nach patellastabilisierenden Eingriffen führen, systematisch herausarbeitet.

Wir besitzen in unserem Zentrum deutschlandweit die größte Expertise für die Durchführung von Trochleoplastiken. Patienten stellen sich daher häufig mit bereits diagnostizierter Trochleadysplasie selbständig oder veranlasst durch ärztliche Kollegen vor. Aus diesem Grund müssen wir von einem Selektionsbias unseres Patientenkollektivs ausgehen. Möglicherweise lässt sich hierdurch die geringe Patientenzahl mit notwendiger Achs- oder Rotationskorrektur der unteren Extremität aber vergleichsweise hohe Anzahl notwendiger Trochleoplastiken erklären. Eine multizentrische Analyse, die unterschiedliche Behandlungsschwerpunkte einbezieht, wäre daher wünschenswert.

In den letzten Jahren konnten bereits umfängliche Standards zur Therapie der PFI entwickelt werden, die bei einem Großteil der Patienten eine einfache und effektive Therapie erlauben. Doch weichen bei komplexen und kombinierten hochgradigen Instabilitäten, insbesondere im Wachstumsalter, die Expertenmeinungen mitunter voneinander ab. Die Ursachenzuschreibung lässt sich daher in einigen wenigen Fällen diskutieren und wird möglicherweise in den nächsten Jahren einem Wandel unterliegen. Nichtsdestotrotz bietet der durch uns entwickelte Entscheidungspfad bereits jetzt eine praktische Hilfe zur strukturierten Analyse von PFI oder PFS nach patellastabilisierenden Operationen und erlaubt dem klinisch tätigen Chirurgen eine fokussierte Übersicht zur Planung notwendiger Revisionsoperationen.



## **6 Schlussfolgerung**

Die vorliegende Studie ist die erste strukturierte Analyse, die anhand eines repräsentativen Patientenkollektivs Ursachen für das Versagen von patellastabilisierenden operativen Eingriffen systematisch herausarbeitet. Die Ergebnisse zeigen, dass trotz weitreichend publizierter Guidelines und Therapiealgorithmen weiterhin die Versagensursache in der unzureichenden Indikationsstellung von patellastabilisierenden Verfahren und der insuffizienten Adressierung von Begleitpathologien, wie der Trochleadysplasie, begründet liegt. Folglich scheint die Mehrheit notwendiger Revisionsoperationen durch den Behandler induziert und somit durch verbesserte Diagnostik, Einhaltung der bestehenden Guidelines und Indikationsstellung vermeidbar.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Senavongse W, Amis AA. The effects of articular, retinacular, or muscular deficiencies on patellofemoral joint stability: a biomechanical study in vitro. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87(4):577-82.
2. Balcarek P, Liebensteiner M. Indikationen für konservative und operative Behandlungsoptionen. In: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral, editor. *Die Therapie der instabilen Patella.* Zürich: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral; 2016. p. 8-13.
3. Biedert RM. Patellainstabilität. In: Kohn D, editor. *Expertise Knie.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2016. p. 252-9.
4. Geierlehner A, Liebensteiner M, Schottle P, Dirisamer F. Prevailing disagreement in the treatment of complex patellar instability cases: an online expert survey of the AGA Knee-Patellofemoral Committee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020.
5. Schneider DK, Grawe B, Magnussen RA, Ceasar A, Parikh SN, Wall EJ, Colosimo AJ, Kaeding CC, Myer GD. Outcomes After Isolated Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction for the Treatment of Recurrent Lateral Patellar Dislocations: A Systematic Review and Meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2016;44(11):2993-3005.
6. Petri M, von Falck C, Broese M, Liidakis E, Balcarek P, Niemeyer P, Hofmeister M, Krettek C, Voigt C, Haasper C, Zeichen J, Frosch KH, Lill H, Jagodzinski M. Influence of rupture patterns of the medial patellofemoral ligament (MPFL) on the outcome after operative treatment of traumatic patellar dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(3):683-9.
7. Amis AA, Firer P, Mountney J, Senavongse W, Thomas NP. Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. *Knee.* 2003;10(3):215-20.
8. Hautamaa PV, Fithian DC, Kaufman KR, Daniel DM, Pohlmeier AM. Medial soft tissue restraints in lateral patellar instability and repair. *Clin Orthop Relat Res.* 1998(349):174-82.
9. Fithian DC, Mishra DK, Balen PF, Stone ML, Daniel DM. Instrumented measurement of patellar mobility. *Am J Sports Med.* 1995;23(5):607-15.
10. Dejour H, Walch G, Nove-Josserand L, Guier C. Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 1994;2(1):19-26.

11. Hiemstra LA, Kerslake S, Kupfer N, Lafave M. Patellofemoral Stabilization: Postoperative Redislocation and Risk Factors Following Surgery. *Orthop J Sports Med.* 2019;7(6):2325967119852627.
12. Arendt EA, Fithian DC, Cohen E. Current concepts of lateral patella dislocation. *Clin Sports Med.* 2002;21(3):499-519.
13. Chassaing V, Tremoulet J. [Medial patellofemoral ligament reconstruction with gracilis autograft for patellar instability]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2005;91(4):335-40.
14. Avikainen VJ, Nikku RK, Seppanen-Lehmonen TK. Adductor magnus tenodesis for patellar dislocation. Technique and preliminary results. *Clin Orthop Relat Res.* 1993(297):12-6.
15. Bereiter H, Gautier E. The trochleoplasty as a surgical therapy of recurrent dislocation of the patella in dysplastic trochlea of the femur. *Arthroscopie.* 1994;7:281-6.
16. Caton JH, Dejour D. Tibial tubercle osteotomy in patello-femoral instability and in patellar height abnormality. *Int Orthop.* 2010;34(2):305-9.
17. Strecker W, Dickschas J. [Torsional osteotomy: Operative treatment of patellofemoral maltracking]. *Oper Orthop Traumatol.* 2015;27(6):505-24.
18. Kwon JH, Kim JI, Seo DH, Kang KW, Nam JH, Nha KW. Patellar dislocation with genu valgum treated by DFO. *Orthopedics.* 2013;36(6):840-3.
19. Vacariu A, Studer K, Rutz E, Camathias C. High failure rate 10.8 years after vastus medialis transfer and lateral release (Green's quadricepsplasty) for recurrent dislocation of the patella. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019.
20. Bollier M, Fulkerson J, Cosgarea A, Tanaka M. Technical failure of medial patellofemoral ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2011;27(8):1153-9.
21. Sappey-Mariniere E, Sonnery-Cottet B, O'Loughlin P, Ouanezar H, Reina Fernandes L, Kouevidjin B, Thauinat M. Clinical Outcomes and Predictive Factors for Failure With Isolated MPFL Reconstruction for Recurrent Patellar Instability: A Series of 211 Reconstructions With a Minimum Follow-up of 3 Years. *Am J Sports Med.* 2019;47(6):1323-30.
22. Elias JJ, Cosgarea AJ. Technical errors during medial patellofemoral ligament reconstruction could overload medial patellofemoral cartilage: a computational analysis. *Am J Sports Med.* 2006;34(9):1478-85.

23. Gesslein M, Roessler PP, Schuttler KF, Biber R, Bail HJ, Efe T. Complications and failure of MPFL reconstruction with free tendon grafts in cases of patellofemoral instability. *Technol Health Care*. 2015;23(5):659-66.
24. Parikh SN, Nathan ST, Wall EJ, Eismann EA. Complications of medial patellofemoral ligament reconstruction in young patients. *Am J Sports Med*. 2013;41(5):1030-8.
25. Sanchis-Alfonso V, Montesinos-Berry E, Ramirez-Fuentes C, Leal-Blanquet J, Gelber PE, Monllau JC. Failed medial patellofemoral ligament reconstruction: Causes and surgical strategies. *World J Orthop*. 2017;8(2):115-29.
26. Shah JN, Howard JS, Flanigan DC, Brophy RH, Carey JL, Lattermann C. A systematic review of complications and failures associated with medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocation. *Am J Sports Med*. 2012;40(8):1916-23.
27. Tanaka MJ, Bollier MJ, Andrish JT, Fulkerson JP, Cosgarea AJ. Complications of medial patellofemoral ligament reconstruction: common technical errors and factors for success: AAOS exhibit selection. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(12):e87.
28. Nelitz M, Williams RS, Lippacher S, Reichel H, Dornacher D. Analysis of failure and clinical outcome after unsuccessful medial patellofemoral ligament reconstruction in young patients. *Int Orthop*. 2014;38(11):2265-72.
29. Amis AA, Senavongse W, Bull AM. Patellofemoral kinematics during knee flexion-extension: an in vitro study. *J Orthop Res*. 2006;24(12):2201-11.
30. Feller JA, Amis AA, Andrish JT, Arendt EA, Erasmus PJ, Powers CM. Surgical biomechanics of the patellofemoral joint. *Arthroscopy*. 2007;23(5):542-53.
31. Shih YF, Bull AM, Amis AA. The cartilaginous and osseous geometry of the femoral trochlear groove. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2004;12(4):300-6.
32. Hungerford DS, Barry M. Biomechanics of the patellofemoral joint. *Clin Orthop Relat Res*. 1979(144):9-15.
33. Wiberg G. Roentgenographs and anatomic studies on the femoropatellar joint: with special reference to chondromalacia patellae. *Acta Orthop Scand*. 1941;12:319-410.
34. Amis AA. Current concepts on anatomy and biomechanics of patellar stability. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2007;15(2):48-56.
35. McWalter EJ, Cibere J, MacIntyre NJ, Nicolaou S, Schulzer M, Wilson DR. Relationship between varus-valgus alignment and patellar kinematics in individuals with knee osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(12):2723-31.

36. Dickschas J, Harrer J, Pfefferkorn R, Strecker W. Operative treatment of patellofemoral maltracking with torsional osteotomy. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(3):289-98.
37. 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:Suppl 68:1-148.
38. Hehne HJ. Biomechanics of the patellofemoral joint and its clinical relevance. *Clin Orthop Relat Res.* 1990(258):73-85.
39. Amis AA, Farahmand F. Extensor mechanism of the knee. *Current Orthopaedics.* 1996;10(2):102-9.
40. Goutallier D, Bernageau J, Lecudonnec B. [The measurement of the tibial tuberosity. Patella groove distanced technique and results (author's transl)]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1978;64(5):423-8.
41. Sherman SL, Erickson BJ, Cvetanovich GL, Chalmers PN, Farr J, 2nd, Bach BR, Jr., Cole, BJ. Tibial Tuberosity Osteotomy: Indications, Techniques, and Outcomes. *Am J Sports Med.* 2014;42(8):2006-17.
42. Lustig S, Servien E, Ait Si Selmi T, Neyret P. [Factors affecting reliability of TT-TG measurements before and after medialization: A CT-scan study]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2006;92(5):429-36.
43. Conlan T, Garth WP, Jr., Lemons JE. Evaluation of the medial soft-tissue restraints of the extensor mechanism of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1993;75(5):682-93.
44. Nomura E, Horiuchi Y, Kihara M. Medial patellofemoral ligament restraint in lateral patellar translation and reconstruction. *Knee.* 2000;7(2):121-7.
45. Desio SM, Burks RT, Bachus KN. Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee. *Am J Sports Med.* 1998;26(1):59-65.
46. Nomura E, Horiuchi Y, Inoue M. Correlation of MR imaging findings and open exploration of medial patellofemoral ligament injuries in acute patellar dislocations. *Knee.* 2002;9(2):139-43.
47. Tuxoe JI, Teir M, Winge S, Nielsen PL. The medial patellofemoral ligament: a dissection study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2002;10(3):138-40.
48. Nomura E, Inoue M, Osada N. Anatomical analysis of the medial patellofemoral ligament of the knee, especially the femoral attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2005;13(7):510-5.

49. Steensen RN, Dopirak RM, McDonald WG, 3rd. The anatomy and isometry of the medial patellofemoral ligament: implications for reconstruction. *Am J Sports Med.* 2004;32(6):1509-13.
50. Weinstabl R, Scharf W, Firbas W. The extensor apparatus of the knee joint and its peripheral vasti: anatomic investigation and clinical relevance. *Surg Radiol Anat.* 1989;11(1):17-22.
51. Bose K, Kanagasuntheram R, Osman MB. Vastus medialis oblique: an anatomic and physiologic study. *Orthopedics.* 1980;3(9):880-3.
52. Panagiotopoulos E, Strzelczyk P, Herrmann M, Scuderi G. Cadaveric study on static medial patellar stabilizers: the dynamizing role of the vastus medialis obliquus on medial patellofemoral ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(1):7-12.
53. Farahmand F, Senavongse W, Amis AA. Quantitative study of the quadriceps muscles and trochlear groove geometry related to instability of the patellofemoral joint. *J Orthop Res.* 1998;16(1):136-43.
54. Ahmed AM, Duncan NA. Correlation of patellar tracking pattern with trochlear and retropatellar surface topographies. *J Biomech Eng.* 2000;122(6):652-60.
55. Farahmand F, Tahmasbi MN, Amis AA. Lateral force-displacement behaviour of the human patella and its variation with knee flexion--a biomechanical study in vitro. *J Biomech.* 1998;31(12):1147-52.
56. Caton J, Mironneau A, Walch G, Levigne C, Michel CR. [Idiopathic high patella in adolescents. Apropos of 61 surgical cases]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1990;76(4):253-60.
57. Geenen E, Molenaers G, Martens M. Patella alta in patellofemoral instability. *Acta Orthop Belg.* 1989;55(3):387-93.
58. Larsen E, Lauridsen F. Conservative treatment of patellar dislocations. Influence of evident factors on the tendency to redislocation and the therapeutic result. *Clin Orthop Relat Res.* 1982(171):131-6.
59. Caton J. [Method of measuring the height of the patella]. *Acta Orthop Belg.* 1989;55(3):385-6.
60. Insall J, Salvati E. Patella position in the normal knee joint. *Radiology.* 1971;101(1):101-4.
61. Lancourt JE, Cristini JA. Patella alta and patella infera. Their etiological role in patellar dislocation, chondromalacia, and apophysitis of the tibial tubercle. *J Bone Joint Surg Am.* 1975;57(8):1112-5.

62. Dejour D, Reynaud P, Lecoultre B. Douleurs et instabilité rotulienne. Essai de classification. *Med Hyg.* 1998;56:1466-71.
63. Frosch K-H, Akoto R, Heitmann M, Preiss A. Patellofemorale Instabilität. *Arthroskopie.* 2015;28(3):194-201.
64. Schmeling A, Schöttle P. Revisionen nach MPFL-Rekonstruktion. *Arthroskopie.* 2015;28(3):202-2012.
65. Fulkerson JP. Diagnosis and treatment of patients with patellofemoral pain. *Am J Sports Med.* 2002;30(3):447-56.
66. Becher C. Anamnese. In: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral, editor. *Untersuchungstechniken/ Diagnostik des Patellofemoralgelenks.* Zürich: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral; 2016. p. 18-20.
67. Jaquith BP, Parikh SN. Predictors of Recurrent Patellar Instability in Children and Adolescents After First-time Dislocation. *J Pediatr Orthop.* 2017;37(7):484-90.
68. Balcarek P, Oberthür S, Hopfensitz S, Frosch S, Walde TA, Wachowski MM, Schüttrumpf JP, Stürmer KM. Which patellae are likely to redislocate? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(10):2308-14.
69. Lewallen LW, McIntosh AL, Dahm DL. Predictors of recurrent instability after acute patellofemoral dislocation in pediatric and adolescent patients. *Am J Sports Med.* 2013;41(3):575-81.
70. Fithian DC, Paxton EW, Stone ML, Silva P, Davis DK, Elias DA, White LM. Epidemiology and natural history of acute patellar dislocation. *Am J Sports Med.* 2004;32(5):1114-21.
71. Pagenstert GI, Bachmann M. [Clinical examination for patellofemoral problems]. *Orthopade.* 2008;37(9):890-5, 7-903.
72. Loudon JK, Wiesner D, Goist-Foley HL, Asjes C, Loudon KL. Intrarater Reliability of Functional Performance Tests for Subjects With Patellofemoral Pain Syndrome. *J Athl Train.* 2002;37(3):256-61.
73. Lerat JL, Moyon B, Galland O, Bochu M. [Morphological types of the lower limbs in femoro-patellar disequilibrium. Analysis in 3 planes]. *Acta Orthop Belg.* 1989;55(3):347-55.
74. Lee TQ, Yang BY, Sandusky MD, McMahon PJ. The effects of tibial rotation on the patellofemoral joint: assessment of the changes in in situ strain in the peripatellar retinaculum and the patellofemoral contact pressures and areas. *J Rehabil Res Dev.* 2001;38(5):463-9.

75. Schneider B, Laubenberger J, Jemlich S, Groene K, Weber HM, Langer M. Measurement of femoral antetorsion and tibial torsion by magnetic resonance imaging. *Br J Radiol.* 1997;70(834):575-9.
76. Strecker W. Planning analysis of knee-adjacent deformities. I. Frontal plane deformities. *Oper Orthop Traumatol.* 2006;18(3):259-72.
77. Attal R, Dirisamer F, Pagenstert G. Klinische Untersuchung des Patellofemoralgelenks. In: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral, editor. *Untersuchungstechniken/ Diagnostik des Patellofemoralgelenks.* Zürich: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral; 2016. p. 22-38.
78. Mauch F, Ammann B, Kraus M. MRT des Kniegelenks unter besonderer Berücksichtigung der Patellaluxation. *Der Unfallchirurg.* 2014(3):211-20.
79. Schmeling A. Aktuelle Aspekte der patellofemorale Instabilität. Tuttingen: Stiftung zur Förderung der Arthroskopie; 2010.
80. Seitlinger G, Liebensteiner M. Bildgebung des Patellofemoralgelenks. In: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral, editor. *Untersuchungstechniken/ Diagnostik des Patellofemoralgelenks.* Zürich: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral; 2016. p. 40-8.
81. Koëter S, Bongers EM, de Rooij J, van Kampen A. Minimal rotation aberrations cause radiographic misdiagnosis of trochlear dysplasia. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(8):713-7.
82. Laurin CA, Dussault R, Levesque HP. The tangential x-ray investigation of the patellofemoral joint: x-ray technique, diagnostic criteria and their interpretation. *Clin Orthop Relat Res.* 1979(144):16-26.
83. Irger M, Achtnicht A, Imhoff AB, Schmitt A. Diagnostik und Therapie der chronischen patellofemorale Instabilität. *Der Orthopäde.* 2020(1):73-82.
84. Paley D, Herzenberg JE, Tetsworth K, McKie J, Bhave A. Deformity planning for frontal and sagittal plane corrective osteotomies. *Orthop Clin North Am.* 1994;25(3):425-65.
85. Staubli HU, Durrenmatt U, Porcellini B, Rauschning W. Anatomy and surface geometry of the patellofemoral joint in the axial plane. *J Bone Joint Surg Br.* 1999;81(3):452-8.
86. Schoettle PB, Zanetti M, Seifert B, Pfirrmann CW, Fucentese SF, Romero J. The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. *Knee.* 2006;13(1):26-31.



87. Pfirrmann CW, Zanetti M, Romero J, Hodler J. Femoral trochlear dysplasia: MR findings. *Radiology*. 2000;216(3):858-64.
88. Lin YF, Jan MH, Lin DH, Cheng CK. Different effects of femoral and tibial rotation on the different measurements of patella tilting: An axial computed tomography study. *J Orthop Surg Res*. 2008;3:5.
89. Van Haver A, De Roo K, De Beule M, Labey L, De Baets P, Dejour D, Claessens T, Verdonk P. The effect of trochlear dysplasia on patellofemoral biomechanics: a cadaveric study with simulated trochlear deformities. *Am J Sports Med*. 2015;43(6):1354-61.
90. Nelitz M, Theile M, Dornacher D, Wolfle J, Reichel H, Lippacher S. Analysis of failed surgery for patellar instability in children with open growth plates. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2012;20(5):822-8.
91. Dejour D, Byn P, Ntagiopoulos PG. The Lyon's sulcus-deepening trochleoplasty in previous unsuccessful patellofemoral surgery. *Int Orthop*. 2013;37(3):433-9.
92. Trillat A, Dejour H, Couette A. [Diagnosis and treatment of recurrent dislocations of the patella]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1964;50:813-24.
93. Schöttle P. MPFL - Funktion, Sinn und Unsinn. In: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral, editor. *Die Therapie der instabilen Patella*. Zürich: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral; 2016. p. 33-40.
94. Yamamoto RK. Arthroscopic repair of the medial retinaculum and capsule in acute patellar dislocations. *Arthroscopy*. 1986;2(2):125-31.
95. Hughston JC. Reconstruction of the extensor mechanism for subluxating patella. *J Sports Med*. 1972;1(1):6-13.
96. Goldthwait J. Dislocation of the patella. *Trans Am Orthop Assoc*. 1895;8:237-8.
97. Krogus A. Zur operativen Behandlung der habituellen Luxation der Kniescheibe. *Zbl Chir*. 1904;31:254-7.
98. Insall J, Bullough PG, Burstein AH. Proximal "tube" realignment of the patella for chondromalacia patellae. *Clin Orthop Relat Res*. 1979(144):63-9.
99. Madigan R, Wissinger HA, Donaldson WF. Preliminary experience with a method of quadricepsplasty in recurrent subluxation of the patella. *J Bone Joint Surg Am*. 1975;57(5):600-7.
100. Fondren FB, Goldner JL, Bassett FH, 3rd. Recurrent dislocation of the patella treated by the modified Roux-Goldthwait procedure. A prospective study of forty-seven knees. *J Bone Joint Surg Am*. 1985;67(7):993-1005.

101. Koskinen SK, Rantanen JP, Nelimarkka OI, Kujala UM. Effect of Elmslie-Trillat and Roux-Goldthwait procedures on patellofemoral relationships and symptoms in patients with patellar dislocations. *Am J Knee Surg.* 1998;11(3):167-73.
102. Cerciello S, Lustig S, Costanzo G, Neyret P. Medial retinaculum reefing for the treatment for patellar instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(10):2505-12.
103. Schorn D, Yang-Strathoff S, Gosheger G, Vogler T, Klingebiel S, Rickert C, Andreou D, Liem D. Long-term outcomes after combined arthroscopic medial reefing and lateral release in patients with recurrent patellar instability - a retrospective analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18(1):277.
104. Weinberger JM, Fabricant PD, Taylor SA, Mei JY, Jones KJ. Influence of graft source and configuration on revision rate and patient-reported outcomes after MPFL reconstruction: a systematic review and meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(8):2511-9.
105. Sanchis-Alfonso V. Guidelines for medial patellofemoral ligament reconstruction in chronic lateral patellar instability. *J Am Acad Orthop Surg.* 2014;22(3):175-82.
106. Schottle PB, Romero J, Schmeling A, Weiler A. Technical note: anatomical reconstruction of the medial patellofemoral ligament using a free gracilis autograft. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008;128(5):479-84.
107. Stephen JM, Kaider D, Lumpaopong P, Deehan DJ, Amis AA. The effect of femoral tunnel position and graft tension on patellar contact mechanics and kinematics after medial patellofemoral ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2014;42(2):364-72.
108. Fink C, Veselko M, Herbort M, Hoser C. Minimally invasive reconstruction of the medial patellofemoral ligament using quadriceps tendon. *Arthrosc Tech.* 2014;3(3):e325-9.
109. Peter G, Hoser C, Runer A, Abermann E, Wierer G, Fink C. Medial patellofemoral ligament (MPFL) reconstruction using quadriceps tendon autograft provides good clinical, functional and patient-reported outcome measurements (PROM): a 2-year prospective study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(8):2426-32.
110. Avikainen VJ, Nikku RK, Seppänen-Lehmonen TK. Adductor magnus tenodesis for patellar dislocation. Technique and preliminary results. *Clin Orthop Relat Res.* 1993(297):12-6.

111. Jacobi M, Reischl N, Bergmann M, Bouaicha S, Djonov V, Magnussen RA. Reconstruction of the medial patellofemoral ligament using the adductor magnus tendon: an anatomic study. *Arthroscopy*. 2012;28(1):105-9.
112. Becher C, Kley K, Lobenhoffer P, Ezechieli M, Smith T, Ostermeier S. Dynamic versus static reconstruction of the medial patellofemoral ligament for recurrent lateral patellar dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(10):2452-7.
113. Lee PYF, Golding D, Rozewicz S, Chandratreya A. Modern synthetic material is a safe and effective alternative for medial patellofemoral ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(9):2716-21.
114. Nomura E, Horiuchi Y, Kihara M. A mid-term follow-up of medial patellofemoral ligament reconstruction using an artificial ligament for recurrent patellar dislocation. *Knee*. 2000;7(4):211-5.
115. Sanchis-Alfonso V, Ramirez-Fuentes C, Montesinos-Berry E, Domenech J, Marti-Bonmati L. Femoral insertion site of the graft used to replace the medial patellofemoral ligament influences the ligament dynamic changes during knee flexion and the clinical outcome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(8):2433-41.
116. Vellios EE, Trivellas M, Arshi A, Beck JJ. Recurrent Patellofemoral Instability in the Pediatric Patient: Management and Pitfalls. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2020;13(1):58-68.
117. Shea KG, Grimm NL, Belzer J, Burks RT, Pfeiffer R. The relation of the femoral physis and the medial patellofemoral ligament. *Arthroscopy*. 2010;26(8):1083-7.
118. Gausden EB, Fabricant PD, Taylor SA, McCarthy MM, Weeks KD, Potter H, Shubin Stein B, Green DW. Medial Patellofemoral Reconstruction in Children and Adolescents. *JBJS Rev*. 2015;3(10).
119. Nelitz M, Dornacher D, Dreyhaupt J, Reichel H, Lippacher S. The relation of the distal femoral physis and the medial patellofemoral ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19(12):2067-71.
120. Sillanpää PJ, Mäenpää HM, Mattila VM, Visuri T, Pihlajamäki H. A mini-invasive adductor magnus tendon transfer technique for medial patellofemoral ligament reconstruction: a technical note. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2009;17(5):508-12.
121. Lattermann C, Toth J, Bach BR, Jr. The role of lateral retinacular release in the treatment of patellar instability. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2007;15(2):57-60.

122. Henry JH, Goletz TH, Williamson B. Lateral retinacular release in patellofemoral subluxation. Indications, results, and comparison to open patellofemoral reconstruction. *Am J Sports Med.* 1986;14(2):121-9.
123. Schonholtz GJ, Zahn MG, Magee CM. Lateral retinacular release of the patella. *Arthroscopy.* 1987;3(4):269-72.
124. Christoforakis J, Bull AM, Strachan RK, Shymkiw R, Senavongse W, Amis AA. Effects of lateral retinacular release on the lateral stability of the patella. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(3):273-7.
125. Cancienne JM, Christian DR, Redondo ML, Huddleston HP, Shewman EF, Farr J, Cole, BJ, Yanke AB. The Biomechanical Effects of Limited Lateral Retinacular and Capsular Release on Lateral Patellar Translation at Various Flexion Angles in Cadaveric Specimens. *Arthrosc Sports Med Rehabil.* 2019;1(2):e137-e44.
126. Hughston JC, Deese M. Medial subluxation of the patella as a complication of lateral retinacular release. *Am J Sports Med.* 1988;16(4):383-8.
127. Fithian DC, Paxton EW, Post WR, Panni AS. Lateral retinacular release: a survey of the International Patellofemoral Study Group. *Arthroscopy.* 2004;20(5):463-8.
128. Larson RL, Cabaud HE, Slocum DB, James SL, Keenan T, Hutchinson T. The patellar compression syndrome: surgical treatment by lateral retinacular release. *Clin Orthop Relat Res.* 1978(134):158-67.
129. Pagenstert G, Wolf N, Bachmann M, Gravius S, Barg A, Hintermann B, Wirtz DC, Valderrabano V, Leumann AG. Open lateral patellar retinacular lengthening versus open retinacular release in lateral patellar hypercompression syndrome: a prospective double-blinded comparative study on complications and outcome. *Arthroscopy.* 2012;28(6):788-97.
130. Fucentese SF, von Roll A, Koch PP, Epari DR, Fuchs B, Schöttle PB. The patella morphology in trochlear dysplasia--a comparative MRI study. *Knee.* 2006;13(2):145-50.
131. Masse Y. Restoration of the intercondylar groove in subluxations and dislocations of the patella. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1978;64:3-17.
132. Salzmänn GM, Weber TS, Spang JT, Imhoff AB, Schöttle PB. 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):335-40.
133. Albee F. The bone graft wedge in the treatment of habitual dislocation of the patella. *Med Rec.* 1915;88:257-9.

134. Bereiter H, Gautier E. Die Trochleoplastik als chirurgische Therapie der rezidivierenden Patellaluxation bei Trochleadysplasie des Femurs. *Arthroskopie*. 194;7:281-6.
135. Schöttle P. Trochleoplastik bei Trochleadysplasie In: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral, editor. *Die Therapie der instabilen Patella*. Zürich: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral; 2016. p. 61-5.
136. Nelitz M, Dreyhaupt J, Williams SRM. No Growth Disturbance After Trochleoplasty for Recurrent Patellar Dislocation in Adolescents With Open Growth Plates. *Am J Sports Med*. 2018;46(13):3209-16.
137. Dejour D, Le Coultre B. Osteotomies in patello-femoral instabilities. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2007;15(1):39-46.
138. Roux C. Luxation habituelle de la rotule: Traitement opératoire. *Rev Chir Paris*. 1888;8:682-9.
139. Becher C, Schöttle P, Ostermeier S. Das vordere Knieschmerzsyndrom - Teil 2: Konservative und operative Therapie. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*. 2013;8:199-222.
140. Becher C, Pagenstert G. Die Bedeutung des Transfers der Tuberositas tibiae in der Therapie der instabilen Patella. In: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral, editor. *Die Therapie der instabilen Patella*. Zürich: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral; 2016. p. 22-7.
141. Servien E, Verdonk PC, Neyret P. Tibial tuberosity transfer for episodic patellar dislocation. *Sports Med Arthrosc Rev*. 2007;15(2):61-7.
142. Kuroda R, Kambic H, Valdevit A, Andrish JT. Articular cartilage contact pressure after tibial tuberosity transfer. A cadaveric study. *Am J Sports Med*. 2001;29(4):403-9.
143. Pappas AM, Anas P, Toczylowski HM, Jr. Asymmetrical arrest of the proximal tibial physis and genu recurvatum deformity. *J Bone Joint Surg Am*. 1984;66(4):575-81.
144. Blauth W, Schwarz I. Operation der habituellen Patellaluxation im Kindesalter. *Operative Orthopädie und Traumatologie*. 1989;1(2):94-9.
145. Malecki K, Fabis J, Flont P, Lipczyk Z, Niedzielski K. Preliminary results of two surgical techniques in the treatment of recurrent patellar dislocation: Medial patellofemoral ligament reconstruction versus combined technique of vastus medialis advancement, capsular plasty and Roux-Goldthwait procedure in treatment of recurrent patellar dislocation. *Int Orthop*. 2016;40(9):1869-74.

146. Silberman J, Gausden E, Luderowski E, Green D. Surgical Treatment of Pediatric Patella Instability. In: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral, editor. Die Therapie der instabilen Patella. Zürich: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral; 2016. p. 80-90.
147. Imhoff FB, Funke V, Muench LN, Sauter A, Englmaier M, Woertler K, Imhoff AB, Feucht MJ. The complexity of bony malalignment in patellofemoral disorders: femoral and tibial torsion, trochlear dysplasia, TT-TG distance, and frontal mechanical axis correlate with each other. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(3):897-904.
148. Purushothaman B, Agarwal A, Dawson M. Posttraumatic chronic patellar dislocation treated by distal femoral osteotomy and medial patellofemoral ligament reconstruction. *Orthopedics.* 2012;35(11):e1668-72.
149. Felson DT, Niu J, Gross KD, Englund M, Sharma L, Cooke TD, Guermazi A, Roemer FW, Segal N, Goggings JM, Lewis CE, Eaton C, Nevitt, MC. Valgus malalignment is a risk factor for lateral knee osteoarthritis incidence and progression: findings from the Multicenter Osteoarthritis Study and the Osteoarthritis Initiative. *Arthritis Rheum.* 2013;65(2):355-62.
150. Kaiser P, Attal R, Kammerer M, Thauerer M, Hamberger L, Mayr R, Schmoelz W. Significant differences in femoral torsion values depending on the CT measurement technique. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(9):1259-64.
151. Seitlinger G, Attal R. Femurderotation und Komplexe Instabilität. In: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral, editor. Die Therapie der instabilen Patella. Zürich: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral; 2016. p. 66-70.
152. Frings J, Krause M, Akoto R, Wohlmuth P, Frosch KH. Combined distal femoral osteotomy (DFO) in genu valgum leads to reliable patellar stabilization and an improvement in knee function. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(12):3572-81.
153. Imhoff FB, Cotic M, Liska F, Dyrna FGE, Beitzel K, Imhoff AB, Herbst E. Derotational osteotomy at the distal femur is effective to treat patients with patellar instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2019;27(2):652-8.
154. Buckup J, Heinz S, Hoffmann R. Klinische Untersuchung des Kniegelenks. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date.* 2018;13(6):503-17.
155. Attal R, Dirisamer F, Pagenstert G. Klinische Untersuchung des Patellofemoralgelenk. In: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral, editor. Untersuchungstechniken/Diagnostik des Patellofemoralgelenk. Zürich: AGA-Komitee-Knie-Patellofemoral; 2016. p. 22-38.

156. Miller TT, Staron RB, Feldman F. Patellar height on sagittal MR imaging of the knee. *AJR Am J Roentgenol.* 1996;167(2):339-41.
157. Hingelbaum S, Best R, Huth J, Wagner D, Bauer G, Mauch F. The TT-TG Index: a new knee size adjusted measure method to determine the TT-TG distance. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(10):2388-95.
158. Fulkerson JP, Schutzer SF, Ramsby GR, Bernstein RA. Computerized tomography of the patellofemoral joint before and after lateral release or realignment. *Arthroscopy.* 1987;3(1):19-24.
159. Torabi M, Wo S, Vyas D, Costello J. MRI evaluation and complications of medial patellofemoral ligament reconstruction. *Clin Imaging.* 2015;39(1):116-27.
160. Lenschow S, Schliemann B, Gestring J, Herbort M, Schulze M, Kösters C. Medial patellofemoral ligament reconstruction: fixation strength of 5 different techniques for graft fixation at the patella. *Arthroscopy.* 2013;29(4):766-73.
161. Schöttle PB, Schmeling A, Rosenstiel N, Weiler A. Radiographic landmarks for femoral tunnel placement in medial patellofemoral ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2007;35(5):801-4.
162. Redfern J, Kamath G, Burks R. Anatomical confirmation of the use of radiographic landmarks in medial patellofemoral ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2010;38(2):293-7.
163. Bös L, Ellermann A. Arthroskopische Diagnostik und Klassifikation von Knorpelschäden. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin.* 2003;54(6):181-3.
164. Outerbridge RE. The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br.* 1961;43-b:752-7.
165. Slattery C, Kweon CY. Classifications in Brief: Outerbridge Classification of Chondral Lesions. *Clin Orthop Relat Res.* 2018;476(10):2101-4.
166. Parikh SN, Rajdev N, Sun Q. The Growth of Trochlear Dysplasia During Adolescence. *J Pediatr Orthop.* 2018;38(6):e318-e24.
167. Harms V. *Medizinische Statistik.* Mönkeberg: Harms Verlag; 2012.
168. Prel J-Bd, Röhrig B, Hommel G, Blettner M. Auswahl statistischer Testverfahren. *Dtsch Arztebl Int.* 2010;107(19):343-8.
169. Ellera Gomes JL. Medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent dislocation of the patella: a preliminary report. *Arthroscopy.* 1992;8(3):335-40.
170. Parikh SN, Lykissas MG, Gkias I. Predicting Risk of Recurrent Patellar Dislocation. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018;11(2):253-60.

171. Boddula MR, Adamson GJ, Pink MM. Medial reefing without lateral release for recurrent patellar instability: midterm and long-term outcomes. *Am J Sports Med.* 2014;42(1):216-24.
172. Schottle PB, Scheffler SU, Schwarck A, Weiler A. Arthroscopic medial retinacular repair after patellar dislocation with and without underlying trochlear dysplasia: a preliminary report. *Arthroscopy.* 2006;22(11):1192-8.
173. Nomura E. Classification of lesions of the medial patello-femoral ligament in patellar dislocation. *Int Orthop.* 1999;23(5):260-3.
174. Balcarek P, Ammon J, Frosch S, Walde TA, Schüttrumpf JP, Ferlemann KG, Lill H, Stürmer KM, Frosch KH. 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.* 2010;26(7):926-35.
175. Elias DA, White LM, Fithian DC. Acute lateral patellar dislocation at MR imaging: injury patterns of medial patellar soft-tissue restraints and osteochondral injuries of the inferomedial patella. *Radiology.* 2002;225(3):736-43.
176. Puzzitiello RN, Waterman B, Agarwalla A, Zuke W, Cole BJ, Verma NN, Yanke AB, Forsythe B. Primary Medial Patellofemoral Ligament Repair Versus Reconstruction: Rates and Risk Factors for Instability Recurrence in a Young, Active Patient Population. *Arthroscopy.* 2019;35(10):2909-15.
177. Ostermeier S, Holst M, Hurschler C, Windhagen H, Stukenborg-Colsman C. Dynamic measurement of patellofemoral kinematics and contact pressure after lateral retinacular release: an in vitro study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007;15(5):547-54.
178. Panni AS, Tartarone M, Patricola A, Paxton EW, Fithian DC. Long-term results of lateral retinacular release. *Arthroscopy.* 2005;21(5):526-31.
179. Ficat P. [The syndrome of lateral hyperpressure of the patella]. *Acta Orthop Belg.* 1978;44(1):65-76.
180. Hing CB, Smith TO, Donell S, Song F. Surgical versus non-surgical interventions for treating patellar dislocation. *Cochrane Database Syst Rev.* 2011(11):Cd008106.
181. Nikku R, Nietosvaara Y, Aalto K, Kallio PE. Operative treatment of primary patellar dislocation does not improve medium-term outcome: A 7-year follow-up report and risk analysis of 127 randomized patients. *Acta Orthop.* 2005;76(5):699-704.



182. Sillanpää PJ, Mäenpää HM, Mattila VM, Visuri T, Pihlajamäki H. Arthroscopic surgery for primary traumatic patellar dislocation: a prospective, nonrandomized study comparing patients treated with and without acute arthroscopic stabilization with a median 7-year follow-up. *Am J Sports Med.* 2008;36(12):2301-9.
183. Stefancin JJ, Parker RD. First-time traumatic patellar dislocation: a systematic review. *Clin Orthop Relat Res.* 2007;455:93-101.
184. von Laer L, Kraus R, Linhart W. *Frakturen und Luxationen im Wachstumsalter.* 6th ed. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2013.
185. Seitlinger G, Moroder P, Fink C, Wierer G. Acquired femoral flexion deformity due to physeal injury during medial patellofemoral ligament reconstruction. *Knee.* 2017;24(3):680-5.
186. Kepler CK, Bogner EA, Hammoud S, Malcolmson G, Potter HG, Green DW. Zone of injury of the medial patellofemoral ligament after acute patellar dislocation in children and adolescents. *Am J Sports Med.* 2011;39(7):1444-9.
187. Gomes JE. Comparison between a static and a dynamic technique for medial patellofemoral ligament reconstruction. *Arthroscopy.* 2008;24(4):430-5.
188. Lenschow S, Herbort M, Fink C. [Medial patellofemoral ligament reconstruction using quadriceps tendon]. *Oper Orthop Traumatol.* 2015;27(6):474-83.
189. Felli L, Capello AG, Lovisolo S, Chiarlone F, Alessio-Mazzola M. Goldthwait technique for patellar instability: surgery of the past or here to stay procedure? A systematic review of the literature. *Musculoskelet Surg.* 2019;103(2):107-13.
190. Synder M, Grzegorzewski A, Witonski D. [Surgical treatment for recurrent dislocation of the patella in children and adolescents]. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol.* 1996;61(5):459-62.
191. Fucentese SF, Zingg PO, Schmitt J, Pfirrmann CW, Meyer DC, Koch PP. Classification of trochlear dysplasia as predictor of clinical outcome after trochleoplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011;19(10):1655-61.
192. Ren B, Zhang X, Zhang L, Zhang M, Liu Y, Tian B, Zhang B, Zheng J. Isolated trochleoplasty for recurrent patellar dislocation has lower outcome and higher residual instability compared with combined MPFL and trochleoplasty: a systematic review. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019;139(11):1617-24.
193. Liu JN, Steinhaus ME, Kalbian IL, Post WR, Green DW, Strickland SM, Shubin Stein BE. Patellar Instability Management: A Survey of the International Patellofemoral Study Group. *Am J Sports Med.* 2018;46(13):3299-306.

194. Parikh SN, Rajdev N. Trochlear Dysplasia and Its Relationship to the Anterior Distal Femoral Physis. *J Pediatr Orthop*. 2019;39(3):e177-e84.
195. Dejour D, Saggin P. The sulcus deepening trochleoplasty-the Lyon's procedure. *Int Orthop*. 2010;34(2):311-6.
196. Anderson M, Green WT, Messner MB. Growth and predictions of growth in the lower extremities. *J Bone Joint Surg Am*. 1963;45-a:1-14.
197. Little RM, Milewski MD. Physeal fractures about the knee. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2016;9(4):478-86.
198. Machado SAF, Pinto RAP, Antunes A, de Oliveira PAR. Patellofemoral instability in skeletally immature patients. *Porto Biomed J*. 2017;2(4):120-3.
199. Salonen EE, Magga T, Sillanpää PJ, Kiekara T, Mäenpää H, Mattila VM. Traumatic Patellar Dislocation and Cartilage Injury: A Follow-up Study of Long-Term Cartilage Deterioration. *Am J Sports Med*. 2017;45(6):1376-82.
200. Zbinden G. [Fine structure and age modifications of hyaline cartilage in electron microscopical preparations and on the fatty degeneration of the cartilaginous ground substance]. *Schweiz Z Pathol Bakteriolog*. 1953;16(2):165-89.
201. Matsushita T, Kuroda R, Oka S, Matsumoto T, Takayama K, Kurosaka M. Clinical outcomes of medial patellofemoral ligament reconstruction in patients with an increased tibial tuberosity-trochlear groove distance. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(10):2438-44.
202. Dietrich TJ, Betz M, Pfirrmann CW, Koch PP, Fucentese SF. End-stage extension of the knee and its influence on tibial tuberosity-trochlear groove distance (TTTG) in asymptomatic volunteers. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(1):214-8.
203. Izadpanah K, Weitzel E, Vicari M, Hennig J, Weigel M, Südkamp NP, Niemeyer P. Influence of knee flexion angle and weight bearing on the Tibial Tuberosity-Trochlear Groove (TTTG) distance for evaluation of patellofemoral alignment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(11):2655-61.
204. Yao L, Gai N, Boutin RD. Axial scan orientation and the tibial tubercle-trochlear groove distance: error analysis and correction. *AJR Am J Roentgenol*. 2014;202(6):1291-6.
205. Chatterton A, Nielsen TG, Sorensen OG, Lind M. Clinical outcomes after revision surgery for medial patellofemoral ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(3):739-45.

206. Warren LA, Marshall JL, Girgis F. The prime static stabilizer of the medial side of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(4):665-74.
207. D'Amore T, Tanaka MJ, Cosgarea AJ. When and How Far to Move the Tibial Tuberosity in Patients With Patellar Instability. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2017;25(2):78-84.
208. Elias JJ, Smith BW, Daney BT. Biomechanical Analysis of Tibial Tuberosity Medialization and Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction. *Sports Med Arthrosc Rev.* 2017;25(2):58-63.
209. Berruto M, Ferrua P, Uboldi F, Usellini E, Gala L, Tassi A, Marelli B. Medial patellofemoral ligament reconstruction with bioactive synthetic ligament is an option. A 3-year follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(10):2419-25.
210. Legnani C, Ventura A, Terzaghi C, Borgo E, Albisetti W. Anterior cruciate ligament reconstruction with synthetic grafts. A review of literature. *Int Orthop.* 2010;34(4):465-71.
211. Vrgoč G, Japjec M, Jurina P, Gulan G, Janković S, Šebečić B, Starešinić M. Operative treatment of acute acromioclavicular dislocations Rockwood III and V-Comparative study between K-wires combined with FiberTape(®) vs. TightRope System(®). *Injury.* 2015;46 Suppl 6:S107-12.
212. Baba M, Dorrestijn O, Cadman J, Appleyard R, Cass B, Young A. Improving Medial Footprint Coverage in Double-Row Cuff Repair Using FiberTape. *Techniques in Shoulder & Elbow Surgery.* 2015;16(3):74-8.
213. Soreide E, Denbeigh JM, Lewallen EA, Thaler R, Xu W, Berglund L, Yao JJ, Martinez A, Nordsletten L, van Wijnen AJ, Kakar S. In vivo assessment of high-molecular-weight polyethylene core suture tape for intra-articular ligament reconstruction: an animal study. *Bone Joint J.* 2019;101-b(10):1238-47.
214. Tsushima T, Tsukada H, Sasaki S, Naraoka T, Yamamoto Y, Tsuda E, Ishibashi Y. Biomechanical analysis of medial patellofemoral ligament reconstruction: FiberTape(R) with knotless anchors versus a semitendinosus tendon autograft with soft anchors. *J Orthop Sci.* 2019;24(4):663-7.
215. van Huyssteen AL, Hendrix MR, Barnett AJ, Wakeley CJ, Eldridge JD. Cartilage-bone mismatch in the dysplastic trochlea. An MRI study. *J Bone Joint Surg Br.* 2006;88(5):688-91.
216. Liebensteiner MC, Ressler J, Seitlinger G, Djurdjevic T, El Attal R, Ferlic PW. High Femoral Anteversion Is Related to Femoral Trochlea Dysplasia. *Arthroscopy.* 2016;32(11):2295-9.

217. Richmond CG, Shea KG, Burlile JF, Heyer AM, Ellis HB, Wilson PL, Arendt EA, Tompkins MA. Patellar-Trochlear Morphology in Pediatric Patients From 2 to 11 Years of Age: A Descriptive Analysis Based on Computed Tomography Scanning. *J Pediatr Orthop*. 2020;40(2):96-102.
218. Rajdev NR, Parikh SN. Femoral trochlea does not remodel after patellar stabilization in children older than 10 years of age. *J Pediatr Orthop B*. 2019;28(2):139-43.
219. Keyes S, Price M, Green DW, Parikh SN. Special Considerations for Pediatric Patellar Instability. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2018;47(3).
220. Tardieu C, Dupont JY. The origin of femoral trochlear dysplasia: comparative anatomy, evolution, and growth of the patellofemoral joint. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2001;87(4):373-83.
221. Watanabe RS. Embryology of the human hip. *Clin Orthop Relat Res*. 1974(98):8-26.
222. Reikerås O, Bjerkreim I, Kolbenstvedt A. Anteversion of the acetabulum and femoral neck in normals and in patients with osteoarthritis of the hip. *Acta Orthop Scand*. 1983;54(1):18-23.
223. Grisch D, Dreher T. Torsion and torsional development of the lower extremities. *Der Orthopäde*. 2019;48(6):523-30.
224. Fabry G. Normal and abnormal torsional development of the lower extremities. *Acta Orthop Belg*. 1997;63(4):229-32.
225. Atkin DM, Fithian DC, Marangi KS, Stone ML, Dobson BE, Mendelsohn C. Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury. *Am J Sports Med*. 2000;28(4):472-9.
226. Balcarek P, Frosch KH. Die Patellaluxation im Kindes- und Jugendalter. *Arthroskopie*. 2012;25(4):266-74.
227. Balcarek P, Jung K, Ammon J, Walde TA, Frosch S, Schuttrumpf JP, Sturmer KM, Frosch KH. 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):2320-7.

## 8 Anhang

### 8.1 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Rebecca Sänger, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

*Ursachenanalyse von patellofemoraler Instabilität und patellofemorale Schmerzen nach operativen Eingriffen zur Therapie der patellofemorale Instabilität*

*Root cause analysis of patellofemoral instability and patellofemoral pain after surgical interventions for the treatment of patellofemoral instability*

selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Ich versichere ferner, dass ich die in Zusammenarbeit mit anderen Personen generierten Daten, Datenauswertungen und Schlussfolgerungen korrekt gekennzeichnet und meinen eigenen Beitrag sowie die Beiträge anderer Personen korrekt kenntlich gemacht habe (siehe Anteilserklärung). Texte oder Textteile, die gemeinsam mit anderen erstellt oder verwendet wurden, habe ich korrekt kenntlich gemacht.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Erstbetreuer/in, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; [www.icmje.org](http://www.icmje.org)) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Berlin, den 26.06.2022

---

Rebecca Sänger

## 8.2 Anteilserklärung

Die Promovendin Rebecca Sänger hatte folgenden Anteil an folgenden Publikationen:

*Sänger, R., Schöttle, P. Reasons for failed Surgery in patients with recurrent patellofemoral instability [Sci-graphic]. 9. Jahreskongress Deutsche Kniegesellschaft, 2020 Nov 24-26, online.*

Bei einem Sci-graphic handelt es sich in diesem Kontext um eine kurze und prägnante graphisch gestützte Ergebnisdarstellung wissenschaftlicher Arbeiten. Dargestellt wurden Ziel, Methodik und Ergebnisse der vorliegenden Dissertation.

Ein hierfür vorab bei der Deutschen Kniegesellschaft (DKG) eingereichtes und angenommenes englischsprachiges Abstract wird durch die Deutsche Kniegesellschaft im Orthopaedic Journal of Sports Medicine 2021 publiziert werden:

*Sänger, R., Schöttle, P. Reasons for failed Surgery in patients with recurrent patellofemoral instability [Abstract]. Orthop J Sports Med. Forthcoming 2021.*

Beitrag im Einzelnen:

Die Formulierung des eigens für den Kongress erstellten Abstracts als auch die Ausarbeitung und Designentwicklung des Sci-graphic unterlag der Promovendin. So entstand die im Zentrum des Sci-graphic stehende Abbildung aus den Ergebnissen der kategorisierten Ursachenzuordnung der Dissertation.

Berlin, den 26.06.2022

---

Prof. Dr. med. Markus Scheibel

---

Rebecca Sänger

### **8.3 Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.





#### **8.4 Publikationsliste**

Sänger R, Gwinner C, Kopf S. Transplantatwahl für die primäre vordere Kreuzbandplastik. Orthopädie und Rheumatologie. 2015; 18: 30-38.

Kopf S, Collette R, Sänger R. Management of the ACL Injuries in Athletes: The Femoral and Tibial ACL Footprint: Anatomy of ACL [CD-ROM]; 16th ESSKA Congress; 2014.

## 8.5 Danksagung


Ich danke Herrn Prof. Dr. med. Markus Scheibel in erster Linie für die Schaffung der strukturellen Voraussetzungen für die Durchführung dieser Promotion. Speziell bin ich ihm für die kritische und überaus konstruktive Beratung im Rahmen der Planung dieser Arbeit dankbar.

Des Weiteren gilt ein besonderer Dank meinem Betreuer Prof. Dr. med. Philip Schöttle, der mich ein fundiertes klinisches und wissenschaftliches Verständnis für die Patellofemoralkirurgie lehrte, das unabdingbar für die Bearbeitung des Themas war. Hierbei möchte ich noch einmal die stets wertvolle Kritik im Rahmen der Ausarbeitung und der Korrektur der Arbeit hervorheben.

Meinen Eltern Cordula und Thomas Sänger danke ich für den bedingungslosen Rückhalt und die Geduld, die sie in den vergangenen Jahren aufgebracht haben ohne jemals den Glauben an mich zu verlieren. Jedem Rückschlag begegneten sie mit den richtigen Worten und jedem Erfolg mit größtem Stolz.

Mein größter Dank gilt meinem Lebensgefährten Holger Schmidt, ohne dessen Unterstützung die Durchführung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre. Seine Beharrlichkeit, sein Pragmatismus und sein unerbittlicher Optimismus gaben mir das notwendige Fundament einen lang ersehnten Meilenstein in meinem Leben erreichen zu können.

## 8.6 Bescheinigung Statistik




CharitéCentrum für Human- und Gesundheitswissenschaften

Charité | Campus Charité Mitte | 10117 Berlin

**Name, Vorname:** Sänger, Rebecca  
**Emailadresse:** rebecca.saenger@charite.de  
**Matrikelnummer:**  
**PromotionsbetreuerIn:** Prof. Markus Scheibel  
**Promotionsinstitution/Klinik:** CMSC

**Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie (iBikE)**  
Direktor: Prof. Dr. Geraldine Rauch  
Postanschrift:  
Charitéplatz 1 | 10117 Berlin  
Besucheranschrift:  
Reinhardtstr. 58 | 10117 Berlin  
Tel. +49 (0)30 450 562171  
geraldine.rauch@charite.de  
<https://biometrie.charite.de/>



### Bescheinigung

Hiermit bescheinige ich, dass Herr/Frau *Rebecca Sänger* innerhalb der Service Unit Biometrie des Instituts für Biometrie und Klinische Epidemiologie (iBikE) bei mir eine statistische Beratung zu einem Promotionsvorhaben wahrgenommen hat. Folgende Beratungstermine wurden wahrgenommen:

- Termin 1: 13.01.2020
- Termin 2: 05.02.2020

Folgende wesentliche Ratschläge hinsichtlich einer sinnvollen Auswertung und Interpretation der Daten wurden während der Beratung erteilt:

- *Datenstruktur und Datenmanagement besprochen*
- *Planung der Auswertungsstrategie*
- *Zusammenfassung von Daten*
- *Besprechung der Ergebnisse*

Diese Bescheinigung garantiert nicht die richtige Umsetzung der in der Beratung gemachten Vorschläge, die korrekte Durchführung der empfohlenen statistischen Verfahren und die richtige Darstellung und Interpretation der Ergebnisse. Die Verantwortung hierfür obliegt allein dem Promovierenden. Das Institut für Biometrie und Klinische Epidemiologie übernimmt hierfür keine Haftung.

Datum: 05.02.20      Name des Beraters/der Beraterin:

CHARITÉ – UNIVERSITÄTSMEDIZIN BERLIN  
Gliedkorperschaft der Freien Universität Berlin und der Humboldt-Universität zu Berlin  
Charitéplatz 1 | 10117 Berlin | Telefon +49 30 450-50 | [www.charite.de](http://www.charite.de)