



Fakultät für Medizin

Abteilung für Sportorthopädie - Leiter: Univ.-Prof. Dr. A. B. Imhoff

Mittleres Follow-up nach isolierter und kombinierter operativer Therapie
der patellofemorale Instabilität – Eine klinisch-radiologische Studie

Alexander Otto

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Medizin (Dr. med.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. E. J. Rummeny

Prüfer der Dissertation: 1. Priv.-Doz. Dr. Ph. Schöttle
2. Univ.-Prof. Dr. A. B. Imhoff

Die Dissertation wurde am 05.08.2015 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 16.12.2015 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen	IV
Verzeichnis der verwendeten Abbildungen und Tabellen	V
A Einleitung	- 1 -
A.1 Überblick über die patellofemorale Instabilität	- 1 -
A.1.1 Inzidenz der Patellaluxation	- 2 -
A.1.2 Formen der Patellaluxation	- 2 -
A.1.3 Begleitläsionen der patellofemorale Luxation	- 3 -
A.2 Biomechanik des patellofemorale Gelenks	- 6 -
A.2.1 Patellofemorale Artikulation	- 6 -
A.2.2 Faktoren der patellofemorale Instabilität	- 7 -
A.2.2.1 Statische Faktoren	- 7 -
A.2.2.2 Passive Faktoren	- 9 -
A.2.2.3 Aktive Faktoren	- 13 -
A.3 Therapie der patellofemorale Instabilität	- 14 -
A.3.1 Konservative Maßnahmen	- 14 -
A.3.2 Operative Prozeduren	- 15 -
A.4 Fragestellung und Zielsetzung	- 17 -
A.5 Hypothesenstellung	- 17 -
B Material und Methode	- 18 -
B.1 Patientengut	- 18 -
B.1.1 Einschlusskriterien	- 18 -
B.1.2 Ausschlusskriterien	- 18 -
B.1.3 Patientenkollektive	- 19 -
B.1.3.1 „Fadenanker“-Kohorte	- 20 -
B.1.3.2 „Aperture“-Kohorte	- 22 -
B.1.4 Operationsalgorithmus	- 26 -
B.1.4.1 Operationsverfahren der patellofemorale Instabilität	- 26 -
B.1.4.2 Revisionseingriffe	- 27 -
B.1.4.3 „Fadenanker“-Technik	- 28 -
B.1.4.4 „Aperture“-Technik	- 32 -

Inhaltsverzeichnis

B.2 Methode	- 35 -
B.2.1 Studienbeschreibung	- 35 -
B.2.2 Evaluationsverfahren	- 36 -
B.2.2.1 Anamnese	- 36 -
B.2.2.2 Klinische Untersuchung	- 36 -
B.2.2.3 Tegner-Score	- 38 -
B.2.2.4 Alternierter Kujala-Score	- 39 -
B.2.2.5 IKDC-Score	- 40 -
B.2.3 Bildgebung	- 41 -
B.2.3.1 Konventionelles Röntgen	- 41 -
B.2.3.2 Trochleadysplasie	- 42 -
B.2.3.3 TTTG-Abstand	- 42 -
B.2.3.4 Patella-„Tilt“	- 44 -
B.2.3.5 Patella-„Shift“	- 44 -
B.2.3.6 Einteilung des Knorpelstatus nach „ICRS“-Klassifikation	- 45 -
B.3 Statistische Verfahren	- 45 -
C. Ergebnisse	- 46 -
C.1 Deskriptive Darstellung	- 46 -
C.1.1 Anamnese	- 46 -
C.1.1.1 Reluxationsereignisse	- 46 -
C.1.1.2 Beschwerden im Alltag und verbundene Schmerzmedikation	- 47 -
C.1.1.3 Angaben zu Verhalten und Zufriedenheit bzgl. Therapieverlauf, subjektiven Beschwerden und Unsicherheitsgefühl	- 49 -
C.1.2 Resultate der klinischen Untersuchung	- 51 -
C.1.2.1 Angaben zur sportlichen Betätigung	- 57 -
C.1.3 Resultate des Tegner-Aktivitäts-Score	- 59 -
C.1.4 Resultate des Kujala-Score	- 63 -
C.1.5 Resultate des IKDC-Score	- 67 -
C.1.6 Resultate der Bildgebung	- 74 -
C.2 Vergleichende Statistik	- 82 -
C.2.1 Vergleich zwischen den Ergebnissen der „Aperture“- und „Fadenanker“-Kohorte	- 82 -
C.2.2 Vergleich zwischen den Ergebnissen der isolierten und kombinierten Verfahren	- 84 -
C.2.3 Vergleich der postoperativen Ergebnisse kombinierter Eingriffe mit dem präoperativen Zustand	- 86 -
C.2.4 Vergleich der Ergebnisse zwischen Initial- und Revisionseingriffen	- 89 -
C.2.5 Vergleich der Ergebnisse von kurz- und mittelfristigen Untersuchungszeitpunkten	- 91 -
C.2.6 Vergleich des Knorpelstatus zum kurz- und mittelfristigen Untersuchungszeitpunkt	- 94 -

Inhaltsverzeichnis

D Diskussion	- 96 -
D.1 Verwendetes Material und gewählte Methode	- 96 -
D.2 Getroffener Patientenausschluss	- 99 -
D.3 Beobachtete Relaxationsrate	- 101 -
D.4 Subjektives und funktionelles Outcome	- 106 -
D.5 Resultate des Knorpelstatus	- 113 -
E Zusammenfassung	- 114 -
F Literaturverzeichnis	- 117 -
G Anhang	- 123 -
H Danksagung	- 129 -

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

%	Prozent
+	und
< (\leq)	kleiner (kleiner gleich)
> (\geq)	größer (größer gleich)
°	Grad (Winkel)
Abb.	Abbildung
BCa-(Methode)	„bias corrected and accelerated“-(Methode)
bzgl.	bezüglich
cm	Zentimeter
CT	Computertomographie
DMS	Durchblutung, Motorik, Sensibilität
ISB	inferiores sagittales Bündel
J	Jahre
k.A.	keine Angabe
M.	Musculus
mind.	mindestens
mm	Millimeter
MPFL	Ligamentum patellofemorale mediale
MRT	Magnetresonanztomographie
Mw	Mittelwert
N	Newton
N=	Anzahl (Fälle-/Patienten)
o.g.	oben genannte
o.p.B.	ohne pathologischen Befund
p-(Wert)	Signifikanzwert
PECH-(Schema)	Pause, Eis, Kompression, Hochlagern-(Schema)
postop.	postoperativ
präop.	präoperativ
s.	siehe
SD	Standardabweichung
sMCL	superfizielles mediales kollaterales Ligament
SOB	superiores obliques Bündel
sog.	sogenannte
tMCL	tiefes mediales kollaterales Ligament
TTTG-(Abstand)	(Abstand zwischen) Tuberositas tibiae und trochlearer Grube
VMO	Musculus vastus medialis obliquus
vs.	versus (gegenüber)

Verzeichnis der verwendeten Abbildungen und Tabellen

Abb. 1: Flowchart "Fadenanker"-Kohorte, (N=Patienten)	- 20 -
Abb. 2: Flowchart "Aperture"-Kohorte, (N=Patienten)	- 22 -
Abb. 3: Inzision an proximomedialer Patellakante, aus (Schöttle 2007)	- 30 -
Abb. 4: Ossäre Rinne an medialer Patellakante, aus (Schöttle 2007)	- 30 -
Abb. 5: Einbringung der Fadenanker, aus (Schöttle 2007)	- 30 -
Abb. 6: Markierung durch Overhold, aus (Schöttle 2007)	- 30 -
Abb. 7: Patellare Transplantatfixation, aus (Schöttle 2007)	- 31 -
Abb. 8: Darstellung des Operationsresultates, aus (Schöttle 2007)	- 31 -
Abb. 9: Schema zu radiologischem Insertionspunkt, aus (Schöttle 2007)	- 31 -
Abb. 10: Patellare Bohrdrahtplatzierung, aus (Schöttle et al. 2008b)	- 34 -
Abb. 11: Fixierung mit „SwiveLock“-Anker (Firma Arthrex®), aus (Schöttle et al. 2008b)	- 34 -
Abb. 12: Patellar fixiertes Transplantat, aus (Schöttle et al. 2008b)	- 34 -
Abb. 13: Schematische Darstellung des Operationsergebnisses, aus (Schöttle et al. 2008b)	- 34 -
Abb. 14: Femorale Fixation, aus (Schöttle et al. 2008b)	- 34 -
Abb. 15: Caton-Deschamps Index, aus (Dejour et al. 1994)	- 41 -
Abb. 16: Trochleadysplasie nach Dejour, aus (Colvin et al. 2008)	- 42 -
Abb. 17: TTTG-Messung im CT, aus (Seitlinger et al. 2010)	- 43 -
Abb. 18: TTTG-Messung im MRT (1), aus (Schöttle et al. 2006)	- 43 -
Abb. 19: TTTG-Messung im MRT (2), aus (Schöttle et al. 2006)	- 43 -
Abb. 20: Externer patellarer „Tilt“, aus (Beaconsfield et al. 1994)	- 44 -
Abb. 21: Patella-„Shift“, aus (Beaconsfield et al. 1994)	- 44 -
Abb. 22: Histogramm des Tegner-Aktivitäts-Score des gesamten Patientenkollektivs	- 59 -
Abb. 23: Boxplot-Diagramm für den Tegner-Aktivitäts-Score des gesamten Patientenguts	- 61 -
Abb. 24: Boxplot-Diagramm für den Tegner-Aktivitäts-Score beider Kohorten	- 61 -
Abb. 25: Boxplot-Diagramm für den Tegner-Aktivitäts-Score der Untergruppen	- 62 -
Abb. 26: Histogramm des Kujala-Score des gesamten Patientenkollektivs	- 63 -
Abb. 27: Boxplot-Diagramm für den Kujala-Score des gesamten Patientenguts	- 65 -
Abb. 28: Boxplot-Diagramm für den Kujala-Score beider Kohorten	- 65 -
Abb. 29: Boxplot-Diagramm für den Kujala-Score der Untergruppen	- 66 -
Abb. 30: Histogramm des IKDC-Scores für das gesamte Patientengut	- 67 -
Abb. 31: Boxplot-Diagramm für den IKDC-Score des gesamten Patientenguts	- 69 -
Abb. 32: Boxplot-Diagramm für den IKDC-Score beider Kohorten	- 69 -
Abb. 33: Boxplot-Diagramm für den IKDC-Score der Untergruppen	- 70 -
Abb. 34: Boxplot-Diagramm für die aktuelle Funktion des Kniegelenks des gesamten Patientenguts	- 72 -
Abb. 35: Boxplot-Diagramm für die aktuelle Funktion des Kniegelenks beider Kohorten	- 72 -
Abb. 36: Boxplot-Diagramm für die aktuelle Funktion des Kniegelenks der Untergruppen	- 73 -
Abb. 37: Boxplot-Diagramm für den TTTG-Abstand des Gesamtkollektivs	- 76 -
Abb. 38: Boxplot-Diagramm für den TTTG-Abstand beider Kohorten	- 76 -
Abb. 39: Boxplot-Diagramm für den TTTG-Abstand der Untergruppen	- 77 -
Abb. 40: Boxplot-Diagramm für den patellaren Shift (in mm) des Gesamtkollektivs	- 77 -
Abb. 41: Boxplot-Diagramm für den patellaren Shift (in mm) beider Kohorten	- 78 -
Abb. 42: Boxplot-Diagramm für den patellaren Shift (in mm) der Untergruppen	- 78 -
Abb. 43: Boxplot-Diagramm für den patellaren Tilt (in Grad) des Gesamtkollektivs	- 79 -
Abb. 44: Boxplot-Diagramm für den patellaren Tilt (in Grad) beider Kohorten	- 79 -
Abb. 45: Boxplot-Diagramm für den patellaren Tilt (in Grad) der Untergruppen	- 80 -
Abb. 46: Boxplot-Diagramm für die Patellahöhe des gesamten Patientenguts	- 80 -

Verzeichnis der verwendeten Abbildungen und Tabellen

Abb. 47: Boxplot-Diagramm für die Patellahöhe beider Kohorten _____	- 81 -
Abb. 48: Boxplot-Diagramm für die Patellahöhe der Untergruppen _____	- 81 -
Abb. 49: Konfidenzintervalle mit entsprechendem Median des Tegner-Score zum postoperativen Zeitpunkt nach einem Jahr abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und nach zwei Jahren _____	- 91 -
Abb. 50: Konfidenzintervalle mit entsprechendem Mittelwert des Kujala-Score zum postoperativen Zeitpunkt nach einem Jahr abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und nach zwei Jahren _____	- 92 -
Abb. 51: Konfidenzintervalle mit entsprechendem Mittelwert des IKDC-Score zum postoperativen Zeitpunkt nach einem Jahr abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und nach zwei Jahren _____	- 93 -
Abb. 52: Konfidenzintervalle mit entsprechendem Median des retropatellaren Knorpelstatus nach ICRS zum postoperativen Zeitpunkt nach einem Jahr abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und nach zwei Jahren (N= 48/70) _____	- 94 -
Abb. 53: Konfidenzintervalle mit entsprechendem Median des trochlearen Knorpelstatus nach ICRS zum postoperativen Zeitpunkt nach einem Jahr abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und nach zwei Jahren (N= 48/70) _____	- 95 -
Formel 1: IKDC-Score aus (Irrgang et al. 2001) _____	- 40 -
Tabelle 1: Eigenschaften der Patienten nach Kohorten und im Gesamten _____	- 24 -
Tabelle 2: Voroperationen und Operationsverfahren der Patienten nach Kohorten und im Gesamten _____	- 25 -
Tabelle 3: Reluxationsereignisse beider Kohorten und des Gesamtkollektivs _____	- 46 -
Tabelle 4: Beschwerden und Schmerzmedikation bei alltäglicher Belastung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs _____	- 48 -
Tabelle 5: Angaben zu Verhalten und Zufriedenheit bzgl. des Therapieverlaufes, subjektiver Beschwerden und Unsicherheitsgefühl beider Kohorten und des Gesamtkollektivs _____	- 50 -
Tabelle 6: Klinische Untersuchung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs, Teil 1 (N= Kniegelenke) _____	- 53 -
Tabelle 7: Klinische Untersuchung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs, Teil 2 (N= Kniegelenke) _____	- 54 -
Tabelle 8: Klinische Untersuchung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs, Teil 3 (N= Kniegelenke) _____	- 55 -
Tabelle 9: Klinische Untersuchung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs, Teil 4 (N= Kniegelenke) _____	- 56 -
Tabelle 10: Sportliche Betätigung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs _____	- 58 -
Tabelle 11: Tegner-Aktivitäts-Score beider Kohorten und des Gesamtkollektivs _____	- 60 -
Tabelle 12: Tegner-Aktivitäts-Score der Untergruppen _____	- 60 -
Tabelle 13: Kujala-Score beider Kohorten und des Gesamtkollektivs _____	- 64 -
Tabelle 14: Kujala-Score der Untergruppen _____	- 64 -
Tabelle 15: IKDC-Score beider Kohorten und des Gesamtkollektivs _____	- 68 -
Tabelle 16: IKDC-Score der Untergruppen _____	- 68 -
Tabelle 17: Aktuelle Funktion des Kniegelenks beider Kohorten und des Gesamtkollektivs _____	- 71 -
Tabelle 18: Aktuelle Funktion des Kniegelenks der Untergruppen _____	- 71 -
Tabelle 19: Knorpelstatus und Trochleadysplasie beider Kohorten und des Gesamtkollektivs (N= Kniegelenke) _____	- 74 -

Verzeichnis der verwendeten Abbildungen und Tabellen

Tabelle 20: TTTG-Abstand, Patella-, „Shift“, - „Tilt“ und -Höhe beider Kohorten und des Gesamtkollektivs (N= Kniegelenke)	- 75 -
Tabelle 21: Ergebnisse der Score-Verfahren aller isoliert und mittels Kombinationsverfahren versorgten Patienten	- 84 -
Tabelle 22: Ergebnisse der Scoreverfahren aller kombiniert versorgten Patienten zum präoperativen Zeitpunkt abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und postoperativen Termin nach zwei Jahren	- 86 -
Tabelle 23: Ergebnisse der Scoreverfahren der initial kombiniert in „Fadenanker“-Technik versorgten Patienten zum präoperativen Zeitpunkt abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und postoperativen Termin nach zwei Jahren	- 87 -
Tabelle 24: Ergebnisse der Scoreverfahren der kombiniert in „Fadenanker“-Technik revidierten Patienten zum präoperativen Zeitpunkt abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und postoperativen Termin nach zwei Jahren	- 87 -
Tabelle 25: Ergebnisse der Scoreverfahren der initial kombiniert in „Aperture“-Technik versorgten Patienten zum präoperativen Zeitpunkt abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und postoperativen Termin nach zwei Jahren	- 88 -
Tabelle 26: Ergebnisse der Scoreverfahren der kombiniert in „Aperture“-Technik revidierten Patienten zum präoperativen Zeitpunkt abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und postoperativen Termin nach zwei Jahren	- 88 -
Tabelle 27: Ergebnisse der Scoreverfahren aller initial und mittels Revision versorgten Patienten	- 89 -
Tabelle 28: Studien zur MPFL-Rekonstruktion (N= Fallzahl)	- 101 -
Tabelle 29: Studien zur MPFL-Rekonstruktion mit gestieltem Sehnentransplantat (N= Fallzahl)	- 102 -
Tabelle 30: Studien zur MPFL-Rekonstruktion mit „lateral release“	- 102 -

A Einleitung

A.1 Überblick über die patellofemorale Instabilität

In der akuten Verletzungssituation präsentiert sich ein Patient nach stattgefundener Erstluxation der Patella mit einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung bei deutlich reduzierter Belastbarkeit und einer erheblicher Schwellneigung aufgrund eines Hämarthros (Wirth 2011). Bei rezidivierenden Luxationen, die meist kein adäquates vorangegangenes Trauma aufweisen, nimmt die klinisch manifeste Akutsymptomatik wie Ergussbildung mit steigender Anzahl der Luxationen ab (Wirth 2011). Jedoch schildern Patienten, die unter einer rezidivierenden patellofemorale Instabilität leiden, repetitive „giving-way“-Phänomene mit Blockadesymptomatik bei sportlichen Aktivitäten und sogar im Alltag, wie beispielsweise beim Treppensteigen (Baier et al. 2011). Folglich herrscht ein hoher Leidensdruck mit Einschränkung der Alltagsfähigkeit und aufgehobener Sportfähigkeit, bei subjektiver Instabilität und damit verbundener Schmerzsymptomatik (Baier et al. 2011). Nach einer konservativen Therapie zeigen sich mit bis zu 70% hohe Reluxationsraten (Palmu et al. 2008). Daher findet bei gegebener Indikation die operative Therapie der patellofemorale Instabilität statt (Rhee et al. 2012, Schmeling 2010). Diese hat vor allem in den letzten beiden Jahrzehnten einen deutlichen Wandel widerfahren. Neben extraanatomischen Verfahren mit proximalen und distalen Zügelungsverfahren der Kniescheibe, auch „Realignment“-Techniken genannt, hat sich die Rekonstruktion des Ligamentum patellofemorale mediale (MPFL) als Standardeingriff etabliert (Buckens et al. 2010, Conlan et al. 1993, Hautamaa et al. 1998, Lind et al. 2008, Nomura et al. 2005). Für die Rekonstruktion dieser Struktur gibt es diverse Operationstechniken mit verschiedenen Herangehensweisen (Buckens et al. 2010, Lind et al. 2008). Aufgrund der multifaktoriellen Genese der patellofemorale Instabilität ist in bestimmten Fällen eine Kombination von verschiedenen Operationsverfahren notwendig (Petersen et al. 2012, Schmeling 2010). Die klinischen und radiologischen mittelfristigen Ergebnisse der Rekonstruktion des MPFL, insbesondere in Kombination mit weiteren Operationsverfahren, sind Schwerpunkt dieser Arbeit.

Zunächst soll auf Häufigkeit und Formen der patellofemorale Instabilität mit deren Begleitläsionen eingegangen werden. Zum einen werden die Biomechanik des patellofemorale Gelenks und die daraus resultierenden Risikofaktoren für eine Patella-Luxation erläutert. Zum anderen werden operative und konservative Therapiemöglichkeiten vorgestellt und im Besonderen auf die Rekonstruktion des MPFL eingegangen. Anschließend werden die Fragestellung und die formulierten Hypothesen dieser Studie vorgestellt, bevor

A Einleitung

abschließend das beobachtete Patientengut und die Ergebnisse präsentiert und diskutiert werden.

A.1.1 Inzidenz der Patellaluxation

Die Luxation der Patella macht ca. 2-3% aller Knieverletzungen aus (Guerrero et al. 2009, Rosslenbroich et al. 2012). Es wird eine Inzidenz zwischen 29 - 43/100.000 beschrieben (Fithian et al. 2004, Schöttle et al. 2009). Für Heranwachsende zwischen zehn und 17 Jahren besteht bei einer geschlechtsunabhängigen Inzidenz von 29/100.000 bei Mädchen und jungen Frauen ein höheres Risiko von 33/100.000 (Fithian et al. 2004).

A.1.2 Formen der Patellaluxation

Bei Luxation der Patella kann eine Unterscheidung in Luxationsrichtung sowie nach Mechanismus und Häufigkeit durchgeführt werden.

Die häufigste Form ist nach lateral (Beasley et al. 2004, Strobl et al. 1998). Es kann jedoch auch zur Luxation nach medial kommen (Biedert 2010). Diese wird meist bei Zustand nach Voroperationen der betroffenen Extremität beobachtet und wird daher auch als iatrogene oder sekundär mediale Luxation bzw. Instabilität beschrieben (Biedert 2010, Strobl et al. 1998).

Anhand des Mechanismus und Häufigkeit kann eine Einteilung in eine akute traumatische, habituelle, kongenitale bzw. rezidivierende oder chronische Kniescheiben-Luxation durchgeführt werden (Oestern et al. 2011).

Eine akute respektive traumatische Patellaluxation kann durch einen adäquaten direkten oder indirekten Verletzungsmechanismus hervorgerufen werden (White et al. 2009). Das Durchschnittsalter respektive die größte Häufigkeit einer akuten Patella-Erstluxation liegt bei einem Median von 16 Jahren, mit einer nahezu ausgeglichenen Geschlechtsverteilung (Fithian et al. 2004). In 60% der Fälle findet die akute traumatische Patella-Luxation bei sportlicher Aktivität statt (Wirth 2011). Beim direkten Trauma wirkt eine Kraft direkt auf die Patella ein, die sie in der medio-lateralen Ebene nach lateral aus dem patellofemorale Gelenk befördert (Beasley et al. 2004, White et al. 2009). Der indirekte Verletzungsmechanismus wird als Valgusstress des Kniegelenks beschrieben, kombiniert mit einer Innen- bzw. Aussenrotation von Femur respektive Tibia (Beasley et al. 2004, Panni et al. 2013, White et al. 2009).

Bei der überwiegenden Mehrheit der akuten Patellaluxation kommt es zur Spontanreposition. Weniger als 20% der Patienten weisen eine verhakte laterale Luxation auf, welche einer Fremdreposition bedarf (Beasley et al. 2004).

A Einleitung

Bei der habituellen Form werden prädisponierende anatomische Ursachen als Risikofaktoren für die Luxation der Patella benannt (Oestern et al. 2011). Ein adäquates Trauma liegt in der Regel nicht vor, meist wird von einem Bagatelltrauma berichtet (Wirth 2011). Diese Luxationsform tritt mit 60-90% überwiegend beim weiblichen Geschlecht auf (Strobl et al. 1998). Eine familiäre Häufung ist ebenfalls beschrieben (Strobl et al. 1998). Eine ursächliche Erstluxation für eine rezidivierende patellofemorale Instabilität tritt meist in der zweiten Lebensdekade auf (Strobl et al. 1998).

Die kongenitale Kniescheiben-Luxation tritt familiär gehäuft und meist beidseits auf (Oestern et al. 2011). Sie ist mit einer generalisierten Grunderkrankung, wie der Arthrogryposis multiplex congenita, dem Down-Syndrom oder dem Ehlers-Danlos-Syndrom assoziiert (Oestern et al. 2011). Die Diagnosestellung findet meist im 3.– 4. Lebensjahr statt (Oestern et al. 2011). Aufgrund einer gestörten Ossifikation kann es zur dysplastischen oder sogar zur fehlenden Anlage der Patella kommen (Oestern et al. 2011).

In der Literatur wurde der klassische Phänotyp des patellofemoral instabilen Patienten als hyperlaxe, unsportliche, leicht übergewichtige heranwachsende Frau beschrieben (Beasley et al. 2004). In weiteren Studien zeigte sich jedoch, dass Patella-Luxationen im Allgemeinen bei sportlich aktiven Jugendlichen zwischen 14 und 20 Jahren ohne eine klare Präferenz eines Geschlechts auftreten (Beasley et al. 2004).

A.1.3 Begleitläsionen der patellofemorale Luxation

Aus Studien der radiologischen, MRT- und CT-Bildgebung bei Evaluation der Patienten mit Zustand nach einer Patella-Luxation, konnte die Häufigkeit von begleitenden Läsionen dieses Traumas beobachtet werden. Neben einem Erguss bzw. Hämarthros als Zeichen einer stattgefundenen akuten Luxation können auch die direkt verursachten Schädigungen evaluiert werden (Wirth 2011). Die Präsenz eines Kniegelenkserguss ist ein unspezifisches Zeichen und nicht beweisführend für eine stattgefundenen Luxation, da auch andere Reizzustände dieses Symptom verursachen können (Diederichs et al. 2010).

In 70-100% der Fälle ist eine Verletzung des medialen Retinakulums, insbesondere des MPFL, zu beobachten (Diederichs et al. 2010). Hierbei kann bei Schädigung des MPFL eine Ruptur respektive Avulsion von einer Elongation nach Vernarbung unterschieden werden (Nomura 1999). Eine genauere Einteilung kann gemäß ihrer Lokalisation in eine femorale, „mid-substance“, patellare und letztlich kombinierte Ruptur vorgenommen werden (Panni et

A Einleitung

al. 2013). Bzgl. der Lokalisations-Häufigkeit herrscht in der aktuellen Literatur keine Einigkeit über die vorherrschende Rupturstelle (Panni et al. 2013).

Es kann eine Schädigung des Musculus vastus medialis obliquus (VMO) MR-tomographisch anhand von Ödemen respektive Einblutungen des inferioren Anteils beobachtet werden (Elias et al. 2002, Paakkala et al. 2010). Studien konnten in 43% bzw. 45% der bildgebend untersuchten Patienten derartige Verletzungen bei einer akuten Patella-Luxation dokumentieren (Elias et al. 2002, Paakkala et al. 2010). Des Weiteren wurden interstitielle und ansatznahe Muskelfaserläsionen sowie Ablösungen der Insertion des VMO am Tuberculum adductorium beschrieben (Diederichs et al. 2010).

Aufgrund des Mechanismus der Luxation und abhängig vom Ausmaß des Traumas, insbesondere der Reposition der Patella, können Knochenmarködeme an Femur und Patella entstehen (Diederichs et al. 2010, Elias et al. 2002, Paakkala et al. 2010). MR-tomographisch zeigen sich diese nach einer stattgefundenen Luxation vor allem an der medialen Patella-Facette sowie dem lateralen Femurkondylus (Diederichs et al. 2010, Elias et al. 2002, Paakkala et al. 2010). In der Literatur ist bei akuten lateralen Patella-Luxationen in 80% bis 100% der Fälle ein Knochenmarködem am lateralen Femurkondylus, sowie in 60% bis über 90% der Fälle der medialen Patella beobachtet worden (Diederichs et al. 2010, Elias et al. 2002, Paakkala et al. 2010). Sie repräsentieren eine kombinierte Verletzung aus Einblutung, Ödem und mikrotrabekulärer Fraktur und werden als pathognomonische Zeichen einer stattgefundenen Luxation gewertet (Diederichs et al. 2010, Paakkala et al. 2010). Die Knochenmarködeme wurden in einer MR-tomographischen Studie im weiteren Verlauf beobachtet und konnten in 22% bzw. 39% der nachverfolgten Fälle noch nach einem Jahr an lateraler Femurkondyle respektive medialer Patella-Facette nachgewiesen werden (Paakkala et al. 2010). In dieser Studie konnten initial in 74% der Fälle am medialen Patella-First, in 30% am medialen Femurcondylus und in 17% an der lateralen Patella-Facette Knochenmarködeme beobachtet werden (Paakkala et al. 2010).

Die geschilderten MR-tomographisch sichtbaren Verletzungen bzw. Reaktionen der ossären Strukturen nach einer stattgefundenen Patella-Luxation lassen die enormen Kräfte bei diesem Trauma erahnen. Die auftretenden Kräfte wirken sich nicht nur auf den Knochen, sondern ebenso auf den gelenkflächenbildenden Knorpel aus (Nomura et al. 2003, Rosslenbroich et al. 2012). In der Literatur wird eine Häufigkeit chondraler Läsionen bei Patella-Luxationen von 68% bis 95% angegeben (Nomura et al. 2003, Rosslenbroich et al. 2012). Kommt es zu einer Knorpelläsion, ist stets eine Beteiligung der Patella sowie in 31% der Fälle eine zusätzliche

A Einleitung

Beteiligung von lateraler Femurkondyle beobachtet worden (Nomura et al. 2003). Neben der Verteilung auf femorale und patellare Gelenkfläche konnte auch die Lokalisationshäufigkeit der patellaren Knorpelschäden erfasst werden (Nomura et al. 2003). Die patellaren chondralen Läsionen zeigen sich mehrheitlich an medialer Patella-Facette und am Patella-First (Nomura et al. 2003). Es kommt nicht nur zu reinen Verletzungen des Gelenkknorpels, sondern auch zu osteochondralen Läsionen, einem kombinierten Schaden von Knorpel und angrenzenden Knochen der Patella-Rückfläche und dem trochlearen Gleitlager (Elias et al. 2002, Guerrero et al. 2009, Nomura et al. 2004, Paakkala et al. 2010). Bei Zustand nach einer akuten Patellaluxation wurde eine Häufigkeit osteochondraler Läsionen zwischen 39% - 72% beobachtet (Elias et al. 2002, Guerrero et al. 2009, Nomura et al. 2004, Paakkala et al. 2010). Die meisten betreffen dabei den inferioren Anteil der medialen Patella-Facette (Nomura et al. 2004). Des Weiteren zeigte sich in 22% respektive in 44% der Fälle einer akuten Patella-Luxation eine konkave Impression mit Deformierungen der Kniescheibe, welche als pathognomonisches Zeichen einer stattgefundenen Kniescheibenluxation angesehen wird (Elias et al. 2002, Paakkala et al. 2010). Als Maximalform der knöchernen Beteiligung der Patella bei Luxation aus ihrer Gleitrinne konnte bei 7% eine Patella-Avulsionsfraktur beobachtet werden (Guerrero et al. 2009).

Infolge des erlittenen Traumas kommt es zu osteochondralen Läsionen am lateralen Femurkondylus (Diederichs et al. 2010). Für diese Lokalisation konnte bei 40% der Untersuchten eine Knorpel-Knochen-Läsion dokumentiert werden (Diederichs et al. 2010).

Für das Patientengut mit rezidivierenden Patella-Luxationen ist in der Literatur eine Häufigkeit für chondrale Läsionen von 96% beschrieben (Nomura et al. 2004). Als häufigste Lokalisation wird der Patella-First benannt (Nomura et al. 2004). Die Begleitläsionen des Knorpels, des Knochens bzw. Kombinationsverletzungen können in 13% - 15% zur Entstehung freier Gelenkkörper führen (Elias et al. 2002, Guerrero et al. 2009).

Die Verletzungen des Bandapparats beschränken sich nicht nur auf das MPFL, sondern in 4% - 19% konnten Partialläsionen des medialen kollateralen Ligaments und in 13% des lateralen kollateralen Ligaments beobachtet werden (Elias et al. 2002, Guerrero et al. 2009, Paakkala et al. 2010). Neben den o.g. Verletzungen kommt es in 11% - 21% zu Meniskus-Schäden (Elias et al. 2002, Guerrero et al. 2009, Paakkala et al. 2010).

A.2 Biomechanik des patellofemorales Gelenks

Die Patella beschreitet bereits bei der Beugung des Kniegelenks einen komplexen Ablauf von Bewegungen in verschiedenen Achsen um ihr Gleitlager (Ahmed et al. 2000). Die Stabilität des patellofemorales Gelenks ist von mehreren Faktoren entscheidend abhängig (Colvin et al. 2008, Feller et al. 2007, Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009).

A.2.1 Patellofemorale Artikulation

Die Artikulation im patellofemorales Teilgelenk während der Knieflexion ist eine Mischung aus Rotationen und Translationen der Patella in verschiedenen Achsen (Ahmed et al. 2000). Dabei verläuft die patellofemorale Flexion nahezu direkt proportional zur tibiofemorales Beugung (Amis et al. 2006). Beginnend in voller Streckung kommt es zum ersten Kontakt zwischen distalem Pol des Patella-Firsts und proximalem Trochlea-Anteil bei ca. 6° Knieflexion (Iranpour et al. 2010). Nachfolgend treten der Mittelpunkt des Patella-First und die obere Trochleagrenze bei 22° Beugung in Verbindung (Iranpour et al. 2010). Folglich artikulieren ab ca. 20° Flexion Patella und Trochlea femoris vollständig miteinander (Bachmann et al. 2010). Das Zentrum der Patella verläuft während der Knieflexion zirkulär, entlang der trochlearen Achse (Iranpour et al. 2010). Aus biomechanischen Studien mit in vitro und in vivo Modellen konnten bzgl. der medio-lateralen Patella-Translation in der axialen Ebene -auch als Patella-„Shift“ bezeichnet-, ein Verlauf in zwei Phasen beobachtet werden (Iranpour et al. 2010, Katchburian et al. 2003). Zunächst kommt es zu einer medialen Translation der Kniescheibe, deren Maximum zwischen 15° - 40° Knieflexion auftritt und mit einem Ausmaß zwischen 0,25 mm und 5,7 mm beschrieben wird (Iranpour et al. 2010, Katchburian et al. 2003). Nachfolgend kommt es mit Steigerung der tibiofemorales Flexion zu einem lateralen Patella-„Shift“ mit einer Auslenkung von 0,2 mm bis zu 7,5 mm (Katchburian et al. 2003). Die medio-laterale Translation wird vor allem von der Oberflächen-Topographie der Trochlea femoris bestimmt (Ahmed et al. 2000). Der Einfluss der retropatellaren Gelenkfläche wird diesbezüglich nur auf 10% beziffert (Ahmed et al. 2000). Auch für die Rotation in der proximo-distalen Achse, den Patella-„Tilt“, wird ein zweiphasiger Verlauf geschildert (Ahmed et al. 2000, Katchburian et al. 2003). Zwischen 15° und 30° Knieflexion wurde ein medialer Patella-„Tilt“ von 0,4° bis zu 3,2° beobachtet (Katchburian et al. 2003). Bei zunehmender Beugung folgt ausgehend von zuvoriger Rotationsstellung eine laterale Rotation respektive „Tilt“ von 0,7° bis 8,2° (Katchburian et al. 2003). Die retropatellare Gelenkfläche übt dabei mit ca. 33% einen höheren Einfluss auf den „Tilt“ als auf den „Shift“ der Kniescheibe aus (Ahmed et al. 2000). Im patellofemorales Gelenk herrscht ein Anpressdruck von 385 N beim Gehen respektive von 2400 N bis 2500 N

A Einleitung

beim Treppensteigen (Feller et al. 2007). Dieser kann bei Landemanövern von Sprungbewegungen auf Werte von maximal 5972 N steigen (Feller et al. 2007). Aufgrund der unterschiedlichen Orientierung der Femur-Achse und des resultierenden Kraftvektors des M. quadriceps femoris, divergieren diese um ca. 15°, den sog. Q-Winkel (Hautamaa et al. 1998). Daraus resultiert strecknah eine nach lateral gerichtete Kraftkomponente der Patella, gegen welche die laterale Trochleafacette wirkt (Amis et al. 2003).

A.2.2 Faktoren der patellofemorale Instabilität

Die patellofemorale Instabilität hat eine multifaktorielle Genese (Colvin et al. 2008, Feller et al. 2007, Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). Die Balance von statischen, passiven und aktiven Faktoren beeinflusst die Stabilität des patellofemorale Gelenks (Colvin et al. 2008, Feller et al. 2007, Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009).

Als statischer Faktor wird die knöchernen Gelenkgeometrie bezeichnet (Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). Sie wird durch Achs- respektive Rotationsvarianten, wie eine vermehrte Antetorsion des Femur bzw. eine valgische Beinachse, und dysplastische Formvarianten der Trochlea beeinflusst (Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). Kapsel- und Bandapparat, im Sinne des peripatellaren Retinakulums, sind als passive Stabilisatoren definiert (Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). Die ventrale Oberschenkelmuskulatur hingegen stabilisiert aktiv die Patella (Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). Als wichtigster dynamischer Stabilisator wirkt der M. vastus medialis obliquus (VMO) (Schöttle et al. 2009). Das Zusammenspiel der einzelnen Faktoren ist beugegrad-abhängig (Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). In strecknaher Position stabilisiert das MPFL als passiver Faktor hauptsächlich die Kniescheibe (Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). Mit fortschreitender Kniegelenkflexion, somit zunehmender Artikulation von Patella und Trochlea femoris, steigt der Einfluss der statischen Faktoren (Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). Erst ab einer Flexion über 60° wirkt sich die Muskulatur effektiv stabilisierend aus (Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). In dieser Gelenkstellung überwiegt bereits die Wirkung der Trochlea femoris als statischer Faktor der Patella (Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009).

A.2.2.1 Statische Faktoren

Die Patella, als größtes Sesambein des Menschen, artikuliert mit den oberen 2/3 ihrer Rückfläche und fungiert dabei als biomechanischer Hebel, der die effektive Extensionskapazität des M. quadriceps femoris durch Erhöhung des Hebelarms der Patellarsehne verstärkt (Tecklenburg et al. 2006). Sie setzt sich aus je drei paarigen medialen und lateralen sowie einer unpaarigen Facette zusammen (Olk et al. 2002, Tecklenburg et al.

A Einleitung

2006). Diese liegt weit medial und nur in tiefer Beugstellung kommt es zu Kontakt mit dem medialen Femurkondylus (Olk et al. 2002, Tecklenburg et al. 2006). Anhand des Verhältnisses der Patella-Facetten zueinander erfolgte durch Wiberg eine makroskopische Einteilung (Tecklenburg et al. 2006). Ob eine Formvariante gemäß dieser Einteilung einen Krankheitswert hat, konnte jedoch nicht bewiesen werden (Tecklenburg et al. 2006). Neben Formvarianten können auch Größenvarianten der Patella und Anlagevarianten, wie Patella bi-/multipartita oder sogar eine Patella-Agenesie, beobachtet werden (Tecklenburg et al. 2006).

Das trochleare Gleitlager wird durch die beiden Femurkondylen gebildet (Tecklenburg et al. 2006). Dabei liegt der Sulcus zwischen der lateralen und femoralen Trochleafacette (Tecklenburg et al. 2006). Die Tiefe des trochlearen Sulcus nimmt dabei von proximal nach distal zu (Tecklenburg et al. 2006). Dabei liegt die Gleitrinne weder in der anatomischen, noch in der mechanischen Femur-Achse (Eckhoff et al. 1996). Die beiden Trochleafacetten stehen in einem beschriebenen Winkel von 130° - 143° zueinander, der von proximal betrachtet zunächst abnimmt und distal erneut zunimmt (Galtand et al. 1990, Shih et al. 2004). Die Facettenmorphologie nimmt in proximo-distaler Orientierung jeweils medial und lateral einen unterschiedlichen Verlauf (Shih et al. 2004). Die laterale Trochleafacette zeigt proximal bei ca. 8 mm die höchste Erhebung, mit der größten Neigung -auch „Trochlea-Slope“ genannt- von ca. 23° und nimmt jeweils nach distal ab (Shih et al. 2004). Die Höhe der medialen Facette nimmt nach distal hin auf eine Höhe von maximal ca. 10 mm zu (Shih et al. 2004). Bzgl. der anatomischen Landmarken an Patella und Trochlea femoris muss eine Unterscheidung zwischen der Oberflächengeometrie der von Knorpel bedeckten Gelenkfläche und des darunterliegenden subchondralen Knochen bedacht werden (Shih et al. 2004, Stäubli et al. 1999).

In 96% der Fälle von Patienten mit einer stattgefundenen Patellaluxation konnte eine Trochleadysplasie beobachtet werden (Colvin et al. 2008, Dejour et al. 1994). Die dysplastischen Formvarianten der Trochlea werden nach Dejour in vier Typen eingeteilt (Lippacher et al. 2012). Von Schweregrad A-D nimmt die Hypoplasie des medialen Femurkondylus und damit die mangelnde Ausbildung des trochlearen Gleitlagers mit reduzierter Tiefe, medialisiertem Sulcus und abgeflachter, maximal sogar konvexer lateraler Facette zu (Schmeling 2010). (**Abb. 16**)

A.2.2.2 Passive Faktoren

Neben der knöchernen Führung ist der Reservestreckapparat, das sog. mediale und laterale Retinakulum, insbesondere in strecknahen Stellungen für die patellofemorale Stabilität von entscheidender Bedeutung (Conlan et al. 1993, Hautamaa et al. 1998, Nomura et al. 2005).

Für das mediale Retinakulum ist ein dreischichtiger Aufbau beschrieben (Philippot et al. 2009, Warren et al. 1979). Diese Unterteilung lässt sich am besten im Bereich darstellen, in dem Fascia lata, sMCL und tMCL auf einer Höhe liegen (Warren et al. 1979). Zur ersten, superfiziellen Schicht wird die Fascia lata sowie der darunter liegende VMO gezählt (Philippot et al. 2009, Warren et al. 1979). Aufgrund der anatomischen Beziehung des VMO zum MPFL wird in der Literatur auch eine topographische Zwischenstellung zwischen erster und zweiter Ebene erörtert (Feller et al. 1993). In der zweiten, mittleren Ebene sind das MPFL und das sMCL lokalisiert (Feller et al. 1993, Kang et al. 2010, Philippot et al. 2009, Smirk et al. 2003, Warren et al. 1979). In der dritten, somit der tiefen Schicht sind, neben dem tMCL und der damit eng verwobenen Gelenkkapsel, das Ligamentum patellomeniscale mediale und das Ligamentum patellotibiale mediale darstellbar (Philippot et al. 2009, Tuxoe et al. 2002, Warren et al. 1979). Im Verlauf des MPFL zur patellaren Insertion vereinigen sich die einzelnen Faseranteile eng miteinander und sind ansatznah kaum voneinander zu separieren (Baldwin 2009, Hautamaa et al. 1998, Nomura et al. 2005).

Als einer der Ersten beschrieb Kaplan 1957 eine transversale Verstärkung der Patella, die medial bis zur Insertion der Sehne des M. gastrocnemius zog (Nomura et al. 2005). Diese Struktur erhielt im Laufe der Zeit verschiedene Bezeichnungen, aktuell wird diese Struktur als MPFL bezeichnet (Nomura et al. 2005). Der Verlauf des MPFL vom medialen Epicondylus respektive Tuberculum adductorium zur medialen Patella-Facette wird als Triangel- bzw. fächerförmig beschrieben (Kang et al. 2010, Nomura et al. 2005, Smirk et al. 2003). Die Breite des Ligaments nimmt dabei zur patellaren Insertion zu (Smirk et al. 2003). Ein inter-individueller Größenunterschied ist in der Literatur beschrieben (Amis et al. 2003, Tuxoe et al. 2002). Bei Vergleich beider Seiten eines Individuums wurde kein Unterschied beobachtet (Tuxoe et al. 2002). Eine enge Korrelation zwischen der Patella-Größe und dem stabilisierenden MPFL existiert nicht (Philippot et al. 2009, Tuxoe et al. 2002). Anhand der fächerförmigen Verbreiterung wird in der Literatur ein Aufbau aus zwei Bündeln vorgestellt, der jedoch nur funktioneller Natur ist, da die Anteile übergangslos konfluieren (Amis et al. 2003, Kang et al. 2010). Von proximal aus betrachtet kann ein superiores obliques Bündel (SOB) von einem inferioren geraden Bündel (ISB) unterschieden werden (Kang et al. 2010).

A Einleitung

Bzgl. der femoralen Insertion des MPFL wurden anatomische Landmarken, wie das Tuberculum adductorium und der mediale Epicondylus, als Referenzpunkte verwendet bzw. als Ursprünge angegeben (Feller et al. 1993, LaPrade et al. 2007, Philippot et al. 2009, Smirk et al. 2003). Das Tuberculum adductorium und der mediale Epicondylus liegen im Mittel nur 19,3 mm voneinander entfernt (Philippot et al. 2009). Die Fasern des MPFL setzen femoral nicht nur in einem Zentrum an, sondern es konnten Faser-Ausläufe zum Tuberculum adductorium, dem medialen Epicondylus, den postero-medialen Retinakulum-/ Kapsel-Anteilen sowie eine enge Assoziation mit dem sMCL dargestellt werden (Amis et al. 2003, Baldwin 2009, LaPrade et al. 2007, Nomura et al. 2005, Smirk et al. 2003, Steensen et al. 2004, Tuxoe et al. 2002). Aufgrund der topographischen Nähe der o.g. Landmarken, der inserierenden anatomischen Strukturen und der Ausläufer des MPFL sind in der Literatur unterschiedliche Angaben zur zentralen femoralen Insertion des MPFL zu finden (Amis et al. 2003, Aragão et al. 2008, Baldwin 2009, Feller et al. 1993, Hautamaa et al. 1998, Kang et al. 2010, LaPrade et al. 2007, Nomura et al. 2005, Philippot et al. 2009, Smirk et al. 2003, Stephen et al. 2012, Tuxoe et al. 2002). Eine kombinierte Dissektions-Studie mit biomechanischer Evaluation bestätigt aufgrund der nahezu isometrischen Eigenschaften des MPFL das Zentrum der femoralen Insertion im knöchernen Sulcus zwischen Tuberculum adductorium und Epicondylus medialis (Stephen et al. 2012). Weitere Studien beschrieben ebenfalls diesen Bereich als Zentrum des MPFL (Baldwin 2009, Kang et al. 2010). In der Literatur wird nahe des femoralen Ansatzes eine mittlere Breite in proximo-distaler Ausdehnung von 10-19 mm des MPFL beobachtet (Amis et al. 2003, Baldwin 2009, Nomura et al. 2005, Philippot et al. 2009, Steensen et al. 2004, Tuxoe et al. 2002). Das Ligament verläuft in der zweiten Schicht des medialen Retinakulums zur superiomedialen Patella und setzt im Bereich der oberen Hälfte respektive der oberen zwei Drittel an der medialen Facette an (Amis et al. 2003, Baldwin 2009, Hautamaa et al. 1998, LaPrade et al. 2007, Philippot et al. 2009, Tuxoe et al. 2002). Bzgl. der patellaren Insertion werden Ausziehungen der Fasern über die gesamte Facette beschrieben (Amis et al. 2003, Aragão et al. 2008). Für den Mittelpunkt der patellaren Insertion sind in der Literatur relative Positionswerte in Bezug auf die proximo-distale Ausdehnung der medialen Patella-Facette zwischen 27% und 41,4% von proximal aus betrachtet angegeben (LaPrade et al. 2007, Nomura et al. 2005). Die Länge des patellaren Insertionsbereichs liegt zwischen 17 mm und 28 mm (Amis et al. 2003, Aragão et al. 2008, Baldwin 2009, Philippot et al. 2009, Steensen et al. 2004). Es sind Ausläufer der patellaren MPFL-Insertion in die Quadrizepssehne beschrieben (Tuxoe et al. 2002). Die Länge des MPFL zwischen patellarem und femoralen Insertionsbereich beträgt 55 mm bis 65

A Einleitung

mm (Amis et al. 2003, LaPrade et al. 2007, Nomura et al. 2005, Philippot et al. 2009, Smirk et al. 2003, Tuxoe et al. 2002, Victor et al. 2009). Die Fasern des proximalen Anteils respektive des SOB sind eng mit der Sehne des VMO verwoben (Baldwin 2009, Feller et al. 1993, Kang et al. 2010, LaPrade et al. 2007, Tuxoe et al. 2002). Dabei liegt die Insertionsstelle im muskulotendinösen Übergang des VMO über einen Bereich zwischen 20 - 25 mm des MPFL (Baldwin 2009, Nomura et al. 2005, Philippot et al. 2009). Diese Kontaktfläche entspricht 35% der Gesamtlänge des MPFL und beginnt ab ca. 2,1 cm vom Tuberculum adductorium betrachtet (Nomura et al. 2005, Tuxoe et al. 2002). Aufgrund der Verbindung des proximalen Anteils des MPFL respektive SOB und dem VMO wird dieses „Bündel“ als dynamisch-stabilisierendes Weichteil bezeichnet (Kang et al. 2010). Das MPFL besitzt isometrische Eigenschaften, wobei sich in biomechanischen Studien zeigte, dass der caudale Anteil respektive das ISB einem isometrischen Verhalten am nächsten kommt (Kang et al. 2010). Vor allem zwischen 0° und 40° Kniebeugung konnte das nahezu isometrische Verhalten des zentralen Anteils des MPFL gezeigt werden (Victor et al. 2009). Jedoch wurden in zuvor genannter biomechanischer Studie für superiore und inferiore Anteile unterschiedliche beugegradspezifische Verhalten beobachtet (Victor et al. 2009). Dabei zeigte sich der craniale Anteil in voller Streckung, der caudale in 30° Knieflexion am meisten gespannt (Victor et al. 2009). Mit steigender Flexion über 40° Kniebeugung nimmt die Spannung des MPFL ab (Victor et al. 2009). Dabei zeigt sich im inferioren Anteil ein geringerer Rückgang der Spannung pro Beugegrad als im zentralen (Victor et al. 2009). Eine weitere Publikation konnte ebenso einen zweiphasigen Verlauf der MPFL-Spannung, jedoch mit Spannungsspitzen des MPFL bei 0° und zwischen 45° - 150° Knieflexion, beobachten (Nomura et al. 2005). Eine MR-tomographische in vivo Studie stellte zwischen 0° - 60° Knieflexion ebenfalls, mit einem Unterschied der MPFL-Länge von ca. 1 mm, ein nahezu isometrischen Verhalten dar (Higuchi et al. 2010). Weitere Autoren beschreiben nahezu isometrische Eigenschaften des MPFL mit Längenveränderungen von 1,5 - 2 mm zwischen 0° - 110° Kniebeugung, bei einer Spannungsabnahme zwischen 0° - 40° Kniebeugung (Stephen et al. 2012). In einer weiteren Studie stellte der superiore Punkt der femoralen Insertion den für die Isometrie des MPFL bedeutendsten dar (Steensen et al. 2004). Zusammenfassend konnte keine der zuvor erwähnten Studien rein isometrische Eigenschaften des MPFL nachweisen, jedoch bestätigen sie in strecknaher Kniegelenksstellung nahezu isometrische Längenverhältnisse (Higuchi et al. 2010, Kang et al. 2010, Nomura et al. 2005, Steensen et al. 2004, Stephen et al. 2012, Victor et al. 2009).

A Einleitung

Die mittlere Versagenslast des MPFL liegt in biomechanischen Studien an menschlichen Kadavern mit einem Durchschnittsalter von ca. 70 Jahren bei 205N bis 208N (SD: ± 90 N) (Amis et al. 2003, Mountney et al. 2005). Es ist anzunehmen, dass beim betroffenen Patientengut die Versagenslast höher ist, da aus Studien zum vorderen Kreuzband eine 2,5-fach höhere Stärke des Ligaments in der dritten Lebensdekade im Vergleich zur siebten bekannt ist (Amis et al. 2003). Das MPFL rupturiert laut einer biomechanischen Studie ab einer mittleren Elongation von 26 mm (Mountney et al. 2005). Dies entspricht etwa 49% der Gesamtlänge des MPFL (Mountney et al. 2005). Hierbei zeigt das MPFL eine höhere Belastbarkeit als beispielsweise das hintere Kreuzband, das bereits ab einer Elongation von 19% reißt (Mountney et al. 2005). Da für eine vollständige Luxation der Patella eine Translation von ca. 50 mm nötig ist, muss es folglich zu einer Ruptur des MPFL kommen (Mountney et al. 2005). Es werden in der Literatur Ruptur-Raten von bis zu 95-100% beschrieben (Stephen et al. 2012).

Aus der biomechanischen Evaluation der Strukturen des medialen Retinakulums konnte nachgewiesen werden, dass das MPFL den primären ligamentären Widerstand gegen eine laterale Patella-Luxation darstellt (Conlan et al. 1993, Hautamaa et al. 1998, Nomura et al. 2005). In der Literatur wird dem MPFL 50% - 60% der stabilisierenden Kraft gegen eine laterale Patella-Luxation zugeordnet (Conlan et al. 1993, Hautamaa et al. 1998, Nomura et al. 2005). Dieser stabilisierende Einfluss ist in strecknaher Stellung am stärksten (Amis et al. 2003).

Für das laterale Retinakulum lässt sich ebenfalls eine mehrschichtige Aufteilung in der Literatur finden (Merican et al. 2008). Die superfizielle Schicht wird durch die Fascia lata und ihre Ausläufer in das „iliotibial band“ gebildet (Merican et al. 2008). Zwischen Patella und dem Tractus iliotibialis sind eine oblique und eine profunde, transversal verlaufende Faserschicht beschrieben, welche die Gelenkkapsel überdecken (Fulkerson et al. 1980). Auch das laterale Retinakulum weist ein patellofemorales und ein patellomeniscales respektive patellotibiales Ligament auf (Merican et al. 2008). Eine sehr ausgedehnte Struktur ist der Tractus iliotibialis mit seinen femoralen, patellaren und tibialen Insertionen (Vieira et al. 2007). Die einzelnen Schichten des lateralen Retinakulums sind, wie medial, nicht immer klar abgrenzbar sondern konfluieren ineinander, vor allem nahe der Patella (Merican et al. 2009, Seebacher et al. 1982). Das laterale Retinakulum hat, wie auch das mediale, stabilisierenden Einfluss auf die Patella (Christoforakis et al. 2006). Eine biomechanische Studie zeigte nach Durchtrennung des lateralen Retinakulums eine vermehrte Translation nach lateral in voller

A Einleitung

Streckung und eine vermehrte Translation nach medial in Flexion (Ostermeier et al. 2007). Vor allem in strecknaher Stellung reduziert eine Durchtrennung des lateralen Retinakulums die nötige Kraft für eine laterale Luxation (Christoforakis et al. 2006).

A.2.2.3 Aktive Faktoren

Der VMO entspringt am Septum intermusculare mediale und inseriert in das mediale Retinakulum respektive an der medialen Patella-Facette (Colvin et al. 2008, Farahmand et al. 1998). Es besteht eine enge anatomische Beziehung zum MPFL nahe der patellaren Insertion (Farahmand et al. 1998). Die Zugrichtung der Muskelfasern verläuft ca. 47° medialer als die anatomische Femur-Achse und die Zugkraft trägt ca. 10% zur Gesamtkraft des M. quadriceps femoris bei (Colvin et al. 2008). Eine Relaxation des VMO führt zu einer vermehrten lateralen Translation der Patella über einen beobachteten Bewegungsumfang von 0° - 90° Knieflexion (Colvin et al. 2008). Er ist somit der wichtigste dynamische Stabilisator der Patella (Schöttle et al. 2009).

A.3 Therapie der patellofemorale Instabilität

Anhand des komplexen Zusammenspiels der verschiedenen stabilisierenden Faktoren ist eine operative Therapie sorgfältig auszuwählen und bei relevanter Pathologie zu erweitern (Petersen et al. 2012, Schmeling 2010). Zur Stabilisierung des patellofemorale Gelenks sind in der Literatur über 130 verschiedene Operationstechniken beschrieben (Buckens et al. 2010). Auch ein konservatives Vorgehen hat bei enger Indikationsstellung seinen Stellenwert (Rhee et al. 2012, Schöttle et al. 2009).

A.3.1 Konservative Maßnahmen

Zeigt sich nach einer Erstluxation der Patella kein Anhaltspunkt für eine osteochondrale Läsion wie z.B. durch einen freien Gelenkkörper und keine höhergradigen Deformitäten wie eine Dysplasie der Trochlea, kann ein konservatives Therapievorgehen durchgeführt werden (Rhee et al. 2012, Schöttle et al. 2009). Initial erfolgt die Anwendung des „PECH“-Schemas, gegebenenfalls nach zuvoriger behutsamer Reposition der Patella, mit einer Ruhigstellung des Kniegelenks für die Dauer von mind. einer Woche in 20° Knieflexion (Rhee et al. 2012, Schöttle et al. 2009). Konsekutiv erfolgt eine Versorgung mittels Hartrahmenorthese für weitere zwei Wochen mit einem reduzierten Bewegungsumfang von Flexion/Extension 60° - 20° - 0° (Schöttle et al. 2009). Weiterführend wird die Beweglichkeit in dieser Schiene in der vierten bis sechsten posttraumatischen Woche auf einen Umfang von Flexion/Extension 90° - 10° - 0° limitiert. Nach sechs Wochen erfolgt die klinische Re-Evaluation (Schöttle et al. 2009). Durch dieses Vorgehen soll die Heilung des mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit verletzten MPFL in einer Stellung, in der es seine größte physiologische Spannung hat, ermöglicht werden (Schöttle et al. 2009). Nach konservativer Therapie werden jedoch erneute Luxationen in 20 - 71% der Fälle beobachtet (Bitar et al. 2012, Christiansen et al. 2008b, Mäenpää et al. 1997, Palmu et al. 2008, Petri et al. 2013, Sillanpaa et al. 2008b).

A.3.2 Operative Prozeduren

Ein operatives Vorgehen ist nach gescheiterter konservativer Therapie mit persistierender subjektiver Instabilität, bei Rezidiv-Luxationen sowie bei Erstluxation mit hochgradigen knöchernen Deformitäten oder osteochondralen Läsionen, wie einer „Flake“-Fraktur mit freien Gelenkkörpern, indiziert (Rhee et al. 2012, Schöttle et al. 2009).

Für eine operative Stabilisierung der Kniescheibe sind weit über 130 verschiedene Operationstechniken beschrieben, die sich allgemein in proximale und distale „Realignment“-Verfahren unterscheiden (Buckens et al. 2010, Petersen et al. 2012, Redziniak et al. 2009). Ende des 19. Jahrhunderts lassen sich erste Beschreibungen für extraanatomische Verfahren finden, wie z.B. die Operation nach Goldthwait-Roux (Arendt et al. 2013). Weitere distale Realignment-Prozeduren, wie der Tuberositasversatz nach Hauser, Elmslie-Trillat oder Fulkerson respektive Bandi und Maquet, wurden in den dreißiger, sechziger und siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts entwickelt (Arendt et al. 2013). Die Orientierung und Therapie zum entscheidenden statischen Faktor, der Trochlea femoris, fand bereits durch Albee 1915 statt und wurde durch Masse in den siebziger Jahren erneut aufgegriffen (Arendt et al. 2013). In den neunziger Jahren und verstärkt in der ersten Dekade des 21. Jahrhunderts wurde, wegen des aus biomechanischen und anatomischen Studien gewonnenen Verständnisses, die Rekonstruktion des MPFL angestrebt (Buckens et al. 2010, Conlan et al. 1993, Hautamaa et al. 1998, Lind et al. 2008, Nomura et al. 2005). Auch bei der Rekonstruktion dieses Ligaments existieren verschiedene Herangehensweisen (Buckens et al. 2010, Lind et al. 2008). In den ersten Operationsverfahren wurde ein künstlicher Ligament-Ersatz aus Polyester zur Rekonstruktion des MPFL verwendet (Ellera Gomes 1992, Nomura E et al. 2000). Anfang dieses Jahrhunderts wurden Techniken mit autologen Sehmentransplantaten, wie Hamstringsehnen bzw. Quadriceps-, Patella- oder Adduktor magnus-Sehne, vorgestellt (Bitar et al. 2012, Ellera Gomes et al. 2004, Sillanpaa et al. 2009, Steensen et al. 2005). Als Weiterentwicklung der MPFL-Rekonstruktion mit einem Gracilissehnen-Transplantat wurde zur Vermeidung einer transpatellaren Bohrung zuerst die Verwendung von Fadenankern in der „Onlay“-Technik, gefolgt von der anatomischen Rekonstruktion in „Aperture“-Technik angewandt (Schöttle 2007, Schöttle et al. 2008b).

Bei osteochondralen Läsionen ist eine Arthroskopie mit Evaluation des Schadens, eventuell in Verbindung mit Entfernung des freien Gelenkkörpers, oder bei ausreichender Fragmentgröße die offene Refixation indiziert (Schöttle et al. 2009). In Abhängigkeit einer Erst- oder Rezidivluxation kann bei einem Initialtrauma eine Refixation oder Naht des MPFL respektive

A Einleitung

bei chronischer patellofemorale Instabilität eine MPFL-Rekonstruktion mittels autologen Sehnentransplantat durchgeführt werden (Redziniak et al. 2009, Rhee et al. 2012, Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). Zeigt sich bei rezidivierenden Luxationen eine deutlich ausgeprägte Dysplasie der Trochlea mit klinisch evaluierbaren positiven „Apprehension“-Zeichen über 30° – 50° Knieflexion, kann zur Stabilisierung des patellofemorale Gelenks, bei intakten trochlearen Knorpelverhältnissen, eine Trochleoplastik mit einer MPFL-Rekonstruktion kombiniert werden (Petersen et al. 2012, Redziniak et al. 2009, Rhee et al. 2012, Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). Ein ossär bedingtes Malalignment, das sich in einem erhöhten TTTG-Abstand, einem Genu valgum oder einem Rotationsfehler der unteren Extremität zeigt und zu einer höhergradigen patellofemorale Instabilität führt, kann mittels kombinierten proximalen und distalen Realignment-Verfahren operativ therapiert werden (Hinterwimmer et al. 2012, Petersen et al. 2012, Redziniak et al. 2009, Rhee et al. 2012, Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). Dabei kann beispielweise nach Epiphysen-Schluss eine Osteotomie zum Tuberositas-Versatz, bei isoliert erhöhtem TTTG-Abstand respektive eine varisierende oder derotierende Umstellungsosteotomie der unteren Extremität in Verbindung mit einer MPFL-Rekonstruktion durchgeführt werden (Hinterwimmer et al. 2012, Petersen et al. 2012, Redziniak et al. 2009, Rhee et al. 2012, Schmeling 2010, Schöttle et al. 2009). Aufgrund der meist multifaktoriellen Genese ist selten ein alleiniges Verfahren für jeden Patienten mit einer patellofemorale Instabilität anzustreben, sondern das operative Vorgehen zu individualisieren (Arendt et al. 2013, Petersen et al. 2012, Schmeling 2010).

A.4 Fragestellung und Zielsetzung

Diese Studie setzt die Nachuntersuchungen an einem bereits kurzfristig in der Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München beobachteten Patientengut prospektiv fort (Beermann 2013, Münch 2011/2012). Dazu wurden klinische und radiologische Daten bei Studienteilnehmern erfasst, die mittels Rekonstruktion des MPFL sowie weiterführender Stabilisierungsverfahren versorgt wurden. Aufgrund eines „Generationswechsel“ bzgl. der Operationstechnik kamen zwei Formen der MPFL-Rekonstruktion zum Einsatz. Daher sollten die mittelfristigen Ergebnisse dieser Studie die klinikinterne Erfahrung zur aktuellen operativen Therapie der patellofemorale Instabilität wiedergeben und einen Vergleich von „Fadenanker“- und direkter „Aperture“-Technik, sowie initialen Operationen mit Revisionseingriffen und von isolierten gegenüber kombinierten Verfahren ermöglichen.

A.5 Hypothesenstellung

Es wurden dabei nachfolgende Hypothesen aufgestellt. Eine isolierte Rekonstruktion des MPFL bei patellofemorale Instabilität ohne zusätzliche Pathologie zeigt ein besseres klinisches Resultat mit voller Wiederherstellung der sportlichen Belastbarkeit ohne wiederkehrende Instabilität als Kombinationsverfahren in Initial- und Revisionsfällen. Die kombinierte Rekonstruktion des MPFL mit gleichzeitiger Korrektur ossärer Deformitäten zeigt ein verbessertes Ergebnis im Vergleich zum präoperativen Zustand. Voroperationen mit persistierender patellofemorale Instabilität führen zu einem niedrigeren postoperativen Behandlungsergebnis im Vergleich zu Initialeingriffen. Das aus den kurzfristigen Ergebnissen zuzufolgernde Outcome zeigt sich auch mittelfristig. Es kommt zu keiner Progression von Knorpelschäden durch die Versorgung mittels MPFL-Rekonstruktion.

B Material und Methode

B.1 Patientengut

Das Gesamtkollektiv wurde in zwei entsprechende Kohorten aufgeteilt, da während des Untersuchungszeitraums konsekutiv zwei unterschiedliche Operationstechniken zur Rekonstruktion des MPFL Verwendung fanden. Nach einer detaillierten Aufklärung erteilten die Teilnehmer ihre informierte Einwilligung. Die Aufnahme von Patienten in die Studie fand nach folgenden Ein- bzw. Ausschlusskriterien statt.

B.1.1 Einschlusskriterien

In die Studie wurden Patienten eingeschlossen, die im Zeitraum von Februar 2007 bis einschließlich April 2009 in der Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar mittels MPFL-Rekonstruktion und weiterführenden operativen Maßnahmen zur Therapie der patellofemorale Instabilität versorgt wurden. Um die Variabilität aufgrund unterschiedlicher Operateure einzuschränken, wurden nur Patienten berücksichtigt, welche durch den gleichen Operateur versorgt wurden. Grundsätzlich galt, dass ausschließlich Patienten Aufnahme in die Studie fanden, die sich freiwillig dazu entschieden und die Möglichkeit hatten, uneingeschränkt an der Evaluation des postoperativen Ergebnisses teilzunehmen.

B.1.2 Ausschlusskriterien

Zum Ausschluss aus der Studie führten zu einen Insuffizienzen der Kreuz- sowie der Kollateralbänder und zum anderen Voroperationen respektive Traumata und darauffolgende operative Versorgungen dieser Strukturen. Bereits stattgefundenen oder im Nachuntersuchungszeitraum ereignete Läsionen bzw. Eingriffe an den Menisken waren ebenfalls ein Ausschlusskriterium. Ein bestimmter numerischer Alterswert wurde nicht als Kriterium des Ausschlusses festgelegt. Jedoch führten ein fehlender Schluss der distalen femoralen Epiphysenfugen oder ein fortgeschrittenes biologisches Alter, im Sinne von degenerativen Gelenkveränderungen, zu einer Nichtberücksichtigung. Daher erfüllten Patienten, die mittels eines endoprothetischen Oberflächenersatzes im patellofemorale Gelenk versorgt wurden nicht die Kriterien dieser Studie. Schließlich waren generalisierte Wachstumsstörungen, schwere Traumata und operative Eingriffe der betroffenen Extremität sowie systemische oder dystrophische Weichteilerkrankungen Kriterien des Ausschlusses.

B.1.3 Patientenkollektive

Insgesamt konnten 68 Patienten mit 70 Kniegelenken, da zwei Patienten beidseitig versorgt wurden, final in die Studie eingeschlossen werden. Das Gesamtkollektiv setzte sich aus 42 weiblichen Studienteilnehmerinnen und 26 männlichen Studienteilnehmern zusammen. Die operativen Eingriffe wurden an 26 rechten und 44 linken Kniegelenken, bei einem mittleren Operationsalter von 22,0 Jahren (SD: $\pm 7,1$ Jahre), durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studie wurden im Mittel 27,0 Monate (SD: $\pm 4,7$ Monate) nach dem Operationstermin erhoben (**Tabelle 1**).

Die Einteilung des Patientenguts gemäß verwendeter Operationstechniken wurde bereits vorgestellt. Hierbei ist anzumerken, dass ein Patient mit je einer Extremität in beiden Kohorten vertreten war.

Darüber hinaus fand eine Einteilung dieser Kohorten in verschiedene Untergruppen anhand der Operationsart und des Operationsverfahrens statt. Es wurde folglich zwischen Initial- oder Revisionseingriffen und zwischen isolierten oder kombinierten Operationen unterschieden. Operative Maßnahmen, die neben einer Rekonstruktion des MPFL einen weiteren, die patellofemorale Biomechanik entscheidend beeinflussenden oder den Gelenkknorpel ersetzenden Eingriff beinhalteten, definierte man als kombinierte Verfahren. Nach genannten Kriterien fand eine Partition jeder Kohorte in vier Untergruppen statt.

Im gesamten Kollektiv konnten 33 Initial- und 37 Revisionseingriffe erfasst werden. 33 Patienten wurden mit isolierten Operationen und 37 Patienten wurden mit kombinierten Operationsverfahren versorgt (**Tabelle 1**).

B.1.3.1 „Fadenanker“-Kohorte

41 Studienteilnehmer wurden im beschriebenen Zeitraum mit namensgebender MPFL-Rekonstruktion in „Fadenanker“-Technik sowie additiven Prozeduren zur Stabilisierung des patellofemorales Gelenks versorgt. Im Rahmen des klinischen Follow-up konnten 31 Patienten kontaktiert werden. Folglich ergab sich daraus eine „lost-to-follow“-Rate von 24,4% (**Abb. 1**).

Drei Studienpatienten wurden aus folgenden Gründen gemäß den vorgestellten Kriterien ausgeschlossen. Erstens entwickelte eine Patientin ein komplexes regionales Schmerzsyndrom bei Arthrofibrose mit Verkürzung der Patellarsehne mit der Folge einer Patella baja, die einer konsekutiven operativen Versorgung bedurfte. Zweitens erlitt eine Studienteilnehmerin eine Fraktur der Patella. Drittens entwickelte eine weitere Teilnehmerin postoperativ ein komplexes regionales Schmerzsyndrom. Des Weiteren bat eine Patientin um den Austritt aus der Studie (**Abb. 1**).

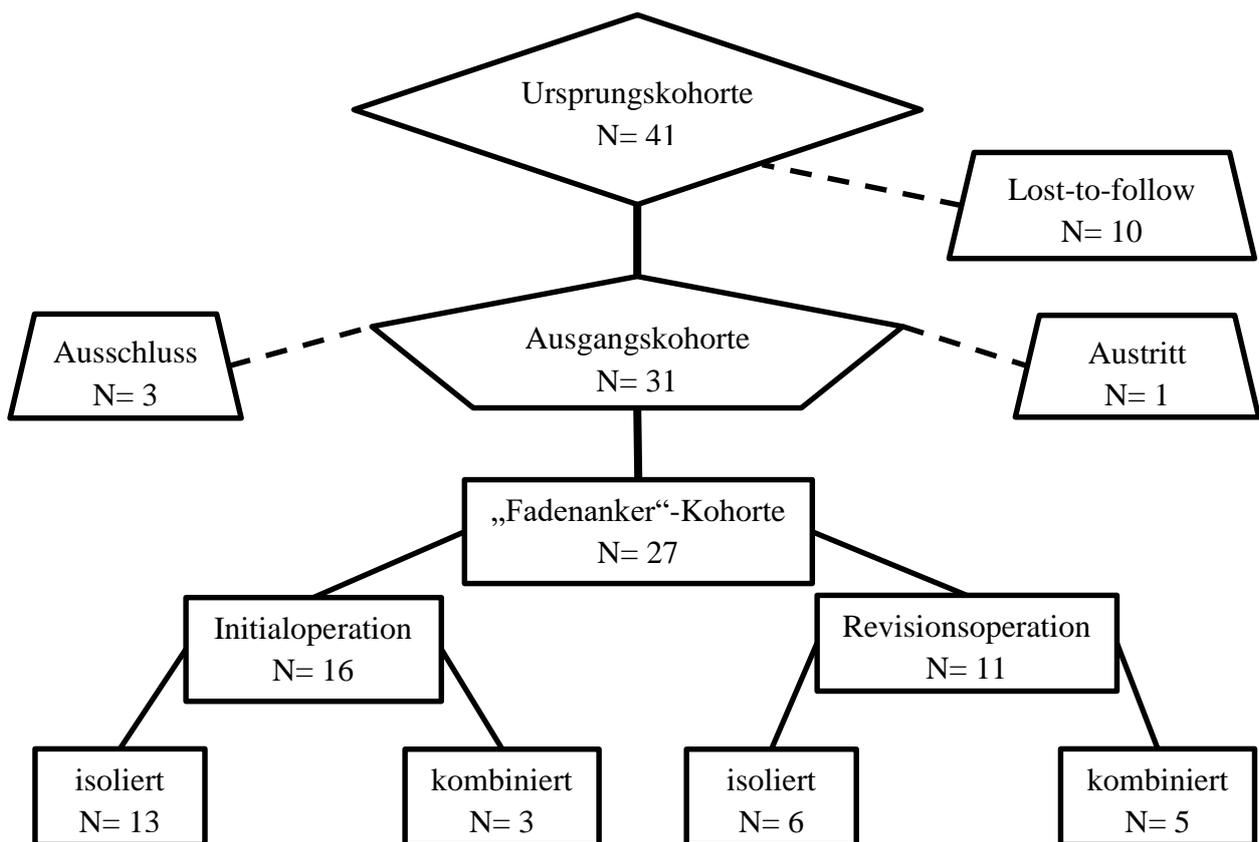


Abb. 1: Flowchart "Fadenanker"-Kohorte, (N=Patienten)

Schließlich setzte sich die „Fadenanker“-Kohorte im gegebenen Nachuntersuchungszeitraum aus 27 Studienteilnehmern zusammen. Diese bestand aus neun männlichen Teilnehmern und 18 weiblichen Teilnehmerinnen, deren zehn rechte und 17 linke Kniegelenke operativ

B Material und Methode

stabilisiert wurden. Zum Zeitpunkt der Operation lag das mittlere Alter bei 20,7 Jahren (SD: \pm 7,2 Jahre). Zwischen Eingriff und Nachuntersuchung verging eine mittlere Dauer von 30,4 Monaten (SD: \pm 5,5 Monate) (**Tabelle 1**).

In dieser Kohorte betrafen die Voroperationen in zehn Fällen die Strukturen des medialen Retinakulums. Im Besonderen wurden dabei Raffungen, eine Refixation, eine Plastik und eine Distalisierung und Lateralisierung des VMO respektive des medialen Retinakulums angewandt. Neben sechs Spaltungen des lateralen Retinakulums führten die Voroperateure noch zwei Eingriffe nach Insall durch (**Tabelle 2**).

Die Rekonstruktionen des MPFL wurde mit drei Kulissenverschlüssen des lateralen Retinakulums und drei Knorpel-Knochen Zylinder Transplantationen kombiniert. Neben zwei distalen Osteotomien des Femurs führte man in fünf Fällen am medialen Retinakulum einen zusätzlichen Eingriff durch. Dabei handelte es sich in vier Fällen um eine Lösung des VMO mit jeweiliger Reinsertion des Muskels und in einem Fall um eine Raffung des medialen Retinakulums. Der Operateur debridierte bei zwei Patienten die chondrale Gelenkoberfläche und refixierte in zwei weiteren Fällen osteochondrale Fragmente. In jeweils einem Fall war die Entfernung eines freien Gelenkkörpers sowie von Fadenmaterial einer Voroperation nötig (**Tabelle 2**).

B.1.3.2 „Aperture“-Kohorte

Die Rekonstruktion des MPFL führte der Operateur in dieser Kohorte in der namensgebenden Methode, der „Aperture“-Technik, durch. Darauf folgte das spezifische postoperative Prozedere.

Im Verlauf des stattgefundenen Follow-ups konnte mit 43 von ursprünglich 49 operierten Patienten, die die Kriterien der Studie erfüllten, Kontakt aufgenommen werden. Dementsprechend lag die „lost-to-follow“-Rate bei 12,3%. Aufgrund eines schweren Traumas und der damit verbundenen Rehabilitationsmaßnahmen wurde ein Patient aus der Studie ausgeschlossen (**Abb. 2**).

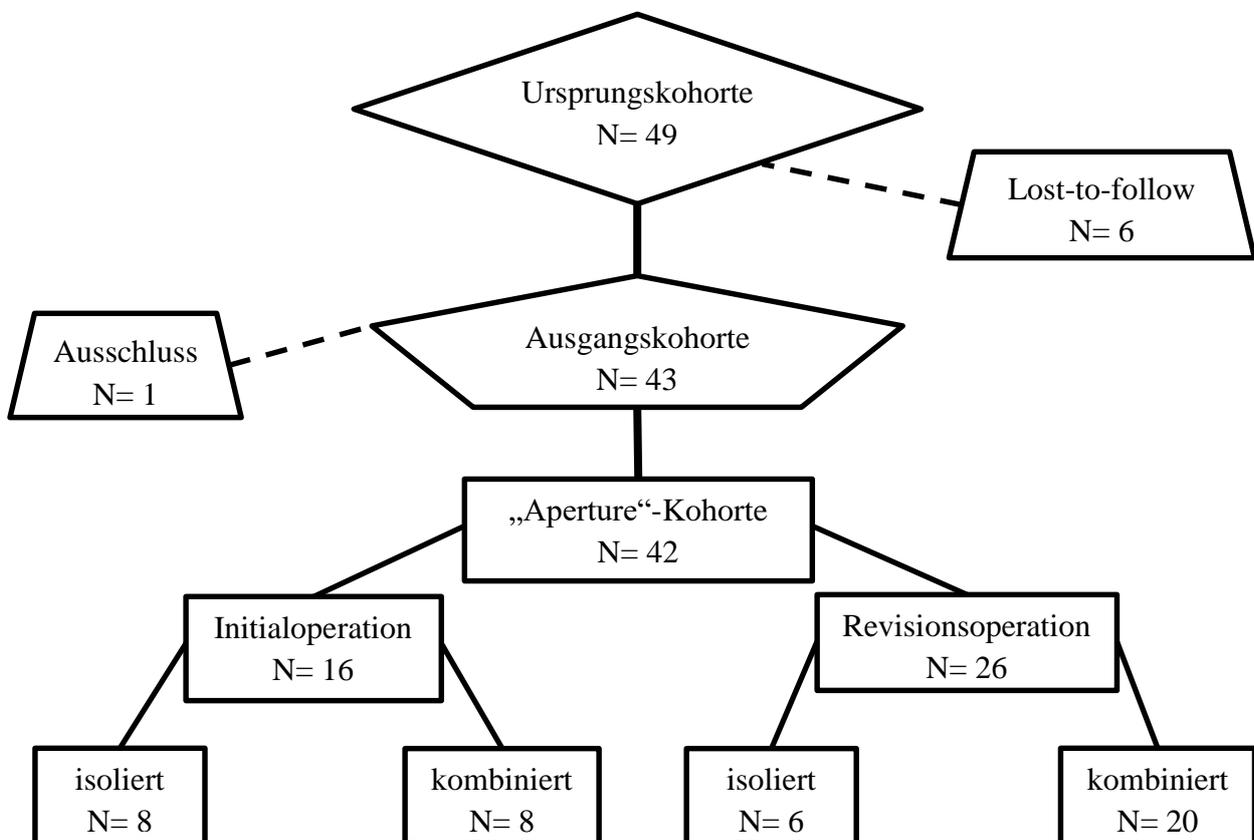


Abb. 2: Flowchart "Aperture"-Kohorte, (N=Patienten)

Letztendlich ergab sich daraus ein Kohorten-Umfang von 42 Patienten bzw. 43 Fällen, bei beidseitiger Versorgung eines Patienten. Die „Aperture“-Kohorte fügte sich aus 17 männlichen Studienteilnehmern und 25 weiblichen Studienteilnehmerinnen zusammen. Am Operationstag lag der Mittelwert des Patientenalters bei 22,8 Jahren (SD: $\pm 7,0$ Jahre). Die

B Material und Methode

Nachuntersuchungen der 16 rechten und 27 linken Kniegelenke fanden im Mittel nach 24,8 Monaten (SD: $\pm 2,5$ Monate) statt (**Tabelle 1**).

In dieser Kohorte gingen nachfolgende Operationen den Revisionseingriffen voran. Bei 16 Patienten führten die Voroperateure Eingriffe am medialen Retinakulum durch. Es handelte sich dabei in elf Fällen um eine Raffung des medialen Retinakulums und in einem Fall um eine Refixation des MPFL. In vier weiteren Fällen wurde der VMO adressiert. Bei 17 voroperierten Kniegelenken beobachtete man den Zustand nach Spaltung des lateralen Retinakulums. Drei Studienteilnehmer waren bereits durch eine Operation nach Insall versorgt worden. In vier Fällen wurde der Versatz der Tuberositas tibiae und bei drei Weiteren die Refixation eines osteochondralen Fragmentes durchgeführt. Neben der zweimaligen Entfernung eines freien Gelenkkörpers, nahmen die Voroperateure jeweils drei Mikrofrakturierungen und eine Operation nach Goldthwait vor. Drei Patienten wiesen eine Operationshistorie von fünf oder mehr Voroperationen auf (**Tabelle 2**).

Die operativen Verfahren dieser Kohorte setzten sich, neben der Rekonstruktion des MPFL, aus 13 Verschlüssen der lateralen Kulissee, neun Transplantationen eines Knorpel-Knochen Zylinders, sechs Trochleoplastiken, vier distalen Osteotomien des Femurs und einer Plastik des VMO zusammen. In fünf Fällen führte der Operateur ein Debridement des Gelenkknorpels durch. Ein Patient wurde durch einen Tuberositas-Rückversatz versorgt (**Tabelle 2**).

B Material und Methode

Tabelle 1: Eigenschaften der Patienten nach Kohorten und im Gesamten

		„Fadenanker“- Kohorte	„Aperture“- Kohorte	Gesamt
Geschlecht	weiblich	18	25	42
	männlich	9	17	26
Lokalisation	rechts	10	16	26
	links	17	27	44
Operationsalter (in Jahren)	Mittelwert	20,7	22,8	22,0
	SD	7,2	7,0	7,1
	Median	18,3	21,5	20,4
	Maximum	41,2	46,7	46,7
	Minimum	12,8	14,9	12,8
Nachuntersuchungszeitraum (in Monaten)	Mittelwert	30,4	24,8	27,0
	SD	5,5	2,5	4,7
	Median	28,9	24,0	25,5
	Maximum	46,9	32,5	46,9
	Minimum	22,7	19,9	19,9
Voroperation	initial	16	17	33
	revision	11	26	37
Operations- verfahren	isoliert	19	14	33
	kombiniert	8	29	37

B Material und Methode

Tabelle 2: Voroperationen und Operationsverfahren der Patienten nach Kohorten und im Gesamten

	„Fadenanker“- Kohorte	„Aperture“- Kohorte	Gesamt	
Voroperationen	Eingriffe des medialen Retinakulums	10	16	26
	„lateral release“	6	17	23
	Operation nach Insall	2	3	5
	Versatz der Tuberositas tibiae	0	4	4
	Refixation osteochondrales Fragment	0	3	3
	Entfernung eines freien Gelenkkörpers	0	2	2
	Mikrofrakturierung	0	3	3
	Operation nach Goldthwait	0	1	1
	> 5 Voroperationen	0	3	3
Operationsverfahren	lateraler Kulissenverschluss	3	13	16
	Knorpel-Knochen-Zylinder Transplantation	3	9	12
	Trochleoplastik	0	6	6
	distale Femurosteotomie	2	4	6
	Eingriffe des medialen Retinakulums	5	1	6
	Knorpeldebridement	2	5	7
	Knorpelrefixation	2	0	2
	Versatz der Tuberositas tibiae	0	1	1
	Entfernung von Fadenmaterial	1	0	1
	Entfernung eines freien Gelenkkörpers	1	0	1

B.1.4 Operationsalgorithmus

Aufgrund der multifaktoriellen Genese der patellofemorale Instabilität ist selten ein alleiniger Eingriff bei verschiedenen relevanten Faktoren ausreichend (Petersen et al. 2012, Schmeling 2010). Bzgl. der Wahl des nötigen Operationsverfahrens kam nachfolgender Algorithmus zur Anwendung.

B.1.4.1 Operationsverfahren der patellofemorale Instabilität

Zeigte sich in der klinischen Untersuchung eine rezidivierende patellofemorale Instabilität, evaluierbar mit einem positiven „Apprehension“-Zeichen zwischen 0°-30° Knieflexion, bei einer Trochleadysplasie geringen Grades (Typ A/B nach Dejour), wurde eine isolierte Rekonstruktion des MPFL durchgeführt (Hensler et al. 2010, Seitlinger et al. 2011).

Blieb in der klinischen Untersuchung ein „Apprehension“-Zeichen über 30° Kniebeugung hinweg persistent, fiel die Wahl auf nachfolgend beschriebene Operationsverfahren zur Konstruktion einer physiologischen patellofemorale Biomechanik, abhängig von den verursachenden Pathologien (Hensler et al. 2010, Seitlinger et al. 2011). Bei zutreffender Indikation fand ebenfalls deren Kombination Anwendung (Hensler et al. 2010, Seitlinger et al. 2011). Diese Eingriffe ergänzten die Rekonstruktion des MPFL (Hensler et al. 2010, Seitlinger et al. 2011).

Eine Trochleoplastik fand bei höhergradiger Trochleadysplasie (Typ C/D nach Dejour) und intakten trochlearen Knorpelverhältnissen als kombiniertes Verfahren ihren Einsatz (Hensler et al. 2010, Seitlinger et al. 2011).

Stellten sich Fehler in Beinachse und der Rotation der unteren Extremität als Ursache für eine patellofemorale Instabilität heraus, wurde eine Umstellungs- bzw. eine Derotationsosteotomie mit einer Rekonstruktion des MPFL verbunden (Hensler et al. 2010, Seitlinger et al. 2011).

Hat sich in der Bildgebung ein pathologischer Wert des TTTG-Abstandes von > 20 mm verifizieren lassen, konnte ein Versatz der Tuberositas tibiae angewandt werden (Seitlinger et al. 2011). Dies geschah abhängig von der Präsenz eines Fehlers der Beinachse oder der Rotation des Beines (Seitlinger et al. 2011).

An Kniegelenken, die osteochondrale Läsionen aufwiesen, verknüpfte man biologische Verfahren wie die Transplantation von Knochen-Knorpel Zylindern und die Rekonstruktion des MPFL (Hensler et al. 2010).

B.1.4.2 Revisionseingriffe

Zur Stabilisierung des patellofemorales Gelenks ergänzte man bei Revisionseingriffen bereits oben beschriebene Operationen um folgende Verfahren.

Handelte es sich um einen Zustand nach Eingriff am medialen Retinakulum, wie einer medialen Raffung, entfernte man zuerst, wenn nötig, das nicht-resorbierbare Fadenmaterial (Schöttle et al. 2008a). Nach Rekonstruktion des MPFL löste der Operateur den versetzten VMO und adaptierte selbigen mit dem proximalen Bündel des rekonstruierten Ligaments (Schöttle et al. 2008a).

Trat nach Spaltung des lateralen Retinakulums neben einer vermehrten lateralen, zusätzlich auch eine mediale patellofemorale Instabilität oder ein laterales patellofemorales Schmerzsyndrom auf, folgte ein lateraler Kulissenverschluss (Schöttle et al. 2008a). Dabei wurden vernarbte Strukturen voneinander getrennt, freipräpariert, schichtweise re-adaptiert und anschließend eine Rekonstruktion des MPFL durchgeführt (Schöttle et al. 2008a).

War nach Tuberositasversatz aufgrund einer Überkorrektur die Indikation zu einem Rückversatz gegeben, kombinierte der Operateur dies mit einer Rekonstruktion des MPFL (Schöttle et al. 2008a).

Abhängig von den Voroperationen kamen die genannten Revisionseingriffe und der zur operativen Therapie der patellofemorales Instabilität präsentierte Algorithmus zum Einsatz.

B.1.4.3 „Fadenanker“-Technik

Zur Transplantatentnahme führte der Operateur eine 2 cm lange Hautinzision, 5 - 10 mm distal der Tuberositas tibiae, im Verlauf der Hamstringsehnen-Insertion am Pes anserinus durch (Schöttle 2007). Nach Darstellung der Gracilissehne trennte man diese scharf von ihren Abgängen, setzte sie vom Pes anserinus ab und entfernte sie mittels eines Sehnenstrippers vom Muskelbauch des M. gracilis (Schöttle 2007). Nun wurde die gewonnene Sehne auf dem Präparationsbrett von verbliebenen Muskelfasern befreit und es erfolgte die Armierung des periostalen Transplantatendes mit einem resorbierbaren geflochtenen Faden auf eine Länge von 2 cm (Schöttle 2007).

Die Präparation der patellaren Insertion begann mit einer 2 cm langen Inzision über der proximomedialen Patellaecke, die bis zur Mitte der medialen Patellakante reichte (**Abb. 3**) (Schöttle 2007). Es folgte die scharfe Präparation des Insertionsareals an der medialen Patella-Facette und die Schaffung einer ossären Rinne von 1,5 – 2 cm Länge, deren Tiefe ausreichen musste um die Gracilissehne komplett einzubetten (**Abb. 4**) (Schöttle 2007). Nun wurden zwei resorbierbare Fadenanker mit nicht-resorbierbaren geflochtenen Fäden beladen und nach Vorbohren so am proximalen und distalen Ende der geschaffenen Rinne fixiert, dass ihre Ösen in einem Winkel von 45° zur Vertiefung standen (**Abb. 5**) (Schöttle 2007).

Es folgte die stumpfe Separation der zweiten und dritten Schicht des medialen Retinakulums mit Hilfe einer Schere nach posterior bis zu Tuberculum adductorium und Epicondylus medialis (Schöttle 2007). Schließlich unterfuhr man diesen Bereich mit einem Overhold (Schöttle 2007). Zur Darstellung des femoralen Insertionsbereichs des MPFL schnitt der Operateur die Haut 1 cm lang über der Overholdspitze in 30° Knieflexion ein (**Abb. 6**) (Schöttle 2007). Mittels des eingeführten Overholds zog man nun eine Fadenschlinge zwischen den zuvor beschriebenen Schichten des medialen Retinakulums nach patellar durch (Schöttle 2007). Zunächst positionierte der Operateur einen Zieldraht mit Öse im Bereich der femoralen Insertion (Schöttle 2007). Unter konsequenter Bildwandler-Kontrolle wurde im streng seitlichen Röntgenstrahl diese Position auf den radiologisch beschriebenen Insertionspunkt korrigiert (Schöttle 2007, Schottle et al. 2007). Nun überbohrte man, mit einem im Durchmesser um 1 mm größeren Bohrer als das Transplantat, den Zieldraht bis zur Gegenkortikalis (Schöttle 2007). Durch die Drahtöse verbrachte man nun eine Fadenschlinge durch den femoralen Bohrkanal nach lateral (Schöttle 2007).

Der beschriebene Insertionspunkt lag im anterioren Bereich, der durch die Verlängerung der dorsalen Femurkortikalis sowie zweier Lote auf dieser Verlängerungslinie gebildet wurde

B Material und Methode

(Schöttle et al. 2007). Das erste Lot orientierte sich am Ursprung des medialen Femurkondylus (Schöttle et al. 2007). Das Zweite befand sich auf Höhe des posterioren Punktes der Blumensaat'schen Linie (**Abb. 9**) (Schöttle et al. 2007).

Vor dem Transplantateinzug und dessen Fixation, wurde der proximale Anteil des Transplantats in seiner Länge abgemessen, angepasst und unter leichter Spannung mit dem proximalen Fadenanker verknotet (Schöttle 2007). Während der Fixierung am distalen Fadenanker positionierte der Operateur das Transplantat passgenau in die geschaffenen Rinne (**Abb. 7**) (Schöttle 2007). Nun folgte die Ausleitung des Transplantates mit der ersten vorgelegten Fadenschlinge nach femoral (Schöttle 2007). Das distale Transplantatende kürzte man auf die Länge des armierten Proximalen und vernähte beide (Schöttle 2007). Daraus entstand ein Konstrukt in der Form eines Dreiecks mit einem proximalen und distalen Bündel (Schöttle 2007). Im nächsten Schritt verwendete der Operateur die zweite Fadenschlinge um das Transplantat in den femoralen Bohrkanal zu ziehen (Schöttle 2007). Schließlich fixierte man das Transplantat mittels einer bioresorbierbaren Interferenzschraube in 30° Knieflexion (Schöttle 2007). Dies geschah unter einer Vorspannung, bei der laterale Patellakante und lateraler Femurkondylenrand auf gleichem Niveau waren (**Abb. 8**) (Schöttle 2007). Bevor der Schraubenzieher entfernt wurde, fand noch die Prüfung des Bewegungsumfanges des Kniegelenks und des Patella-, „trackings“ zwischen 0° - 40° Knieflexion statt (Schöttle 2007).

Das postoperative Prozedere sah für die kommenden sechs Wochen die Anlage einer Hartrahmenorthese mit Bewegungslimitierung vor (Schöttle 2007). In den ersten beiden Wochen nach dem Eingriff war eine Flexion des Kniegelenks von 30° vorgesehen (Schöttle 2007). Nachfolgend wurde das Bewegungsausmaß in der dritten und vierten Woche auf 60° respektive in der fünften und sechsten Woche auf 90° Knieflexion erhöht (Schöttle 2007). Für diese sechs Wochen war, nach zweiwöchiger Entlastung, die schrittweise Aufbelastung mit 20 kg pro Woche und Isometrie-Übungen des Quadriceps vorgesehen (Schöttle 2007). Bei kombinierten Eingriffen wandte man das genannte postoperative Nachbehandlungsschema abgewandelt an, modifiziert auf das jeweilige Operationsverfahren.



Abb. 3: Inzision an proximomedialer Patellakante, aus (Schöttle 2007)



Abb. 4: Ossäre Rinne an medialer Patellakante, aus (Schöttle 2007)

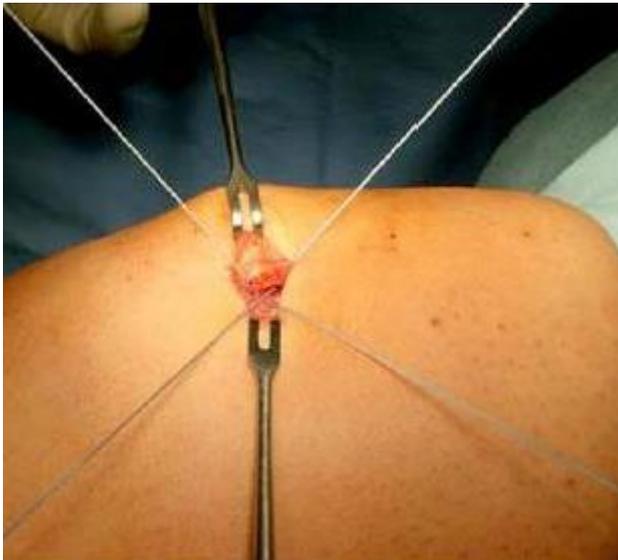


Abb. 5: Einbringung der Fadenanker, aus (Schöttle 2007)



Abb. 6: Markierung durch Overhold, aus (Schöttle 2007)



Abb. 7: Patellare Transplantatfixation, aus (Schöttle 2007)

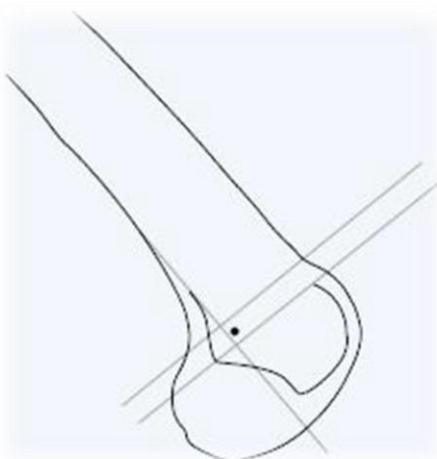


Abb. 9: Schema zu radiologischem Insertionspunkt, aus (Schöttle 2007)



Abb. 8: Darstellung des Operationsresultates, aus (Schöttle 2007)

B.1.4.4 „Aperture“-Technik

Die Entnahme der Grazilissehne erfolgte auf gleiche Art und Weise wie in der „Fadenanker“-Technik beschrieben (Schöttle 2007). Jedoch armierte man beide Transplantatenden separat auf einer Länge von 10 mm mit einem resorbierbaren Faden, ohne diese dabei miteinander zu vernähen (Schöttle et al. 2008b).

Nach gleichartigem Operationszugang zur medialen Patella-Facette und des medialen Retinakulums, identisch wie in der „Fadenanker“-Technik geschildert, wurden zur Vorbereitung der patellaren Transplantatfixation zwei Bohrdrähte tangential in die Patella gesetzt (Schöttle 2007, Schöttle et al. 2008b). Den Ersten verbrachte man in die proximomediale Ecke der Patella, den Zweiten 15 - 20 mm distal davon (Schöttle et al. 2008b). Beide wurden mit einem kanulierten 4 mm-Bohrer auf eine Tiefe von 20 mm überbohrt (**Abb. 10**) (Schöttle et al. 2008b).

Durch die femorale Hautinzision platzierte man nun einen Bohrdraht mit Öse unter konsequenter Bildwandlerkontrolle, gemäß vorgestellter radiologischer Landmarke (**Abb. 9**) (Schöttle et al. 2007). Der Draht wurde mit einem Bohrer, der im Durchmesser um 1 mm größer als das Transplantat war, überbohrt (Schöttle et al. 2008b).

Zur patellaren Fixation fädelt der Operateur die Sehnenenden in die Ösen der 4,75 mm starken „SwiveLock“-Anker (Firma Arthrex®) ein und brachte sie unter Anspannung der Armierungsfäden in die vorbereiteten Löcher ein (**Abb. 11**) (Schöttle et al. 2008b). Dies geschah zunächst proximal, dann distal (Schöttle et al. 2008b). Dadurch entstand eine 2-Bündel-Konstruktion (**Abb. 12**) (Schöttle et al. 2008b). Mit Hilfe des vorgelegten Fadens zog man nun die entstandene Transplantatschlinge durch die zweite Schicht des medialen Retinakulums zur femoralen Insertion durch (Schöttle et al. 2008b). Über den noch verbliebenen Bohrdraht wurde dort ein Nitinoldraht vorgelegt und die Fadenschlinge nach lateral ausgeleitet (Schöttle et al. 2008b). Es folgte der Einzug des Transplantates in 30° Knieflexion und Fixierung mit Hilfe einer bioresorbierbaren Interferenzschraube (**Abb. 14**) (Schöttle et al. 2008b). Dabei galt es darauf zu achten, dass laterale Patella-Facette und lateraler Femurkondylenrand unter Vorspannung auf einem Niveau waren (**Abb. 13**) (Schöttle et al. 2008b). Schließlich folgte die Prüfung des Bewegungsumfangs und der Patellalateralisation (Schöttle et al. 2008b).

Durch eine Hartrahmenorthese wurde die Bewegung in den ersten beiden Wochen auf ein Ausmaß von Flexion/Extension 60° / 20° / 0° und in der dritten bis sechsten postoperativen

B Material und Methode

Woche auf ein Ausmaß von Flexion/Extension $90^\circ / 10^\circ / 0^\circ$ begrenzt (Schöttle et al. 2008b). Auf eine Entlastung in den ersten zwei postoperativen Wochen folgte in der dritten bis sechsten Woche Sohlenkontakt und ab der siebten Woche die Aufbelastung um 20 kg pro Woche (Schöttle et al. 2008b). Das genannte postoperative Nachbehandlungsschema wurde bei kombinierten Eingriffen abgewandelt und modifiziert angewandt.



Abb. 10: Patellare Bohrdrahtplatzierung, aus (Schöttle et al. 2008b)



Abb. 11: Fixierung mit „SwiveLock“-Anker (Firma Arthrex®), aus (Schöttle et al. 2008b)



Abb. 12: Patellar fixiertes Transplantat, aus (Schöttle et al. 2008b)



Abb. 14: Femorale Fixation, aus (Schöttle et al. 2008b)



Abb. 13: Schematische Darstellung des Operationsergebnisses, aus (Schöttle et al. 2008b)

B.2 Methode

Es handelt sich um eine Beobachtungsstudie betreffend o.g. Operationstechniken, somit fand keine Randomisierung des Patientenguts auf eine der Kohorten und die damit verbundene Operationstechnik statt. Operateur und Untersucher waren vollständig über die Form der Therapie in dieser offenen Studie informiert.

B.2.1 Studienbeschreibung

Bei der in der Abteilung für Sportorthopädie durchgeführten Studie handelte es sich um eine klinische prospektive Fallserie bzgl. der Instabilität respektive der operativen Stabilisierung des patellofemorales Gelenks.

Zu einem Termin 24 Monate nach dem Eingriff wurden die Studienteilnehmer durch den Studienleiter einbestellt und untersucht. Zur Verlaufskontrolle nach zwei Jahren wurden neben Anamnese und klinischer Untersuchung mit Score-Verfahren, Röntgen- und MRT-Aufnahmen zur Evaluation des postoperativen Status herangezogen.

Aufgrund von anderweitigen Verpflichtungen der Patienten kam es zu Schwankungen des Nachuntersuchungszeitraums. Die expliziten Werte der Nachuntersuchungsdauer sind im Abschnitt der Patientenkollektive dargestellt (**Tabelle 1**). Einigen Patienten war es nicht möglich, persönlich zu erscheinen. In diesen Fällen beschränkte sich die Evaluation des postoperativen Status auf Anamnese und Score-Verfahren.

Zur Belegung aufgestellter Hypothesen wurde, wenn erforderlich, auf prospektiv erhobene Daten aus Vorgängerstudien mit identischem Patientengut zurückgegriffen (Beermann 2013, Münch 2011/2012).

B.2.2 Evaluationsverfahren

Zur Erhebung der Funktion im Alltag, der allgemeinen Sportfähigkeit und des Schweregrades der patellofemorale Instabilität verwendeten wir zum vorgestellten Zeitpunkt den im Anhang hinzugefügten Fragebogen. Dieser enthielt die nachfolgend beschriebene Anamnese, klinische Untersuchung sowie Score-Verfahren mit Schwerpunkt auf dem patellofemorale Gelenk.

B.2.2.1 Anamnese

Von den allgemeinen anamnestischen Daten abgesehen, erhob der Untersucher eine Anamnese mit Schwerpunkt auf die patellofemorale Instabilität sowie die alltägliche und sportliche Aktivität. Sollte sich im vergangenen Zeitraum eine Reluxation ereignet haben, wurde diese in vollem Umfang mit Luxationsart und Repositionsverhalten erfasst. Eine Dokumentation der momentanen Belastbarkeit im Alltag und im Sport gehörte ebenso hierzu wie eine genaue Erhebung der sportlichen Tätigkeit nach dem Eingriff. Die genannten Themen wurden noch um Fragen bzgl. des Therapieerfolges und der Patientenzufriedenheit ergänzt. (s. **Anhang**)

B.2.2.2 Klinische Untersuchung

Beginnend mit der Inspektion, wurde zunächst die Beinachse sowie im Seitenvergleich die Beinlänge betrachtet (Frisch 2009, Imhoff et al. 2011). Des Weiteren achtete der Untersucher bei einer basalen Ganganalyse auf einen möglichen Rotationsfehler des Beines, der sich in einer Innenrotationsstellung der Zehen, auch "Intoeing“, zeigt (Frisch 2009, Imhoff et al. 2011). Auch die Begutachtung einer möglichen muskulären Atrophie der Oberschenkel-Muskulatur und der Narbenverhältnisse durch ehemalige Operationszugänge wurde durchgeführt (Frisch 2009, Imhoff et al. 2011). Des Weiteren vollzog man eine inspektorische und palpatorische Überprüfung der peripheren Durchblutung, Motorik und Sensibilität (Frisch 2009, Imhoff et al. 2011). Zudem fand die Evaluation lokaler Entzündungszeichen statt, die sich als Schwellung oder Erguss des Kniegelenkes äußern (Frisch 2009, Imhoff et al. 2011). Weiterhin wurden mögliche Schmerzpunkte und die weichteilige Deckung des Kniegelenks durch das mediale und laterale Retinakulum überprüft (Biedert 2010, Schöttle et al. 2008a). Dies wurde bei entsprechender tastbarer Dehiszenz als mediale bzw. laterale „Softness“ bezeichnet und in den Untersuchungsbögen erfasst. (s. **Anhang**)

Der Untersucher dokumentierte die Bandstabilität des betreffenden Kniegelenks sowie dessen Bewegungsumfang gemäß der Neutral-Null-Methode (Frisch 2009, Imhoff et al. 2011). Zur klinischen Untersuchung gehörte neben Überprüfung von Zeichen einer Meniskusläsion, zudem die Evaluation von Zeichen einer allgemeinen Bandlaxität (Frisch 2009, Imhoff et al.

B Material und Methode

2011). Auch retropatellare Krepitationen bzw. Krepitationen des Kniegelenkes im Allgemeinen wurden erfasst (Frisch 2009, Imhoff et al. 2011). (s. **Anhang**)

Die schmerzhafte Kompression der Kniescheibe in voller Extension war ein Indiz für einen Reizzustand im Bereich des patellofemorales Gelenkes (Pagenstert et al. 2008). Zur weiteren Evaluation einer möglichen Pathologie konnte eine flexionsgradspezifische Zuordnung, gegebenenfalls unterstützt durch Extension gegen den Widerstand des Untersuchers, stattfinden (Pagenstert et al. 2008). Bei auffälligem Befund wurde dies als positiver „Schöttle-Test“ im Untersuchungsbogen vermerkt. (s. **Anhang**)

Hinsichtlich der Beweglichkeit der Patella wurde einer schmerzhaften bzw. einer abnormen Mobilität der Patella in mediolateralen Ebene nachgegangen (Frisch 2009, Imhoff et al. 2011). Einer der wichtigsten Untersuchungsschritte zur Evaluation der patellofemorales Instabilität war das sog. „Apprehension“-Zeichen (Fairbank 1937). Dabei führte der Untersucher die Patella in verschiedenen Beugegraden, beginnend in voller Extension, von medial nach lateral (Imhoff et al. 2011, Pagenstert et al. 2008, Petersen et al. 2012). Der Patient reagierte auf die provozierte Instabilität mit einem Anspannen der Oberschenkelmuskulatur respektive der Äußerung einer subjektiven Luxationsangst (Pagenstert et al. 2008, Petersen et al. 2012, Schöttle et al. 2009). Eine weitere Untersuchung zur patellofemorales Instabilität stellte das als „J-Sign“ bezeichnete Artikulationsverhalten der Patella bei Austritt aus der Trochleagrube dar (Pagenstert et al. 2008, Petersen et al. 2012, Schöttle et al. 2009). Diese Störung der Biomechanik konnte sich in einem Abwandern der Patella nach lateral bei Erreichen der vollen Streckung äußern (Pagenstert et al. 2008, Petersen et al. 2012, Schöttle et al. 2009). (s. **Anhang**)

B.2.2.3 Tegner-Score

Der Tegner-Aktivitäts-Score beschrieb den Grad an Aktivität respektive die Sportart, die der Befragte ohne Schmerz ausführen konnte (Tegner et al. 1985). Seine Amplitude umfasste elf Antwortmöglichkeiten (Tegner et al. 1985). Der niedrigste Wert von null entsprach einer sportlichen Invalidität aufgrund der schmerzhaften Kniebeschwerden (Tegner et al. 1985). Der Maximalwert von zehn stellte den schmerzfremen Wettkampfsport auf internationalem Niveau bei Ballsportarten mit Gegnerkontakt dar (Tegner et al. 1985). Bei einem Ergebnis von eins führte der Patient Arbeit im sitzenden Zustand und Gehen auf ebenen Flächen schmerzlos aus (Tegner et al. 1985). Das Ausmaß der Schmerzfreiheit erhöhte sich bei einem Wert von zwei auf das Ausüben leichter körperlicher Arbeit und das Gehen auf unebenen Untergrund ohne Waldspaziergänge (Tegner et al. 1985). Mit der weiteren Zunahme der schmerzlosen Alltags- bzw. Berufs- und Sportfähigkeit verbesserte sich auch der dementsprechende Tegner-Score (Tegner et al. 1985). Dabei stellten die Ebenen drei bis sieben noch Freizeitsport dar, der sich aber von Stufe zu Stufe in Ausmaß und Anspruch der Sportart steigerte (Tegner et al. 1985). Schließlich befand sich ein symptomloser Sportler der einen Score von acht bis zehn erfüllte im Wettkampfbereich (Tegner et al. 1985). Auch in diesen Bereichen nahmen Ausmaß und Anspruch der Sportart bei steigendem Score-Ergebnis zu (Tegner et al. 1985). (s. **Anhang**)

B.2.2.4 Alternierter Kujala-Score

Der zur Evaluation von subjektiven Symptomen und funktioneller Defizite bei patellofemorale Erkrankungen entwickelte Erhebungsbogen fand ebenfalls seine Verwendung (Kujala et al. 1993). Die 13 Fragen umfassten dabei alltägliche und sportliche Belastungen sowie die Atrophie der Oberschenkelmuskulatur und den Bewegungsumfang des Kniegelenks (Kujala et al. 1993). Neben schmerzauslösenden Beanspruchungen wurden Aktivitäten, die zum Anschwellen oder zur Empfindung von Instabilität des Kniegelenkes führten, erfragt (Kujala et al. 1993). Es sind nicht alle Fragen gleich strukturiert und werden selbst bei physiologischem Zustand nicht gleich gewertet (Kujala et al. 1993). Beispielsweise erhielt der Studienteilnehmer bei den Fragestellungen 1 - 3, 5, 12 und 13 fünf Punkte je Antwort, wenn er sich für die bestmögliche Antwortmöglichkeit entschied (Kujala et al. 1993). Die schlechteste wurde mit null Punkten vermerkt (Kujala et al. 1993). Die verbliebenen Fragen hatten je eine Amplitude von null bis zehn Punkten (Kujala et al. 1993). (s. **Anhang**)

Zur Auswertung addierte man die Punkte der 13 Fragen (Kujala et al. 1993). Maximal war ein Ergebnis von 100 Punkten erreichbar, was einer völligen Beschwerdefreiheit und vollständigen Funktionsfähigkeit des Kniegelenks entsprach (Kujala et al. 1993). In der Literatur ist zusätzlich eine Abstufung des Kujala-Score zu finden (Sillanpaa et al. 2008a). Ein Wert ≥ 95 Punkte wird als exzellent, ein Intervall von 85 bis 94 Punkte als gut, ein Bereich 65 bis 84 als mäßig bzw. akzeptabel und Ergebnisse ≤ 64 als schlecht angesehen (Sillanpaa et al. 2008a). (s. **Anhang**)

B.2.2.5 IKDC-Score

Zur erweiterten Erhebung der Funktionsfähigkeit des Kniegelenkes im Alltag und bei sportlicher Aktivität fand der “2000 IKDC subjective knee evaluation“-Fragebogen Anwendung (Irrgang et al. 2001). Er setzte sich aus zehn Fragen zusammen, wobei der neunte Punkt in weitere neun Unterkategorien zur genauen Differenzierung der Funktion des Knies von alltäglichen bis sportlichen Situationen unterteilt war (Irrgang et al. 2001). Diese Evaluation erörterte Schmerz, Schwellneigung, Blockaden und Instabilität des Kniegelenks (Irrgang et al. 2001). Es standen bei Fragestellung 6 zwei, bei Frage 1, 4, 5, 7, 8 und 9 fünf bzw. bei Punkt 2, 3, 10 zehn Möglichkeiten als Antwort zur Auswahl (Irrgang et al. 2001). Auch in diesem Fragebogen besitzt nicht jede Antwort die gleiche Wertigkeit (Irrgang et al. 2001). Das schlechteste Ergebnis für eine Antwort betrug null (Irrgang et al. 2001). Das Beste hingegen erhielt einen Wert von eins bis vier respektive zehn, je nach Kategorie der Frage (Irrgang et al. 2001). Addiert erreichten die Punkte ein Wert von maximal 87 (Irrgang et al. 2001). Der IKDC-Score errechnete sich dann aus der Division der erreichten Punktzahl durch den möglichen Maximalwert mal 100 (**Formel 1**) (Irrgang et al. 2001). (s. **Anhang**)

Formel 1: IKDC-Score aus (Irrgang et al. 2001)

$$IKDC - Score = \left[\frac{Sum\ of\ Items}{Maximum\ Possible\ Score} \right] \times 100$$

Somit ergab sich bei bestmöglichem Zustand des Studienteilnehmers ein Resultat für den hier beschriebenen Evaluationsbogen von 100 (Irrgang et al. 2001). (s. **Anhang**)

B.2.3 Bildgebung

Zur präzisen Analyse der verantwortlichen Pathologien ist bei multifaktorieller Genese der patellofemorale Instabilität eine ausführliche Abklärung mittels multimodaler Bildgebung notwendig.

B.2.3.1 Konventionelles Röntgen

Neben dem Ausschluss einer Patellafraktur in mehreren Ebenen sowie eines freien Gelenkkörpers nach einer akuten Luxation, konnte mittels Röntgenbild die Patellahöhe mit dem Verfahren nach Caton-Deschamps bestimmt werden (Dejour et al. 1994).

Anhand streng lateraler Röntgenaufnahmen in 30° Knieflexion kann die Patellahöhe bestimmt werden (Dejour et al. 1994, Phillips et al. 2010). Dabei setzte man den kürzesten Abstand zwischen dem tiefsten Punkt der Artikulationsfläche der Patella und der vorderen Tibiakante (AT auf **Abb. 15**) mit der Länge der retropatellaren Artikulationsfläche (AP auf **Abb. 15**) ins Verhältnis (Phillips et al. 2010). Als physiologischer Bereich wurde ein Verhältnis bzw. eine Patellahöhe zwischen 0,6 und 1,3 definiert (Phillips et al. 2010).

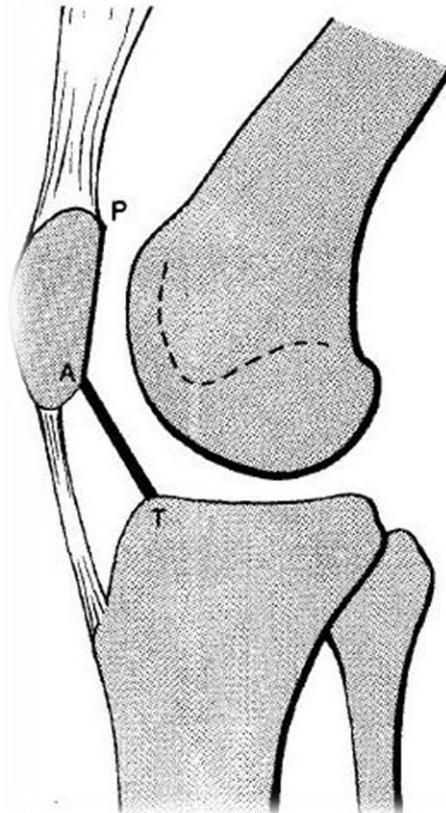


Abb. 15: Caton-Deschamps Index, aus (Dejour et al. 1994)

B.2.3.2 Trochleadysplasie

Die Identifikation der Trochleadysplasie nach Dejour kann anhand von axialen MRT-Aufnahmen durchgeführt werden (Colvin et al. 2008). Neben dem klassischen Ansatz durch konventionelles Röntgen, ermöglichte die moderne Schnittbildgebung mit MRT und CT eine noch bessere Darstellung der zu Grunde liegenden Pathologie (Salzmann et al. 2010). Mit der von Dejour beschriebenen Klassifikation der Trochleadysplasie, fand eine Einteilung in vier Schweregrade, A-D, statt (**Abb. 16**) (Colvin et al. 2008). Die erste axiale MRT-Schicht der Trochlea in cranio-caudaler Orientierung, die vollständig mit Knorpel überzogen ist, diente zur Klassifikation (Salzmann et al. 2010).

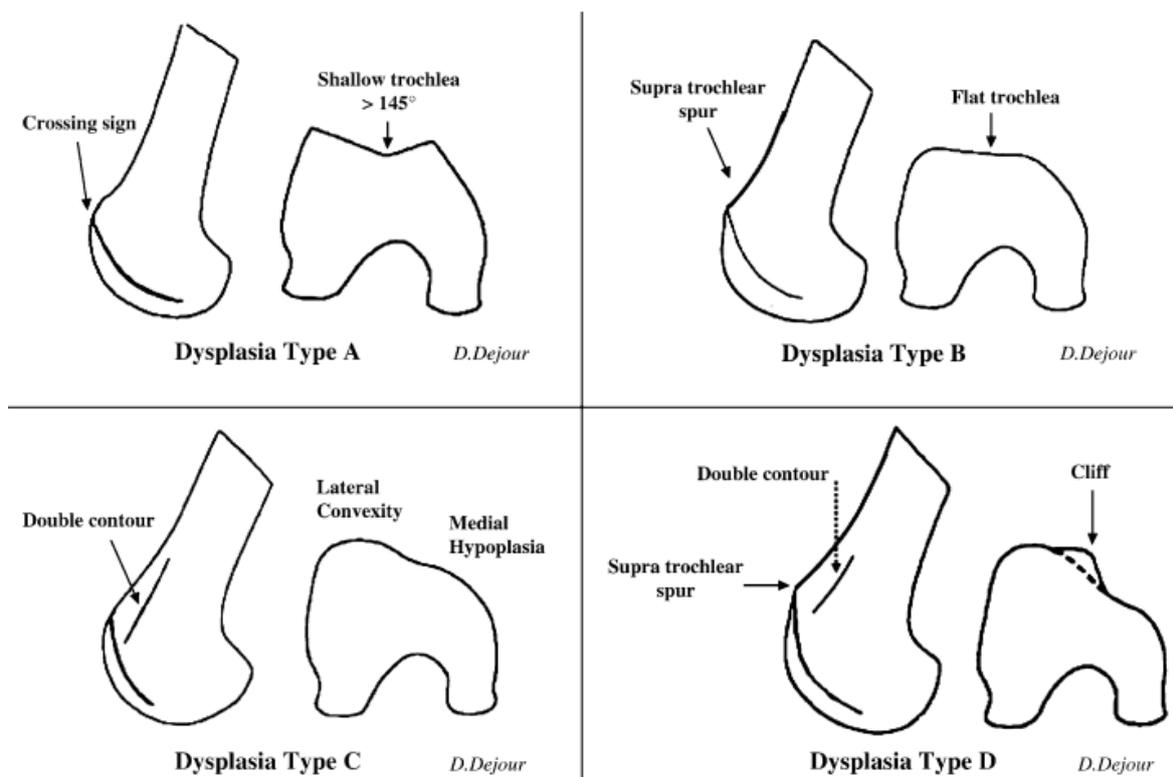


Abb. 16: Trochleadysplasie nach Dejour, aus (Colvin et al. 2008)

B.2.3.3 TTTG-Abstand

Der TTTG-Abstand misst den namensgebenden Abstand zwischen der Tuberositas tibiae und der Trochleagrube (Beaconsfield et al. 1994, Galtand et al. 1990) (**Abb. 17**). Die Messung kann mit CT-, aber auch mit MRT-Aufnahmen unter besonderer Berücksichtigung der chondralen Anatomie der Artikulationsfläche durchgeführt werden (Schöttle et al. 2006).

Gemessen wurde der Abstand beider Landmarken mittels Projektion auf einer Bezugslinie auf der gleichen Ebene (Beaconsfield et al. 1994, Seitlinger et al. 2010). Die erste axiale Schicht im MRT in cranio-caudaler Orientierung, in welcher die Trochlea komplett mit Knorpel

B Material und Methode

überzogen war, diente zur Bestimmung des tiefsten Punktes der Trochleagrube (Beaconsfield et al. 1994, Seitlinger et al. 2010). Anschließend erfolgte das Fällen eines Lotes auf den o.g. Punkt von der Bezugsgeraden, welche die beiden, erstmals in axialen Schichten in cranio-caudaler Orientierung knorpelüberzogenen Femurkondylen verband (**Abb. 18**) (Beaconsfield et al. 1994, Schöttle et al. 2006, Seitlinger et al. 2010). Die Bestimmung der Tuberositas tibiae erfolgte auf der ersten axialen Schicht, die im cranio-caudalen Verlauf eine vollständige Insertion der Patellarsehne in der Tuberositas zeigte (Beaconsfield et al. 1994, Seitlinger et al. 2010). Von der übertragenen Bezugslinie wurde ein Lot auf den Mittelpunkt zwischen lateralem und medialen Rand der Patellarsehne gefällt (**Abb. 19**) (Beaconsfield et al. 1994, Schöttle et al. 2006, Seitlinger et al. 2010). Der Abstand in mm konnte nun auf der Bezugslinie gemessen werden (Beaconsfield et al. 1994, Seitlinger et al. 2010).



Abb. 17: TTTG-Messung im CT, aus (Seitlinger et al. 2010)



Abb. 18: TTTG-Messung im MRT (1), aus (Schöttle et al. 2006)

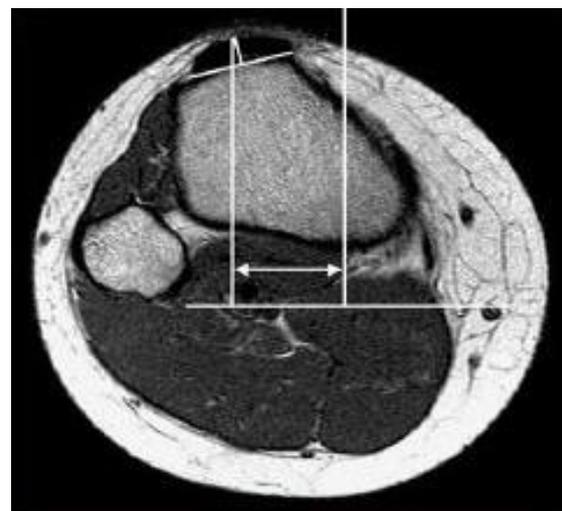


Abb. 19: TTTG-Messung im MRT (2), aus (Schöttle et al. 2006)

B.2.3.4 Patella-,Tilt“

Der externe patellare „Tilt“, auch patellarer Neigungswinkel, maß die Verkippung der Patella gegenüber der Trochlea in Bezug auf die bikondyläre Linie (Beaconsfield et al. 1994, Dejour et al. 1994). Dies konnte mittels axialer MRT-Aufnahmen dargestellt werden (Beaconsfield et al. 1994). Dabei verlängerte man die transversale Achse der Patella, bis sie die bikondyläre Linie schnitt (Beaconsfield et al. 1994, Dejour et al. 1994). Diese Linie wurde zwischen beiden erstmals in axialer Ebene vollständig knorpelbedeckten Femurkondylen gezogen und verlängert (Beaconsfield et al. 1994, Dejour et al. 1994). Die genaue Gradzahl des lateralen „Tilts“ ergab sich aus dem Winkel, in dem beide Geraden zueinander standen (**Abb. 20**) (Beaconsfield et al. 1994, Dejour et al. 1994).

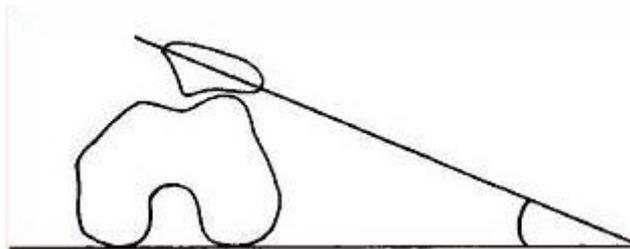


Abb. 20: Externer patellarer „Tilt“, aus (Beaconsfield et al. 1994)

B.2.3.5 Patella-,Shift“

Der Patella-„Shift“ diente zur Beurteilung der Translation in medio-lateraler Richtung (**Abb. 21**) (Beaconsfield et al. 1994, Sheehan et al. 2010). Unter Verwendung axialer Schnittbildgebung wurden als Messpunkte der Patella-First sowie der tiefste Punkt der Trochlea auf die bikondyläre Achse projiziert (Beaconsfield et al. 1994, Sheehan et al. 2010). Der Abstand beider übertragener Landmarken auf der Referenzlinie ergab den patellaren „Shift“ (Beaconsfield et al. 1994, Sheehan et al. 2010).

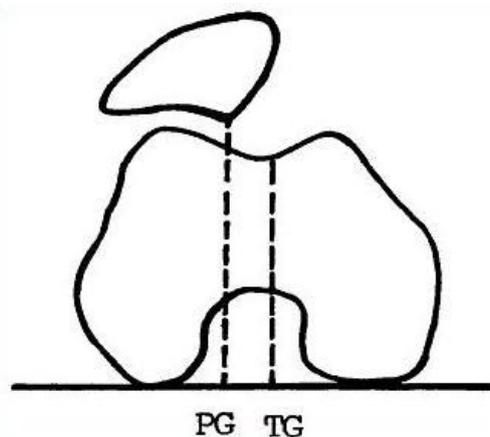


Abb. 21: Patella-„Shift“, aus (Beaconsfield et al. 1994)

B.2.3.6 Einteilung des Knorpelstatus nach „ICRS“-Klassifikation

Zum Nachuntersuchungszeitpunkt wurde die Einteilung des Knorpelstatus gemäß den Vorgaben der internationalen Gesellschaft zur Wiederherstellung von Knorpelgewebe (ICRS = international cartilage repair society) im MRT vorgenommen (Brittberg et al. 2003).

B.3 Statistische Verfahren

Zur Datensicherung wurden zunächst alle relevanten Daten mittels Microsoft® Excel 2010® in Tabellen erfasst. Diese dienten als Datenbank für die Durchführung der statistischen Tests und Anfertigung von Diagrammen mit der von IBM® entwickelten SPSS-Software® der Version 20.

Zur statistischen Auswertung wurde der Mann-Whitney-U Test und der Wilcoxon-Vorzeichen Test in der exakten Form gewählt. Das Signifikanz-Niveau legte man für alle Tests auf 0,05 fest.

Bei Gegenüberstellung zur Überprüfung einer Vergleichbarkeit der Resultate wurden 95%-Konfidenzintervalle bestimmt. Bei ordinalen Variablen kam das Bootstrap-Verfahren zur Bestimmung dieser Konfidenzintervalle, wenn möglich in der „bias corrected and accelerated“ (BCa)-Methode, zur Anwendung.

Die Resultate wurden nicht für multiple statistische Testverfahren korrigiert.

C. Ergebnisse

C. Ergebnisse

C.1 Deskriptive Darstellung

Anhand der gewonnenen Daten wurde eine deskriptive Analyse durchgeführt und nachfolgende Werte mit entsprechenden Tabellen und Diagrammen ermittelt.

C.1.1 Anamnese

Die folgenden Resultate wurden den anamnestisch erhobenen Angaben der Studienteilnehmer entnommen.

C.1.1.1 Relaxationsereignisse

Auf die Frage nach einem erneuten Luxationsereignis im Nachuntersuchungszeitraum, im Sinne einer Re- oder Subluxation, verneinten dies alle, bis auf zwei Fälle. Sie klagten über eine atraumatische Relaxation, die sich in einem Fall nur fremd reponieren ließ und im anderen Fall selbstständig reponierte (**Tabelle 3**).

Tabelle 3: Relaxationsereignisse beider Kohorten und des Gesamtkollektivs

	„Fadenanker“- Kohorte	„Aperture“- Kohorte	Gesamt
keine Re-/Subluxation	27	41	68
Re-/Subluxation	0	2	2
traumatisch	0	0	0
atraumatisch	0	2	2
selbstständige Reposition	0	1	1
Fremdreposition	0	1	1

C.1.1.2 Beschwerden im Alltag und verbundene Schmerzmedikation

Die Mehrheit des gesamten Patientenguts (57,1 %) gab eine Beschwerdefreiheit bei alltäglichen Aktivitäten an. In zehn Fällen berichteten Studienteilnehmer von Beschwerden bei Belastung des betroffenen Gelenks. Vier Teilnehmer schilderten Probleme beim Treppenhinaufsteigen und jeweils sechs beim Treppenhinabsteigen respektive bei beiden Bewegungsabläufen. In einem Fall klagte ein Patient über ausschließlich nächtlich auftretende Beschwerden. Zwei Studienpatienten beschrieben Probleme bei Belastung, in Ruhe und nachts. Ein weiterer Patient war in Ruhe und unter Belastung nicht frei von Beschwerden. **(Tabelle 4)**

Der überwiegende Großteil beider Kohorten (94,3 %) verneinte eine Verwendung schmerzstillender Mittel bei alltäglicher Belastung. In drei Fällen schilderten die Teilnehmer eine seltene und in einem Fall eine regelmäßige Einnahme von Schmerzmitteln. **(Tabelle 4)**

C. Ergebnisse

Tabelle 4: Beschwerden und Schmerzmedikation bei alltäglicher Belastung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs

		„Fadenanker“- Kohorte	„Aperture“- Kohorte	Gesamt
Beschwerden (im Alltag)	keine Beschwerden	19	21	40
	bei Belastung	4	6	10
	Treppe hinauf	0	4	4
	Treppe hinunter	3	3	6
	Treppe hinauf und hinab	0	6	6
	nachts	1	0	1
	in Ruhe	0	0	0
	bei Belastung, in Ruhe und nachts	0	2	2
	Ruhe und Belastung	0	1	1
Schmerzmittel (im Alltag)	nie	26	40	66
	selten	1	2	3
	regelmäßig	0	1	1
	immer	0	0	0

C.1.1.3 Angaben zu Verhalten und Zufriedenheit bzgl. des Therapieverlauf, subjektiven Beschwerden und Unsicherheitsgefühl

Alle Patienten gaben an, die Anweisungen des medizinischen Personals in Bezug auf das postoperative Protokoll befolgt zu haben (**Tabelle 5**).

In 61 von 69 Fällen (88,4 %) gaben die Patienten an, mit dem Therapieverlauf zufrieden respektive sehr zufrieden zu sein. Vier Studienteilnehmer äußerten, dass sie mit dem therapeutischen Verlauf nicht zufrieden waren. Ein Teilnehmer empfand den Verlauf als überhaupt nicht zufriedenstellend. Drei Patienten war es nicht möglich, eine zufriedenstellende oder nicht zufriedenstellende Bewertung abzugeben. In einem Fall wurde diese Frage nicht beantwortet (**Tabelle 5**).

Bei 62 von 70 Fällen (88,6%) trifft zu, dass sie sich dem Eingriff erneut unterziehen würden. Fünf Patienten verneinten eine hypothetische Wiederdurchführung der Operation. Drei Studienteilnehmer waren diesbezüglich unentschlossen (**Tabelle 5**).

Die Teilnehmer berichteten in 28 von 69 Fällen (40,6 %) von einer vollkommenen subjektiven Beschwerdefreiheit. In den verbliebenen 41 Fällen (59,4 %) schilderten die Patienten eine Präsenz von Beschwerden (**Tabelle 5**).

Eine vorhandene Luxationsangst oder Unsicherheit konnten die Patienten in 56 von 69 Fällen (81,2%) ausschließen. Bei 13 Fällen berichteten die Patienten noch über ein Unsicherheitsgefühl, nicht jedoch über eine Instabilität (**Tabelle 5**).

C. Ergebnisse

Tabelle 5: Angaben zu Verhalten und Zufriedenheit bzgl. des Therapieverlaufes, subjektiver Beschwerden und Unsicherheitsgefühl beider Kohorten und des Gesamtkollektivs

		„Fadenanker“- Kohorte	„Aperture“- Kohorte	Gesamt
Anweisung	Ja	27	43	70
	zum Teil	0	0	0
	Nein	0	0	0
Therapieverlauf	sehr zufrieden	23	21	44
	zufrieden	3	14	17
	nicht zufrieden	1	3	4
	überhaupt nicht zufrieden	0	1	1
	weder noch	0	3	3
Wiederholung des Eingriffs	Ja	25	37	62
	Nein	1	4	5
	unentschlossen	1	2	3
subjektives Befinden	keine Beschwerden	16	12	28
	Beschwerden	11	30	41
Luxations- angst	nicht vorhanden	20	36	56
	präsent	7	6	13

C.1.2 Resultate der klinischen Untersuchung

In der klinischen Untersuchung zeigten sich bei Inspektion der Beinachse in 23 Fällen eine gerade, in 13 eine valgische und in 22 Fällen eine varische Achse. Eine Differenz der Beinlänge wurde insgesamt bei 18 Studienpatienten beobachtet. Hier lag bei 16 Untersuchten eine längere linke, bei zwei Patienten eine längere rechte Extremität vor. **(Tabelle 6)**

Eine vermehrte Innenrotation der unteren Extremität, auch „Intoeing“, konnte in vier Fällen in einer leichten Form in den Kohorten beobachtet werden. **(Tabelle 6)**

Bei 32 aller untersuchten Kniegelenke wurde im Seitenvergleich eine Atrophie der Oberschenkelmuskulatur dokumentiert. Bis auf Narben durch Operationszugänge der durchgeführten Eingriffe, stellten sich in keinem der evaluierten Gelenke auffällige Veränderungen der Haut dar.

In 38 Fällen gaben die Patienten eine Parästhesie der betroffenen Extremität, vor allem im Bereich der Sehnenentnahmestelle und der durch Voroperationen entstandenen Zugangswege, an. Für das gesamte Patientengut zeigten sich keine evaluierbaren Zeichen einer Entzündung der operierten Extremität. In einem Fall wurde eine Schwellung des periartikulären Gewebes festgestellt. **(Tabelle 6)**

Das Bewegungsausmaß nach Neutral-Null-Methode lag für das gesamte Patientengut im Mittel bei einer Flexion von $136,1^\circ$ (SD: $\pm 6,8^\circ$) und einer Extension von $4,4^\circ$ (SD: $\pm 3,3^\circ$). In zwei Fällen stellte sich ein schmerzbedingtes Flexionsdefizit von 130° bzw. 135° dar. **(Tabelle 7)**

Ein retropatellares Krepitieren konnte in 38 Gelenken registriert werden. Bei zwei Patienten ließ sich ein Gelenkerguss ermitteln. An sieben Extremitäten konnte ein Druckschmerz im Bereich des Kniegelenks ausgelöst werden. **(Tabelle 7)**

In einem Fall ließ sich eine „mediale Softness“, eine Dehiszenz des medialen Retinakulums, evaluieren. Kein auffälliger Befund ergab sich für das gesamte Patientengut bzgl. des lateralen Retinakulums. **(Tabelle 8)**

Eine Kompression des patellofemorale Gelenks in sagittaler Orientierung löste bei vier Studienteilnehmern einen Schmerz aus. In sieben Fällen bewerteten die Patienten eine Extension des Kniegelenks gegen den Widerstand des Untersuchers als schmerzhaft. Ein Druckschmerz an einer der Facetten der Kniescheibe konnte in zwei Fällen an der medialen Facette beobachtet werden. **(Tabelle 8)**

C. Ergebnisse

Die Prüfung der Mobilität der Patella konnte in jeder der Untersuchungen frei von Schmerzen durchgeführt werden. Dabei wurde in je einem Fall eine Hypermobilität der Patella und ein positives „Apprehension“-Zeichen in 20° - 40° Kniebeugung festgestellt. In insgesamt 17 Fällen zeigte sich ein positives „J-Sign“. (**Tabelle 8**)

Jeder der untersuchten Studienteilnehmer wies, in Bezug auf vorderes und hinteres Kreuzband sowie der Seitenbänder, stabile Bandverhältnisse auf. Bei zwölf Teilnehmern lag eine Hyperlaxität des Kapsel- und Bandapparates bei deutlicher Überbeweglichkeit repräsentativer Gelenke vor. Im gesamten Patientengut konnten keine auffälligen Meniskuszeichen durch entsprechende klinische Tests ausgelöst werden. (**Tabelle 9**)

C. Ergebnisse

Tabelle 6: Klinische Untersuchung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs, Teil 1 (N= Kniegelenke)

		„Fadenanker“- Kohorte (N: 27/27)	„Aperture“- Kohorte (N: 31/43)	Gesamt (N: 58/70)
Beinachse	gerade	11	12	23
	genu valgum	6	7	13
	genu varum	10	12	22
	genu recurvatum	0	0	0
Beinlänge	identisch	19	21	40
	rechts > links	1	1	2
	rechts < links	7	9	16
Intoeing	nicht ausgeprägt	26	28	54
	leicht	1	3	4
	stark	0	0	0
Muskulatur	o.p.B.	14	12	26
	Atrophie	13	19	32
Derma	blande	27	31	58
	pathologisch	0	0	0
DMS	intakt	12	8	20
	Parästhesie	15	23	38
Entzündung	Nein	27	31	58
	Ja	0	0	0
Schwellung	Nein	26	31	57
	Ja	1	0	1

C. Ergebnisse

Tabelle 7: Klinische Untersuchung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs, Teil 2 (N= Kniegelenke)

		„Fadenanker“- Kohorte (N: 27/27)	„Aperture“- Kohorte (N: 31/43)	Gesamt (N: 58/70)
ROM Flexion	Mittelwert	137,2	135,2	136,1
	SD	6,8	6,8	6,8
ROM Extension	Mittelwert	4,1	4,7	4,4
	SD	3,7	2,9	3,3
Flexions-Defizit	kein Flexionsdefizit	27	29	56
	bei 130° Flexion	0	1	1
	bei 135° Flexion	0	1	1
Krepitationen	Nein	15	5	20
	Ja	12	26	38
Erguss	Nein	27	29	56
	Ja	0	2	2
Druck- schmerz	negativ	24	27	51
	positiv	3	4	7

C. Ergebnisse

Tabelle 8: Klinische Untersuchung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs, Teil 3 (N= Kniegelenke)

		„Fadenanker“- Kohorte (N: 27/27)	„Aperture“- Kohorte (N: 31/43)	Gesamt (N: 58/70)
mediale „Softness“	negativ	26	31	57
	positiv	1	0	1
laterale „Softness“	negativ	27	31	58
	positiv	0	0	0
Patella- kompression	negativ	26	28	54
	positiv	1	3	4
Extension gegen Widerstand	negativ	24	27	51
	positiv	3	4	7
Facetten- Druckschmerz	negativ	27	29	56
	medial	0	2	2
	lateral	0	0	0
	medial + lateral	0	0	0
Patella- verschieb- lichkeit	nicht schmerzhaft	27	31	58
	schmerzhaft	0	0	0
Patellahyper- mobilität	normomobil	26	31	57
	hypermobil	1	0	1
„Apprehension“- Zeichen	negativ	26	31	57
	0° - 20° Flexion positiv	0	0	0
	20° - 40° Flexion positiv	1	0	1
	0° - 60° Flexion positiv	0	0	0
	> 60° Flexion positiv	0	0	0
„J-Sign“	negativ	23	18	41
	positiv	4	13	17

C. Ergebnisse

Tabelle 9: Klinische Untersuchung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs, Teil 4 (N= Kniegelenke)

		„Fadenanker“- Kohorte (N: 27/27)	„Aperture“- Kohorte (N: 31/43)	Gesamt (N: 58/70)
Bandstabilität	stabil	27	31	58
	instabil	0	0	0
Hyperlaxität des Kapsel-/ Bandapparates	negativ	22	24	46
	positiv	5	7	12
Meniskuszeichen	negativ	27	31	58
	medial	0	0	0
	lateral	0	0	0
	medial + lateral	0	0	0

C.1.2.1 Angaben zur sportlichen Betätigung

Bei Betrachtung des gesamten Patientenguts war eine Rückkehr zum Sport in sechs Fällen innerhalb einer Zeitspanne von acht Wochen möglich. In 28 Fällen wurde die Möglichkeit der erstmaligen Wiederausführung einer körperlichen Betätigung auf den Zeitraum von zwei bis drei Monaten respektive drei bis sechs Monaten nach dem Eingriff geschätzt. Acht Patienten beschrieben eine Dauer von über einem halben Jahr bis zur Wiederaufnahme einer sportlichen Aktivität. **(Tabelle 10)**

Eine Patientin betrieb regelmäßig an zwei Tagen in der Woche für die Dauer von zwei Stunden eine körperliche Betätigung auf Leistungssportniveau. Das gesamte Patientengut betätigte sich auf Freizeitniveau im Mittel an 2,3 Tagen der Woche für eine mittlere Dauer von 1,3 Stunden pro Einheit. **(Tabelle 10)**

Ein Patient gab die gelegentliche Einnahme von schmerzlindernden Medikamenten zur Durchführung sportlicher Aktivitäten an. **(Tabelle 10)**

Die Mehrheit beider Kohorten verneinte das Auftreten von Schmerzen während oder nach dem Sport. In sieben Fällen beschrieben Studienpatienten leichte, in zwölf mäßige und in vier Fällen starke Schmerzen während bzw. nach dem Sport. **(Tabelle 10)**

Die meisten Teilnehmer des Patientenguts empfanden die Ausübung von Sport als unproblematisch. In 14 Fällen beschrieben die Patienten ein vorhandenes Angst- und Unsicherheitsgefühl bei sportlicher Betätigung. Zwei Studienteilnehmer klagten über ein verringertes Bewegungsausmaß, welches sie während sportlicher Aktivität einschränkte. **(Tabelle 10)**

In 61 Fällen (87,1 %) wurden die angewandten Operationen als positiver Effekt gewertet, der eine Verbesserung der Sportfähigkeit bewirkte. Weder über eine positive noch eine negative Auswirkung des Eingriffs wurde in sechs Fällen berichtet. Über eine Verschlechterung der Fähigkeit Sport auszuüben klagte ein Patient. Zwei Teilnehmer schilderten eine Verbesserung der Sportfähigkeit in Bezug auf die Stabilität des Gelenks und eine Verschlechterung aufgrund der Zunahme der Schmerzsymptomatik. **(Tabelle 10)**

C. Ergebnisse

Tabelle 10: Sportliche Betätigung beider Kohorten und des Gesamtkollektivs

		„Fadenanker“- Kohorte	„Aperture“- Kohorte	Gesamt
Sportwiederaufnahme	innerhalb 4 Wochen	0	0	0
	innerhalb 8 Wochen	3	3	6
	nach 2-3 Monaten	8	20	28
	nach 3-6 Monaten	11	17	28
	mehr als 6 Monate	5	3	8
Freizeitsport Tage pro Woche (Mw)		2,5	2,2	2,3
Freizeitsport Stunden pro Einheit (Mw)		1,5	1,1	1,3
Schmerzmedi- kation (Sport)	nie	27	42	69
	gelegentlich	0	1	1
	immer	0	0	0
Schmerzen (bei Sport)	keine Schmerzen	23	24	47
	leichte Schmerzen	2	5	7
	mäßige Schmerzen	2	10	12
	starke Schmerzen	0	4	4
subjektives Befinden (bei Sport)	keine Probleme	19	35	54
	Unsicherheitsgefühl	8	6	14
	Bewegungsein- schränkung	0	2	2
postoperative Sportfähigkeit	Verbesserung	24	37	61
	keine Auswirkung	2	4	6
	Verschlechterung	1	0	1
	Verbesserung + Verschlechterung	0	2	2

C.1.3 Resultate des Tegner-Aktivitäts-Score

Die Ergebnisse des Tegner-Aktivitäts-Score zeigten weder bei Betrachtung des gesamten Patientenguts noch in den einzelnen Untergruppen eine Normalverteilung. (**Abb. 22**)

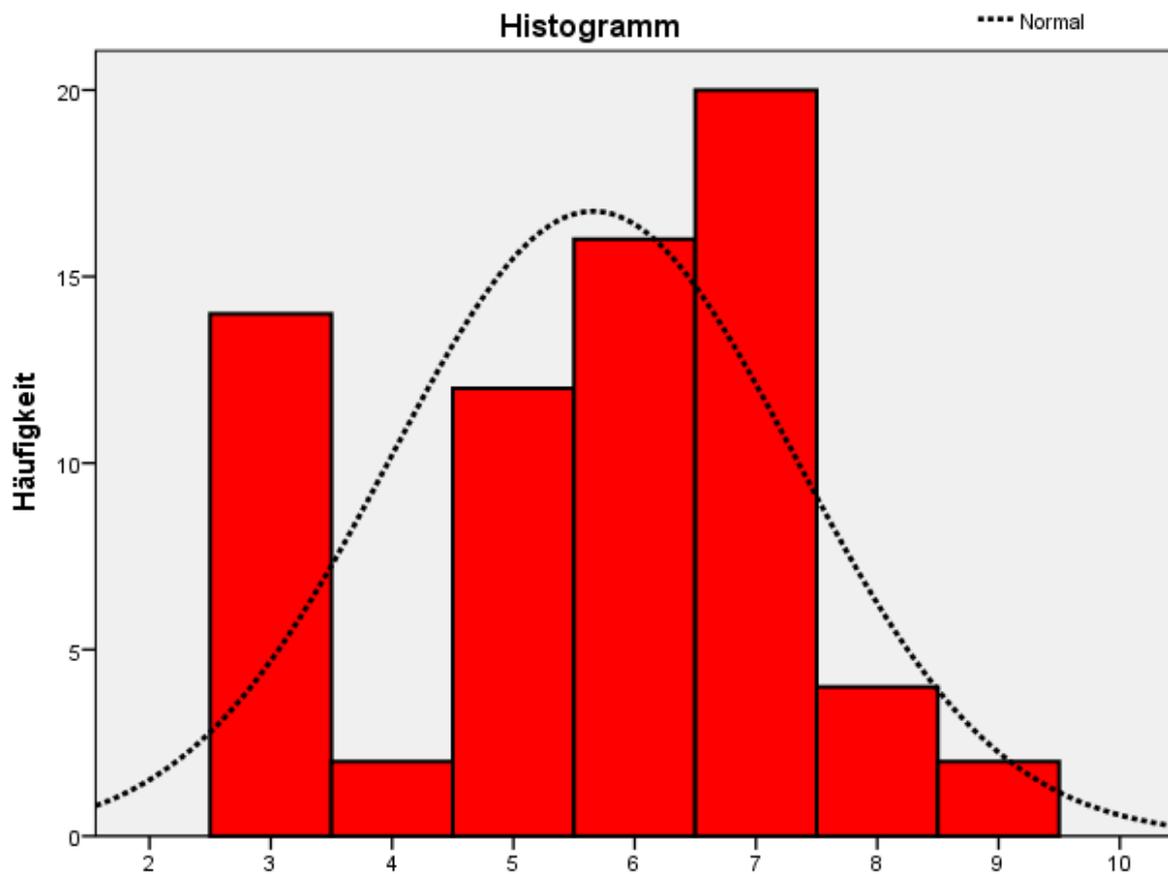


Abb. 22: Histogramm des Tegner-Aktivitäts-Score des gesamten Patientenkollektivs

Für das gesamte Patientengut ließ sich ein Median des Tegner-Aktivitäts-Score von 6,0 bestimmen. Dieser Wert entspricht einer schmerzfreien sportlichen Tätigkeit ohne Sprungdisziplinen. Maximal wurde ein Wert von 9,0 respektive minimal ein Wert von 3,0 beobachtet. (**Tabelle 11-12; Abb. 23, 24, 25**)

C. Ergebnisse

Tabelle 11: Tegner-Aktivitäts-Score beider Kohorten und des Gesamtkollektivs

	„Fadenanker“- Technik	„Aperture“- Technik	Gesamt
Tegner-Score	Median	7,0	6,0
	75%-Perzentil	7,0	7,0
	25%-Perzentil	5,0	3,0
	Maximum	9,0	8,0
	Minimum	3,0	3,0

Tabelle 12: Tegner-Aktivitäts-Score der Untergruppen

	Fadenanker, initial- isoliert	Fadenanker, initial- kombiniert	Fadenanker, revision- isoliert	Fadenanker, revision- kombiniert	Aperture, initial- isoliert	Aperture, initial- kombiniert	Aperture, revision- isoliert	Aperture, revision- kombiniert	
Tegner-Score	Median	7,0	8,0	6,5	5,0	6,5	6,0	3,5	5,0
	75%-Perzentil	7,0	9,0	7,0	5,0	7,0	6,0	7,0	6,0
	25%-Perzentil	5,0	8,0	6,0	5,0	5,0	6,0	3,0	3,0
	Maximum	9,0	9,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	8,0
	Minimum	3,0	8,0	3,0	5,0	5,0	3,0	3,0	3,0

C. Ergebnisse

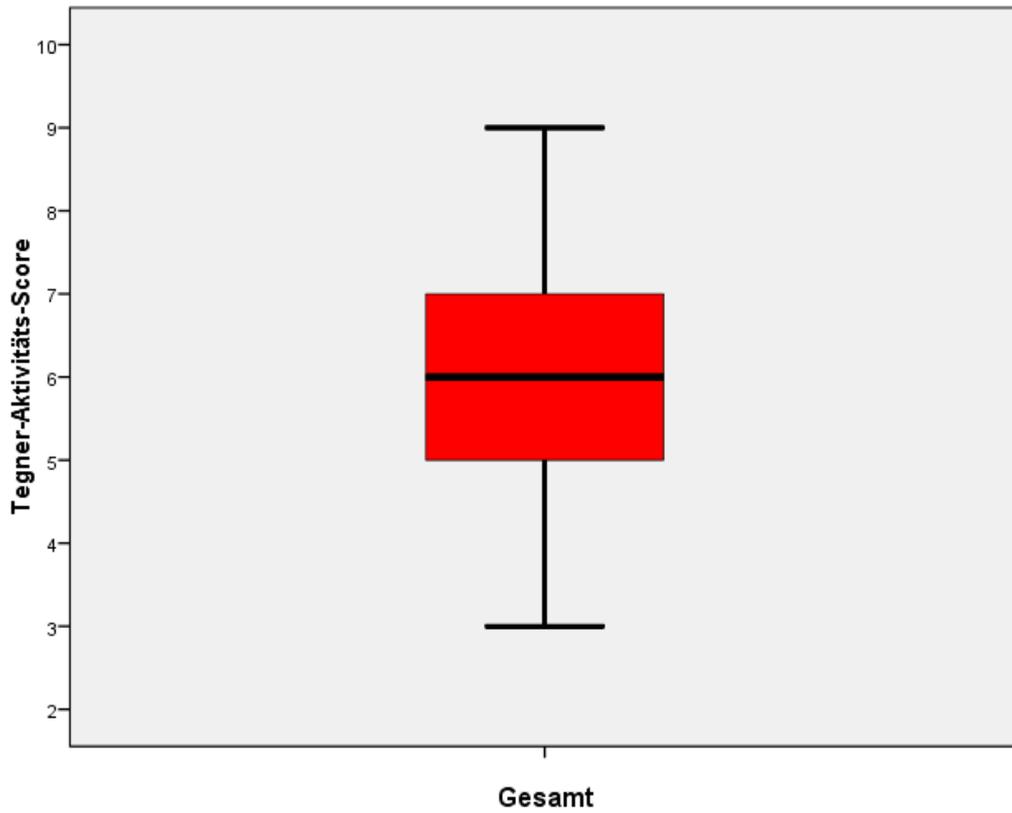


Abb. 23: Boxplot-Diagramm für den Tegner-Aktivitäts-Score des gesamten Patientenguts

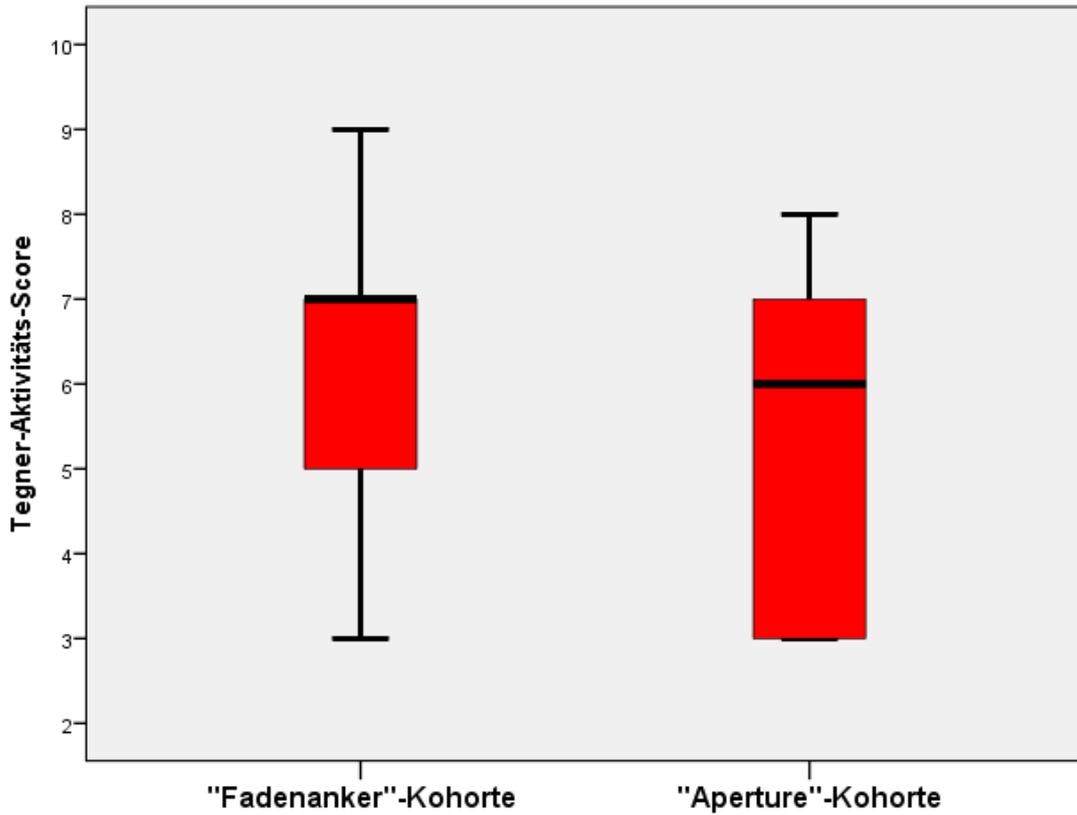


Abb. 24: Boxplot-Diagramm für den Tegner-Aktivitäts-Score beider Kohorten

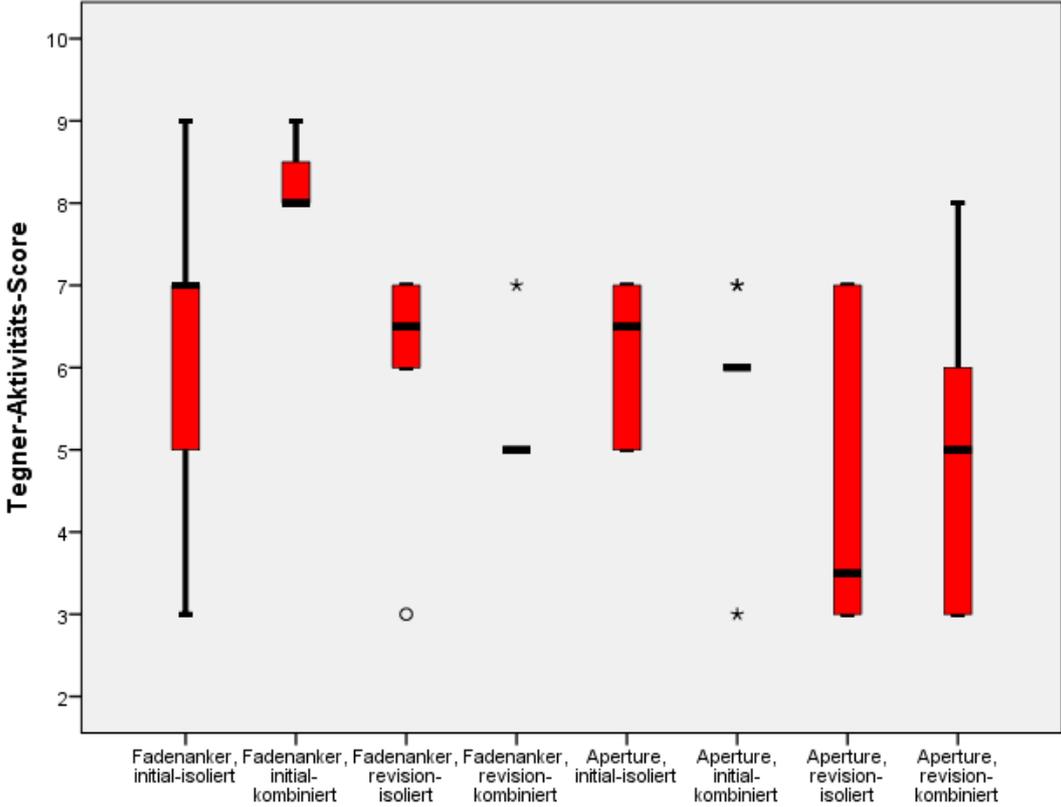


Abb. 25: Boxplot-Diagramm für den Tegner-Aktivitäts-Score der Untergruppen

C.1.4 Resultate des Kujala-Score

Weder für das gesamte Patientengut noch für die einzelnen Untergruppen ergibt sich eine Normalverteilung für den Kujala-Score. (Abb. 26)

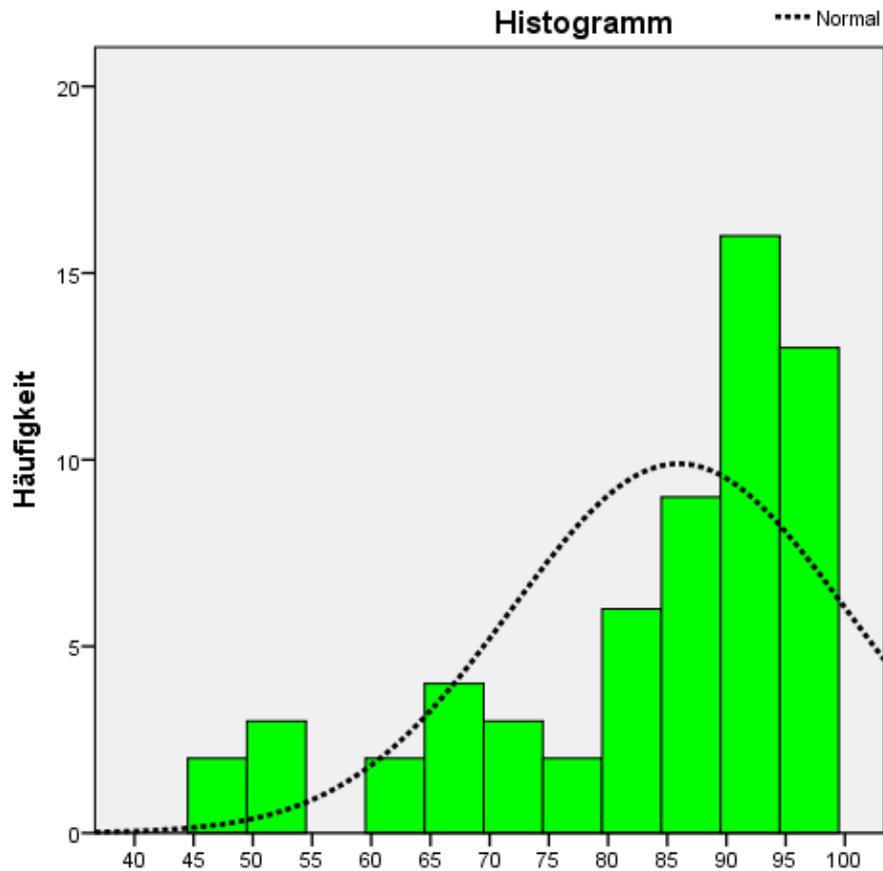


Abb. 26: Histogramm des Kujala-Score des gesamten Patientenkollektivs

Aus allen Angaben der Studienteilnehmer errechnet sich ein Mittelwert des Kujala-Scores von 86,0, bei einer SD von $\pm 14,1$. (Tabelle 13-14; Abb. 27, 28, 29)

C. Ergebnisse

Tabelle 13: Kujala-Score beider Kohorten und des Gesamtkollektivs

	„Fadenanker“-Kohorte	„Aperture“- Kohorte	Gesamt	
Kujala-Score	Mittelwert	91,0	82,8	86,0
	SD	10,0	15,5	14,1
	Median	94,0	88,0	91,5
	75%-Perzentil	98,0	95,0	96,0
	25%-Perzentil	88,0	73,0	81,0
	Maximum	100,0	100,0	100,0
	Minimum	61,0	47,0	47,0

Tabelle 14: Kujala-Score der Untergruppen

	Fadenanker, initial- isoliert	Fadenanker, initial- kombiniert	Fadenanker, revision- isoliert	Fadenanker, revision- kombiniert	Aperture, initial- isoliert	Aperture, initial- kombiniert	Aperture, revision- isoliert	Aperture, revision- kombiniert	
Kujala-Score	Mittelwert	90,7	93,0	92,2	89,2	91,2	91,7	82,8	75,4
	SD	11,0	6,2	12,5	7,4	6,8	6,4	13,6	18,0
	Median	94,0	91,0	95,5	92,0	93,0	93,0	85,0	77,0
	75%-Perzentil	98,0	100,0	100,0	93,0	96,0	95,0	92,0	92,0
	25%-Perzentil	90,0	88,0	95,0	82,0	85,5	88,0	73,0	59,5
	Maximum	100,0	100,0	100,0	98,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Minimum	61,0	88,0	67,0	81,0	81,0	78,0	62,0	47,0

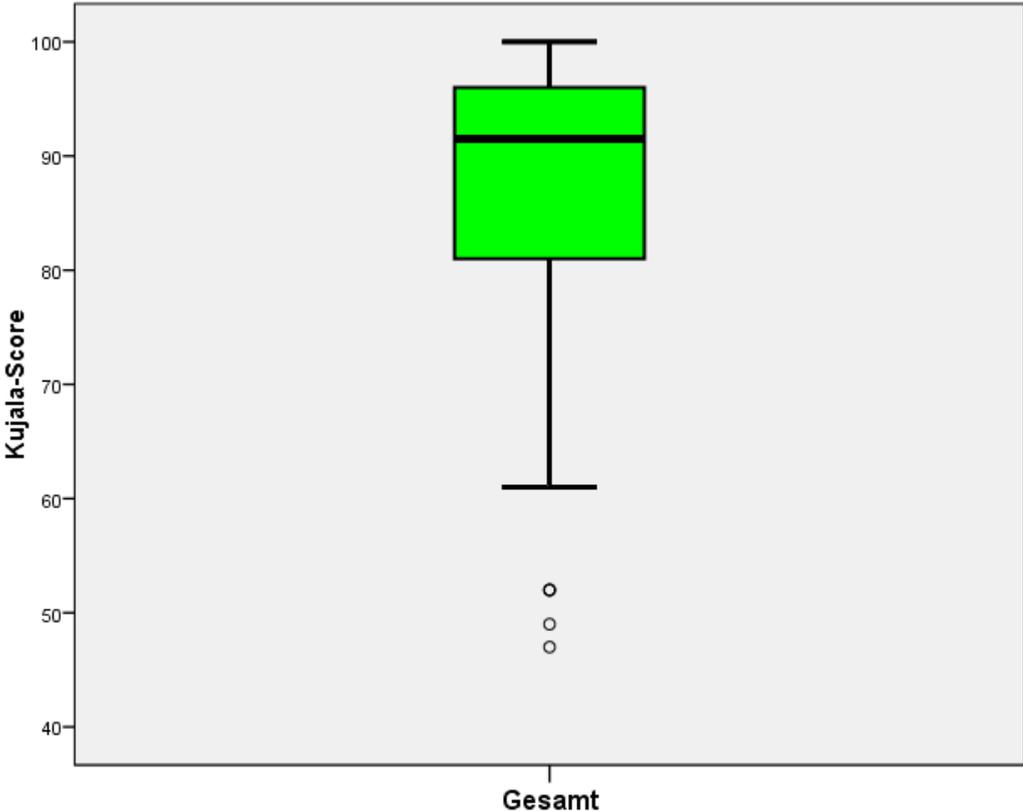


Abb. 27: Boxplot-Diagramm für den Kujala-Score des gesamten Patientenguts

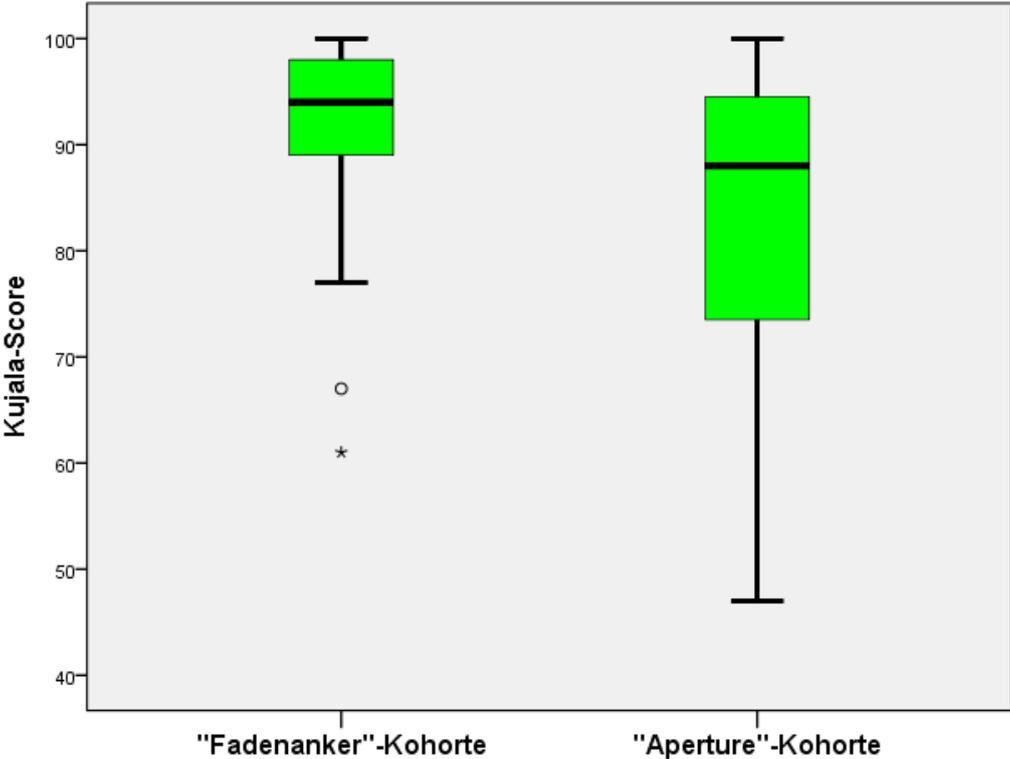


Abb. 28: Boxplot-Diagramm für den Kujala-Score beider Kohorten

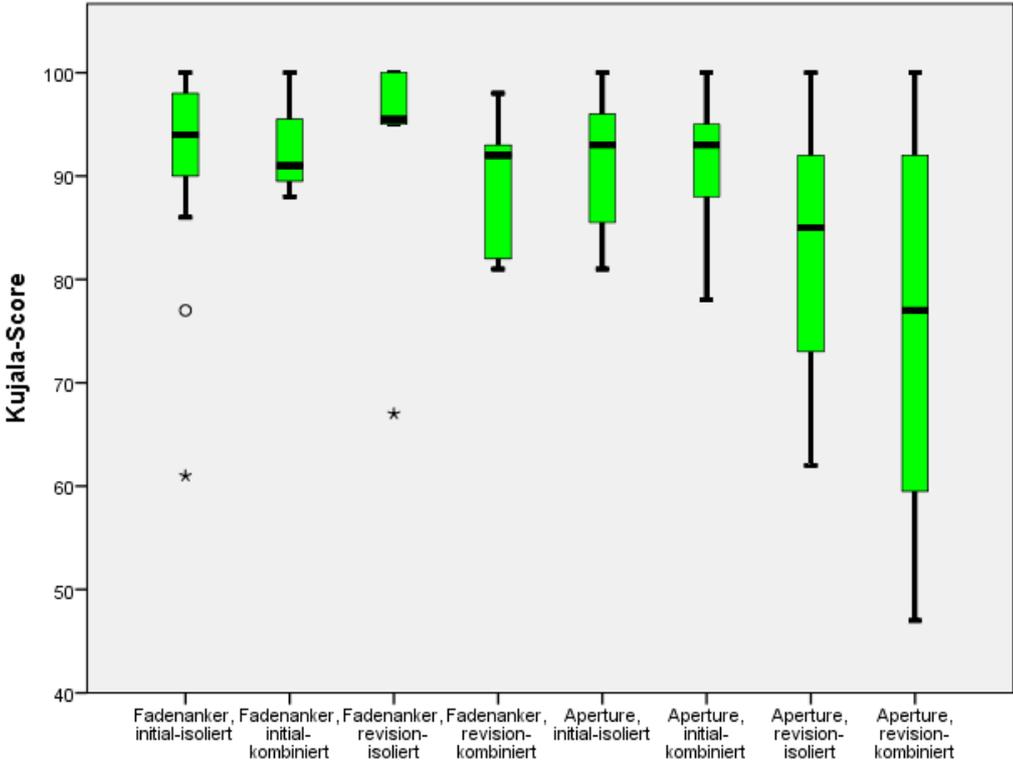


Abb. 29: Boxplot-Diagramm für den Kujala-Score der Untergruppen

C.1.5 Resultate des IKDC-Score

Eine Normalverteilung konnte weder für das gesamte Patientenkollektiv noch für eine der Untergruppen bzgl. des IKDC-Score beobachtet werden. (**Abb. 30**)

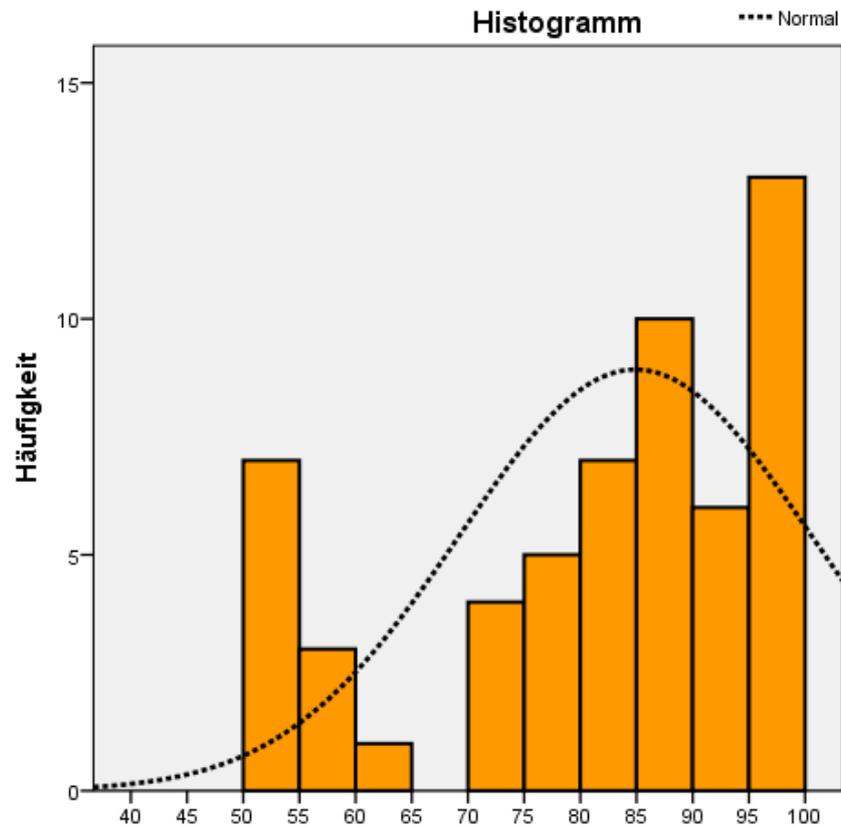


Abb. 30: Histogramm des IKDC-Scores für das gesamte Patientengut

Für das gesamte Patientengut errechnet sich aus den gemachten Angaben ein Mittelwert von 84,9 für den IKDC-Score, bei einer SD von $\pm 15,6$. (**Tabelle 15-16; Abb. 31, 32, 33**)

Die aktuelle Funktionsfähigkeit des operierten Kniegelenks bewertete das gesamte Patientengut im Mittel mit 87,3% der maximal möglichen Funktion, bei einer SD von $\pm 13,6\%$. (**Tabelle 17-18; Abb. 34, 35, 36**)

C. Ergebnisse

Tabelle 15: IKDC-Score beider Kohorten und des Gesamtkollektivs

	„Fadenanker“-Kohorte	„Aperture“-Kohorte	Gesamt
Mittelwert	90,4	81,4	84,9
SD	11,3	17,1	15,6
Median	95,4	86,2	89,1
75%-Perzentil	100,0	96,6	98,9
25%-Perzentil	81,6	70,1	77,0
Maximum	100,0	100,0	100,0
Minimum	56,3	50,6	50,6

Tabelle 16: IKDC-Score der Untergruppen

	Fadenanker, initial- isoliert	Fadenanker, initial- kombiniert	Fadenanker, revision- isoliert	Fadenanker, revision- kombiniert	Aperture, initial- isoliert	Aperture, initial- kombiniert	Aperture, revision- isoliert	Aperture, revision- kombiniert
Mittelwert	89,0	95,8	94,3	86,2	93,0	88,3	79,7	74,3
SD	13,3	4,6	8,7	11,4	7,9	14,9	17,0	17,8
Median	90,8	96,6	96,6	86,2	96,6	93,1	78,2	75,9
75%-Perzentil	100,0	100,0	100,0	93,1	99,4	96,6	95,4	89,1
25%-Perzentil	80,5	90,8	95,4	81,6	85,6	86,2	73,6	55,7
Maximum	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	98,9	100,0	100,0
Minimum	56,3	90,8	77,0	70,1	80,5	50,6	52,9	51,7

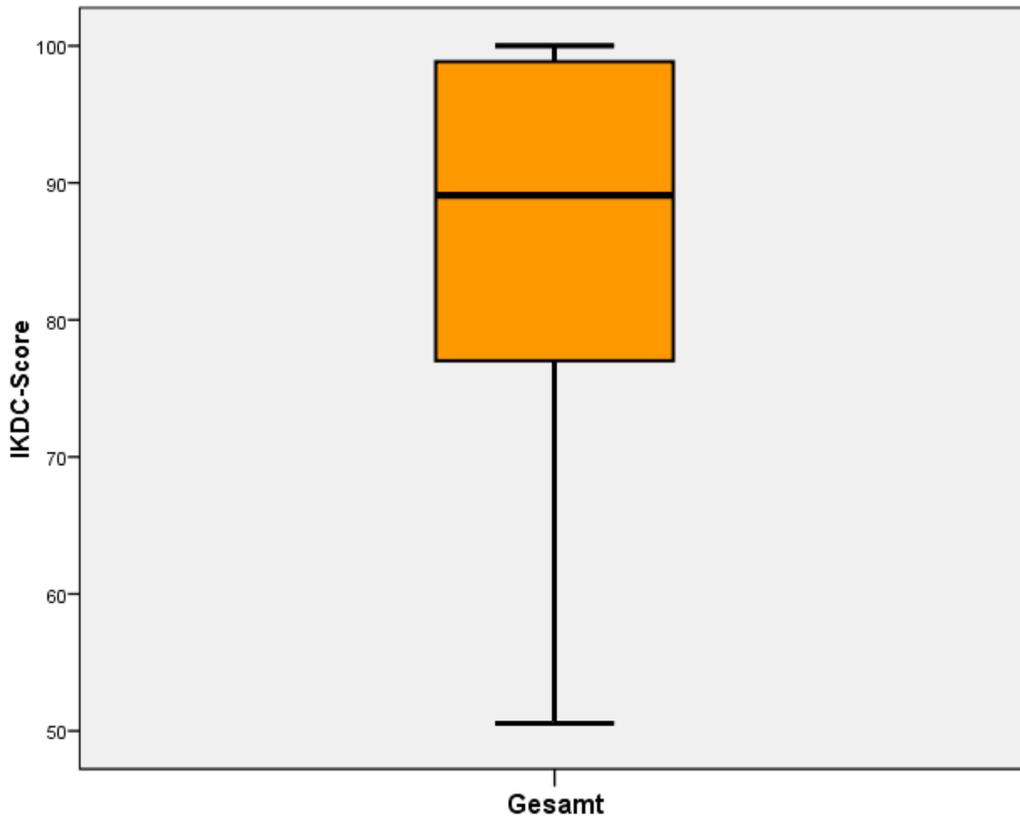


Abb. 31: Boxplot-Diagramm für den IKDC-Score des gesamten Patientenguts

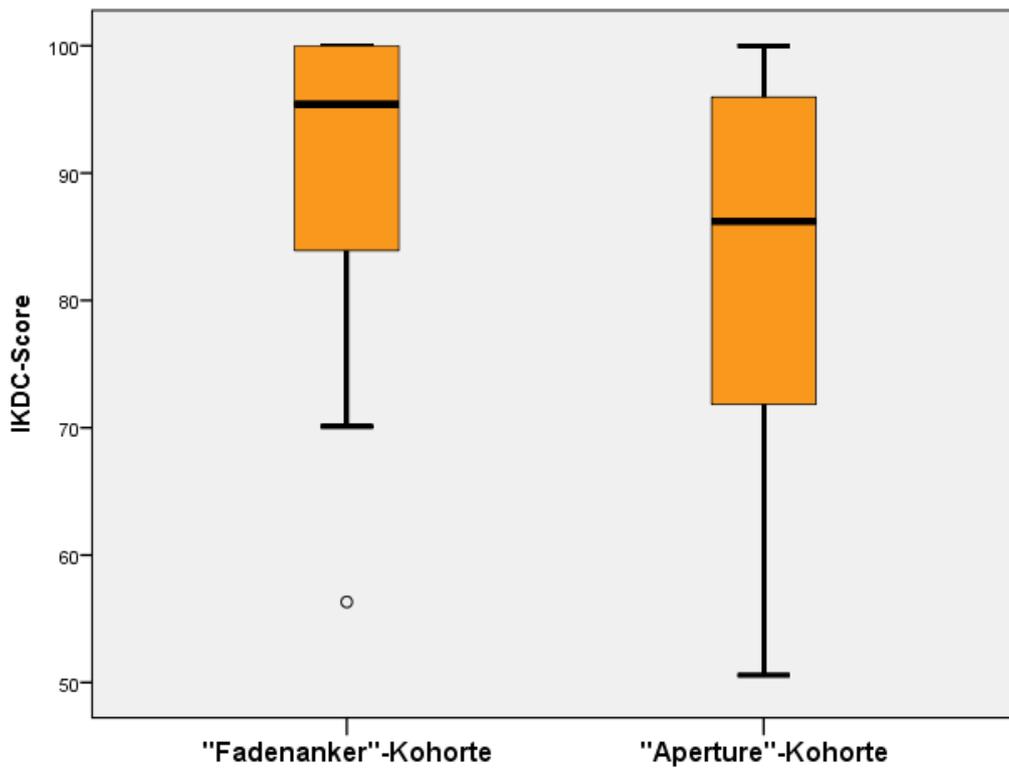


Abb. 32: Boxplot-Diagramm für den IKDC-Score beider Kohorten

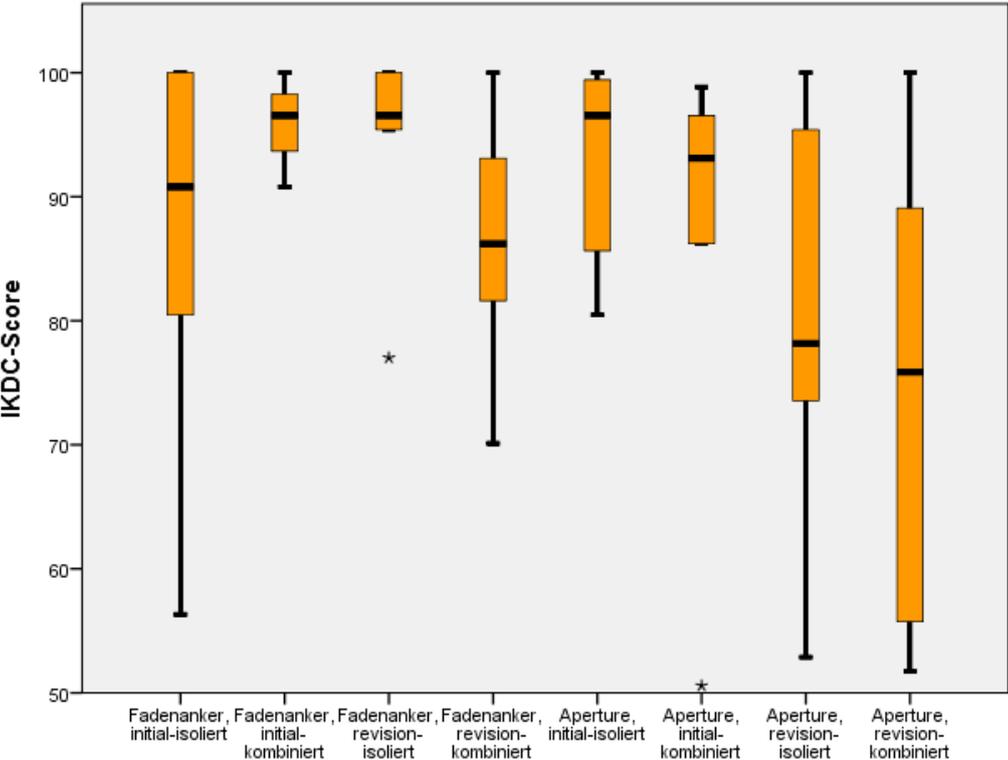


Abb. 33: Boxplot-Diagramm für den IKDC-Score der Untergruppen

C. Ergebnisse

Tabelle 17: Aktuelle Funktion des Kniegelenks beider Kohorten und des Gesamtkollektivs

	„Fadenanker“-Kohorte	„Apertur“-Kohorte	Gesamt	
aktuelle Funktion	Mittelwert	93,0	83,7	87,3
	SD	8,7	15,0	13,6
	Median	100,0	90,0	90,0
	75%-Perzentil	100,0	100,0	100,0
	25%-Perzentil	90,0	70,0	80,0
	Maximum	100,0	100,0	100,0
	Minimum	70,0	40,0	40,0

Tabelle 18: Aktuelle Funktion des Kniegelenks der Untergruppen

	Fadenanker, initial- isoliert	Fadenanker, initial- kombiniert	Fadenanker, revision- isoliert	Fadenanker, revision- kombiniert	Apertur, initial- isoliert	Apertur, initial- kombiniert	Apertur, revision- isoliert	Apertur, revision- kombiniert	
aktuelle Funktion	Mittelwert	93,1	93,3	93,3	92,0	95,0	86,7	83,3	78,0
	SD	10,3	5,8	8,2	8,4	7,6	12,2	12,1	16,7
	Median	100,0	90,0	95,0	90,0	100,0	90,0	85,0	70,0
	75%-Perzentil	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	90,0	95,0
	25%-Perzentil	90,0	90,0	90,0	90,0	90,0	80,0	70,0	70,0
	Maximum	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Minimum	70,0	90,0	80,0	80,0	80,0	60,0	70,0	40,0

C. Ergebnisse

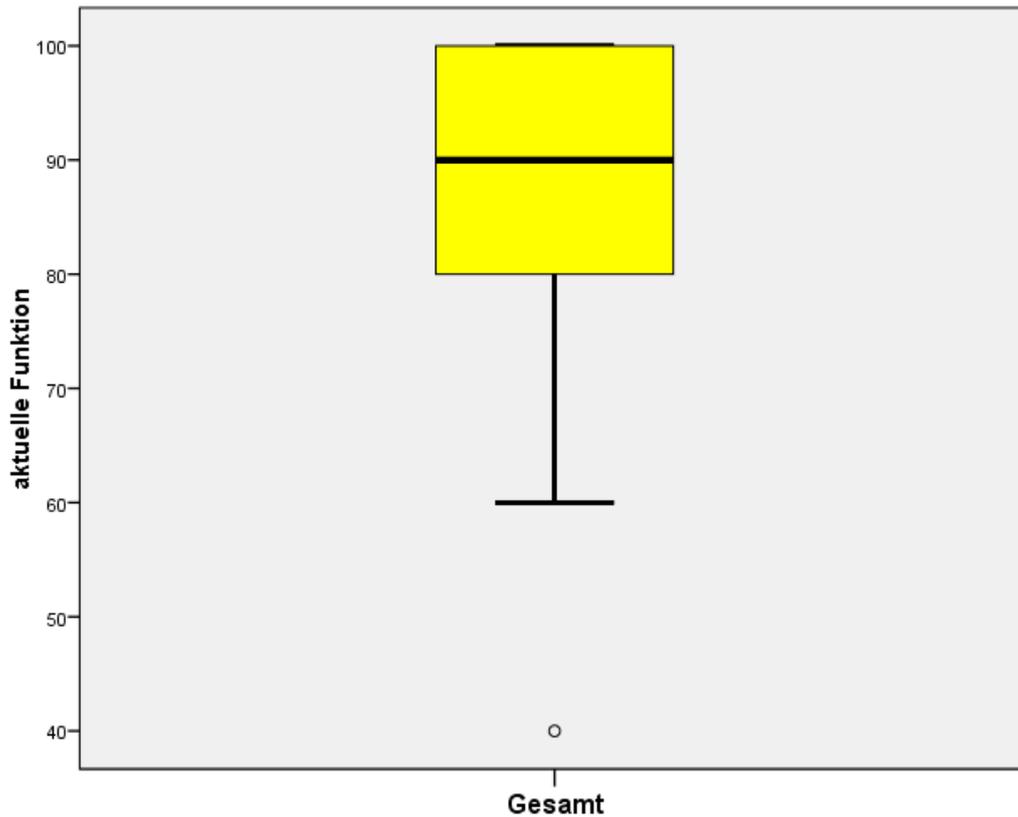


Abb. 34: Boxplot-Diagramm für die aktuelle Funktion des Kniegelenks des gesamten Patientenguts

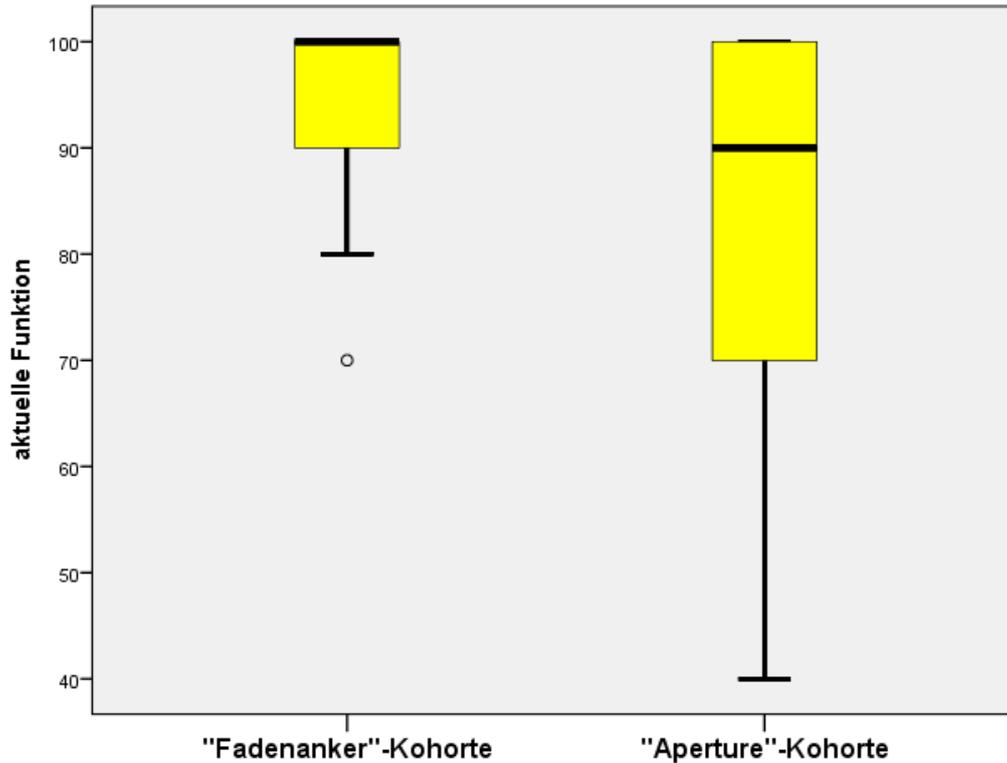


Abb. 35: Boxplot-Diagramm für die aktuelle Funktion des Kniegelenks beider Kohorten

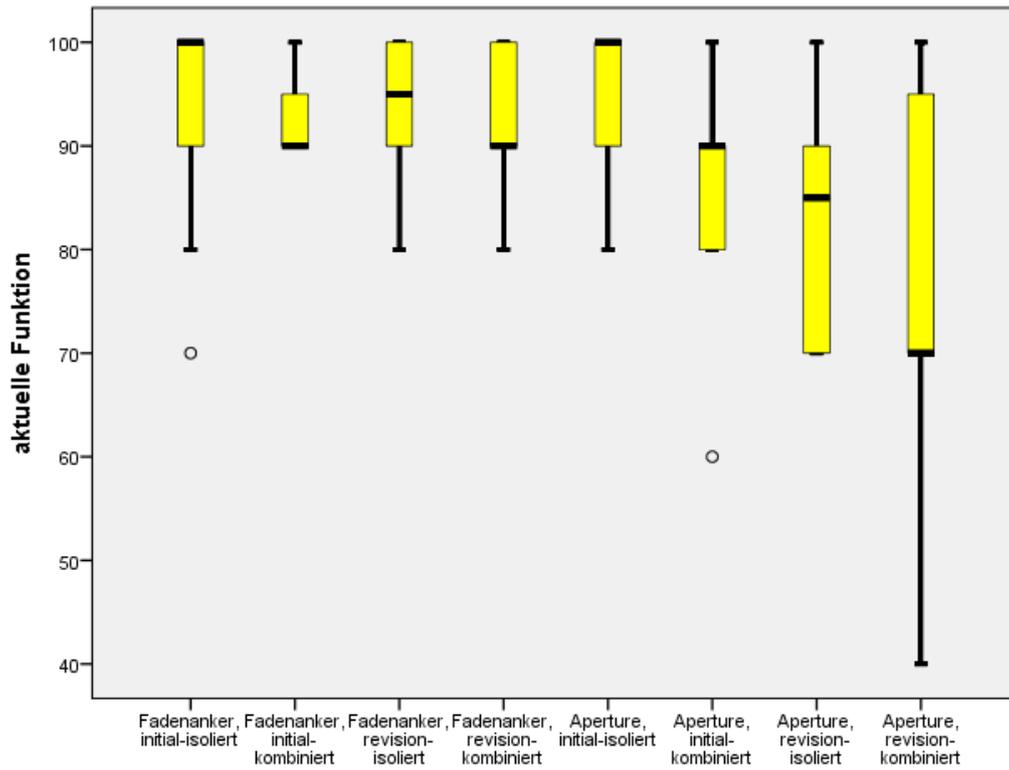


Abb. 36: Boxplot-Diagramm für die aktuelle Funktion des Kniegelenks der Untergruppen

C.1.6 Resultate der Bildgebung

Aus der Analyse der zur Verfügung stehenden Bildgebung zum Nachuntersuchungstermin nach zwei Jahren, konnte für den retropatellaren Knorpel ein Median von 2,0 gemäß „ICRS“-Klassifikation ermittelt werden. Für den trochlearen Knorpel ergab sich ein Median von 1,0. Bei vier Patienten konnte eine dysplastische Ausbildung der Trochlea mit dem Schweregrad A, bei 15 Teilnehmern mit dem Grad B und bei 19 Studienpatienten ein Grad C festgestellt werden. In zehn Fällen ließ sich eine Dysplasie des Grades D bestimmen. (Tabelle 19)

Tabelle 19: Knorpelstatus und Trochleadysplasie beider Kohorten und des Gesamtkollektivs (N= Kniegelenke)

		„Fadenanker“- Kohorte (N: 21/27)	„Aperture“- Kohorte (N: 27/43)	Gesamt (N: 48/70)
retropatellarer Knorpel	Median	2,0	2,0	2,0
	75%-Perzentil	3,0	3,0	3,0
	25%-Perzentil	1,0	1,0	1,0
	Maximum	4,0	4,0	4,0
	Minimum	0,0	0,0	0,0
trochlearer Knorpel	Median	1,0	1,0	1,0
	75%-Perzentil	2,0	2,0	2,0
	25%-Perzentil	1,0	0,0	0,0
	Maximum	3,0	4,0	4,0
	Minimum	0,0	0,0	0,0
Trochlea- dysplasie	A	2	2	4
	B	4	11	15
	C	9	10	19
	D	6	4	10

Die Messung des TTTG-Abstandes ergab in der vorliegenden Bildgebung einen mittleren Wert von 12,7 mm (SD: ± 4,4 mm). Die Auswertung des patellaren „Shifts“ aller Aufnahmen ergab einen Mittelwert von 1,2 mm nach lateral (SD: ± 5,3 mm). Im Mittel lag der „Tilt“ der Patella bei 16,1° (SD: ± 6,5°), bestimmt aus allen verfügbaren MRT-Aufnahmen. Der Mittelwert des Caton-Deschamps-Index beider Kohorten betrug 1,0 (SD: ± 0,1). (Tabelle 20; Abb. 37-48)

C. Ergebnisse

Tabelle 20: TTTG-Abstand, Patella-„Shift“, -„Tilt“ und -Höhe beider Kohorten und des Gesamtkollektivs (N= Kniegelenke)

		„Fadenanker“- Kohorte (N: 21/27)	„Aperture“- Kohorte (N: 27/43)	Gesamt (N: 48/70)
TTTG-Abstand (in mm)	Mittelwert	11,5	13,5	12,7
	SD	2,9	5,1	4,4
	Median	10,9	13,3	12,1
	75%-Perzentil	14,6	17,2	15,7
	25%-Perzentil	9,1	10,4	10,0
	Maximum	16,6	24,1	24,1
	Minimum	7,9	3,4	3,4
patellarer Shift (in mm)	Mittelwert	0,0	2,2	1,2
	SD	4,1	6,0	5,3
	Median	0,0	2,0	1,8
	75%-Perzentil	2,7	4,2	3,4
	25%-Perzentil	-2,5	-2,3	-2,5
	Maximum	6,7	22,5	22,5
	Minimum	-10,0	-6,6	-10,0
patellarer Tilt (in Grad)	Mittelwert	15,6	16,4	16,1
	SD	7,1	6,2	6,5
	Median	15,9	17,0	16,0
	75%-Perzentil	19,8	21,4	21,0
	25%-Perzentil	11,0	11,4	11,2
	Maximum	30,0	29,3	30,0
	Minimum	4,0	3,3	3,3
Patellahöhe	Mittelwert	1,1	1,0	1,0
	SD	0,1	0,2	0,1
	Median	1,0	1,1	1,0
	75%-Perzentil	1,1	1,1	1,1
	25%-Perzentil	1,0	0,9	1,0
	Maximum	1,5	1,2	1,5
	Minimum	0,9	0,6	0,6

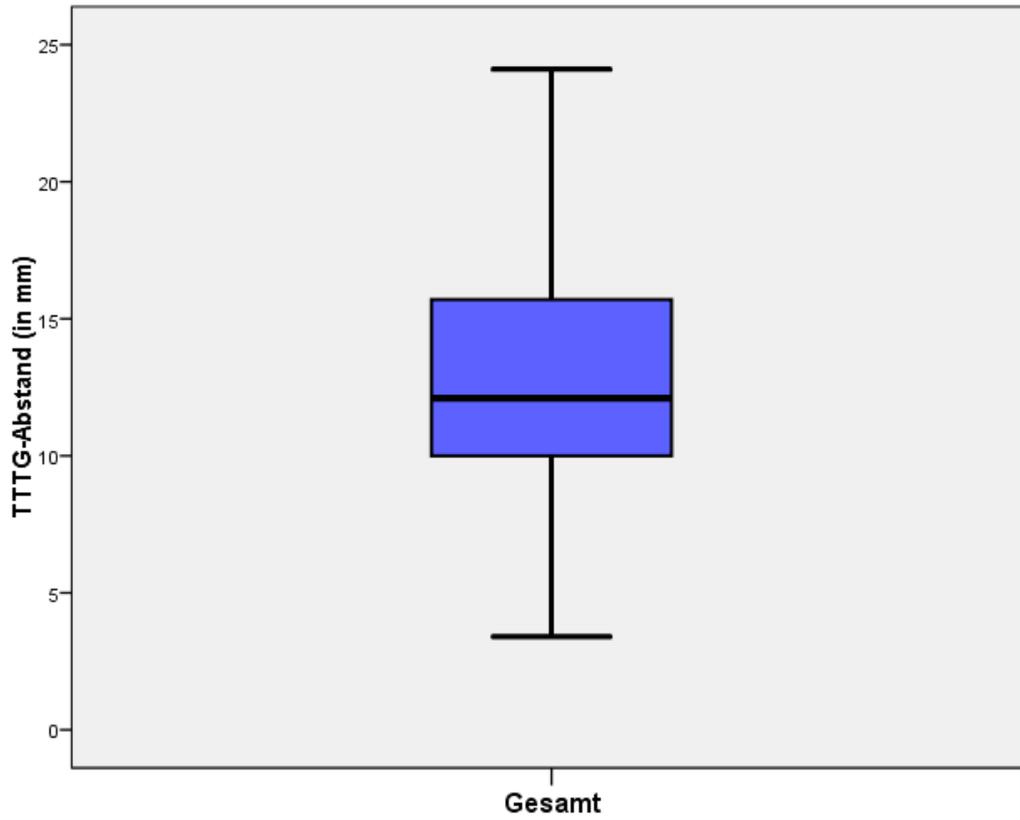


Abb. 37: Boxplot-Diagramm für den TTTG-Abstand des Gesamtkollektivs

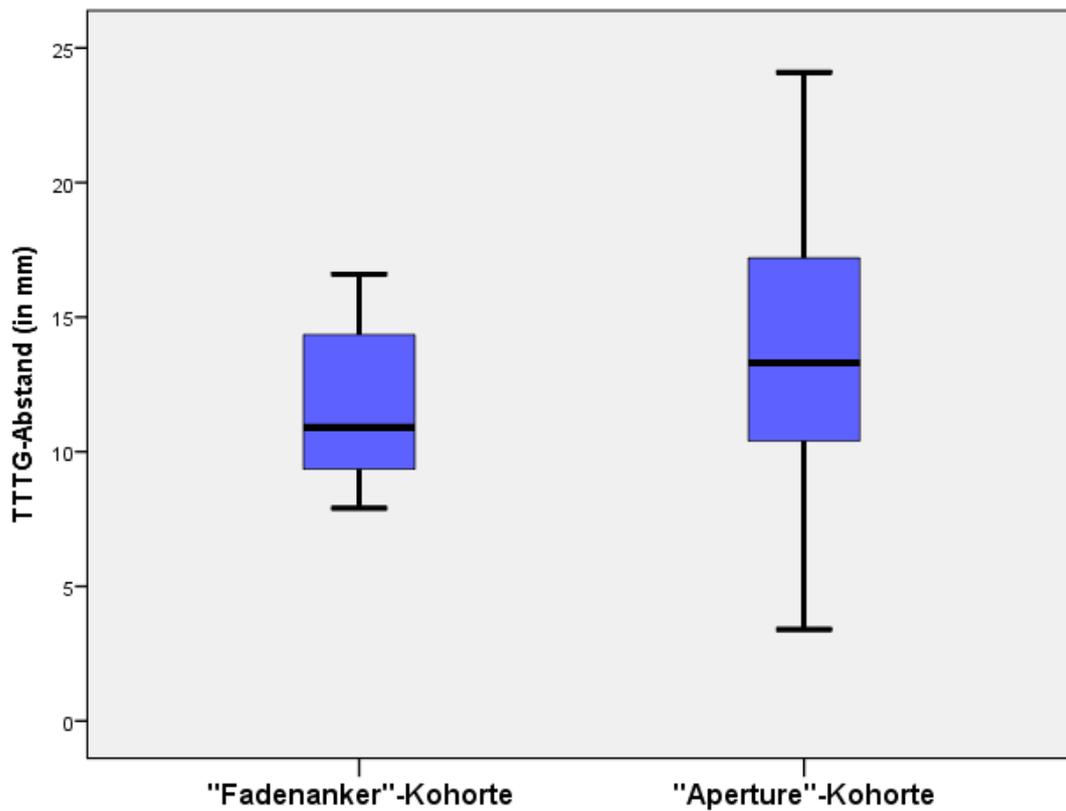


Abb. 38: Boxplot-Diagramm für den TTTG-Abstand beider Kohorten

C. Ergebnisse

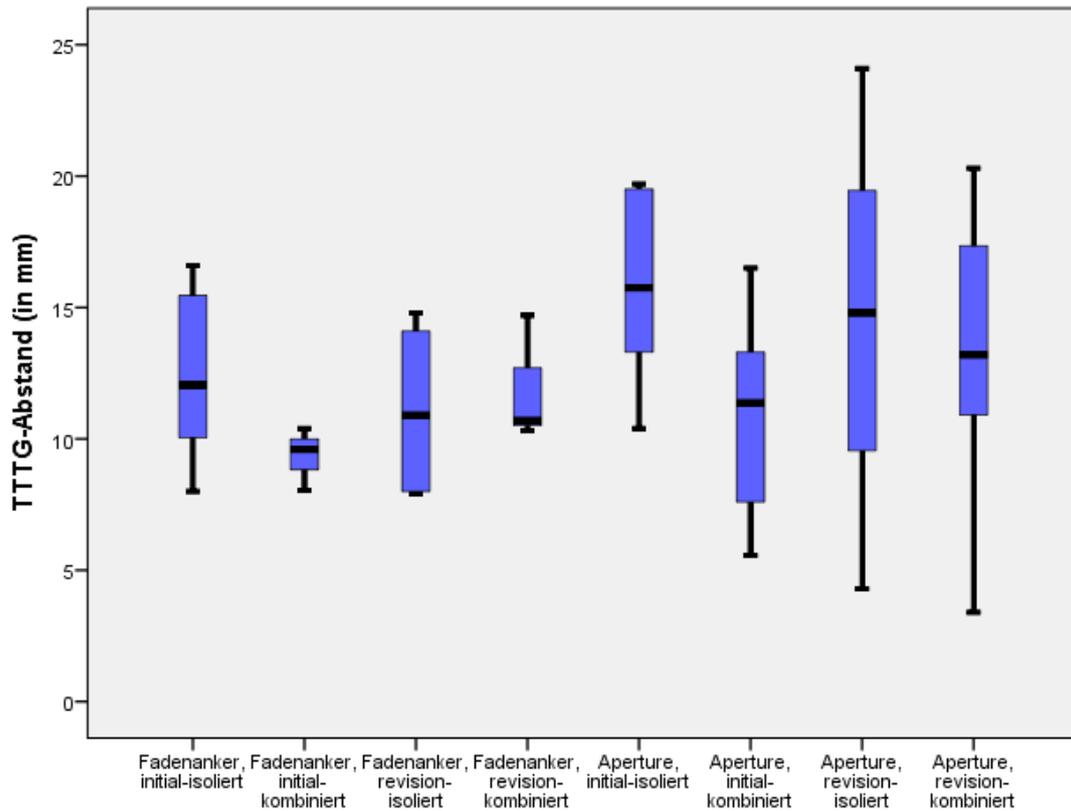


Abb. 39: Boxplot-Diagramm für den TTTG-Abstand der Untergruppen

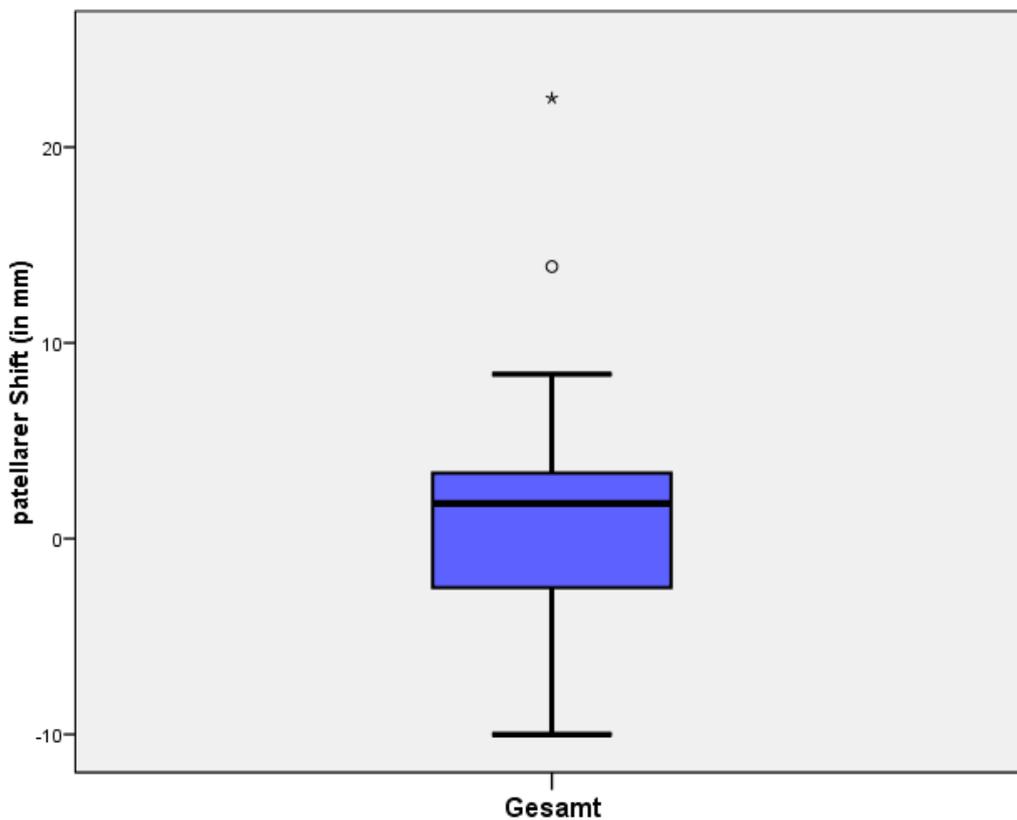


Abb. 40: Boxplot-Diagramm für den patellaren Shift (in mm) des Gesamtkollektivs

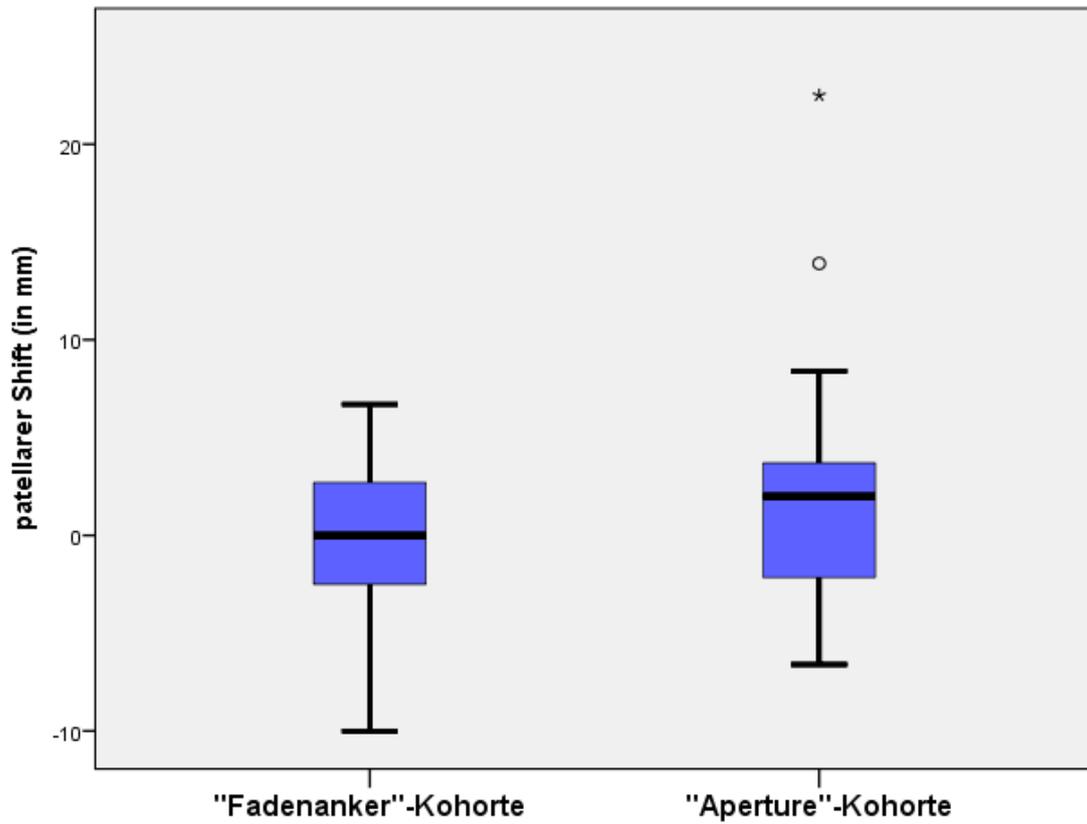


Abb. 41: Boxplot-Diagramm für den patellaren Shift (in mm) beider Kohorten

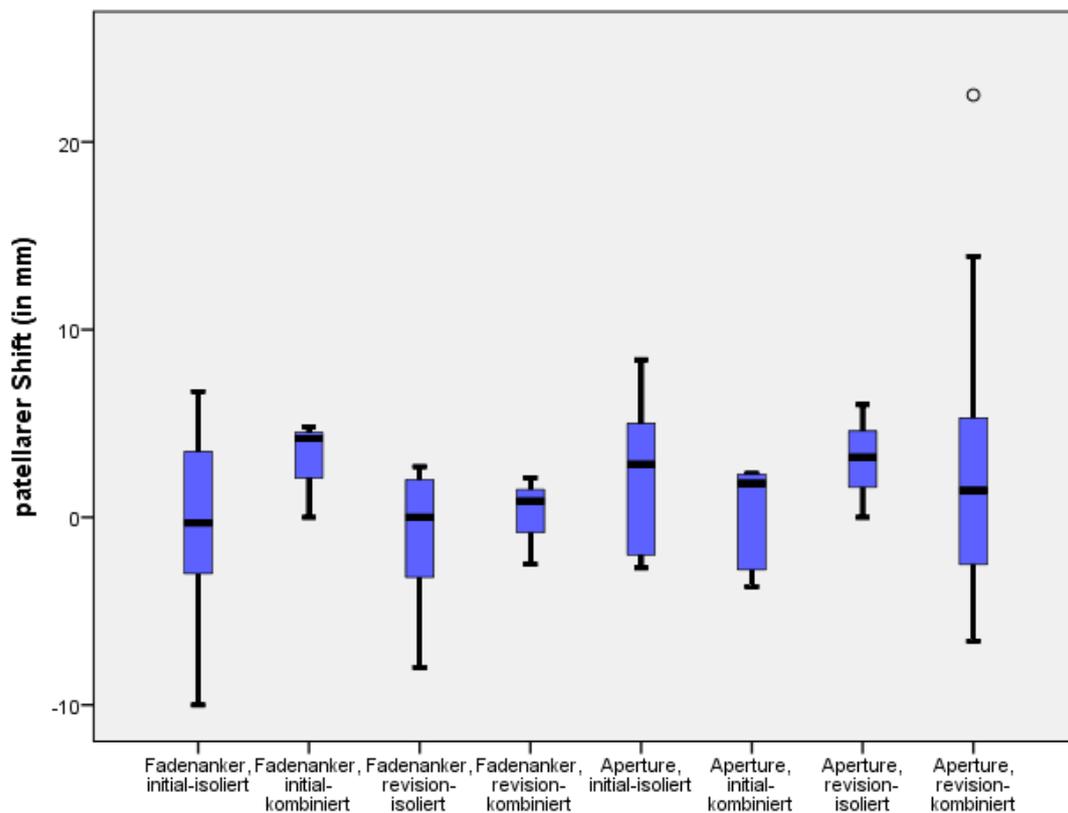


Abb. 42: Boxplot-Diagramm für den patellaren Shift (in mm) der Untergruppen

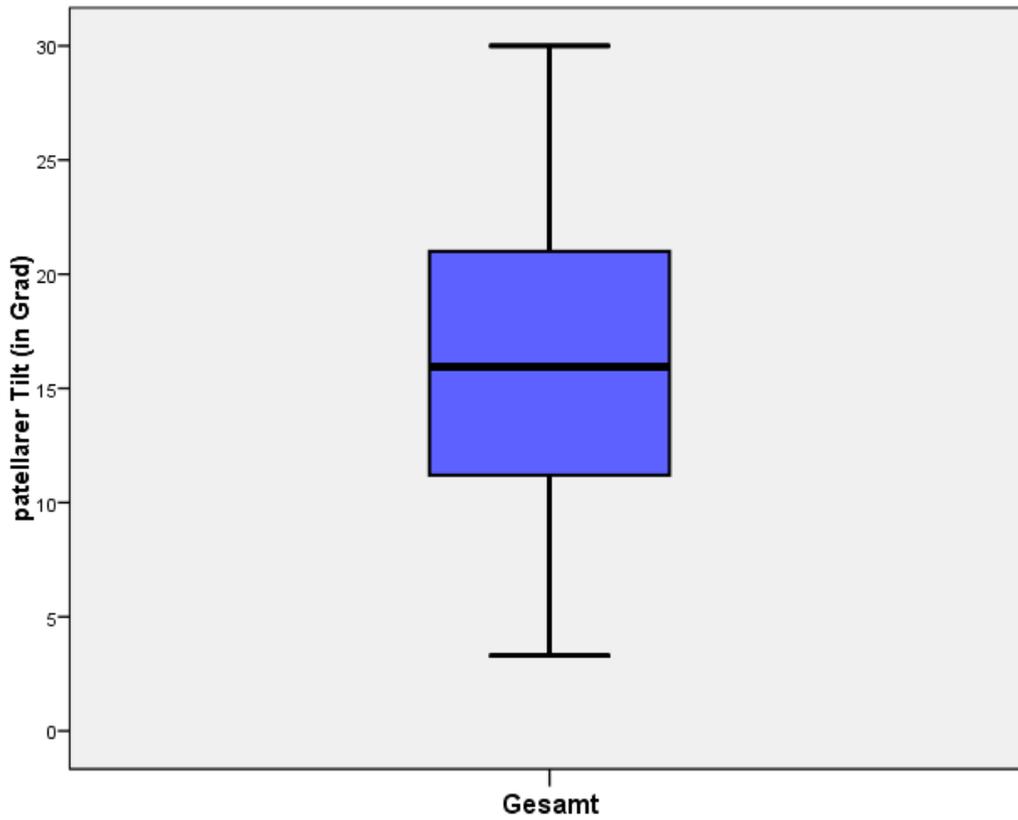


Abb. 43: Boxplot-Diagramm für den patellaren Tilt (in Grad) des Gesamtkollektivs

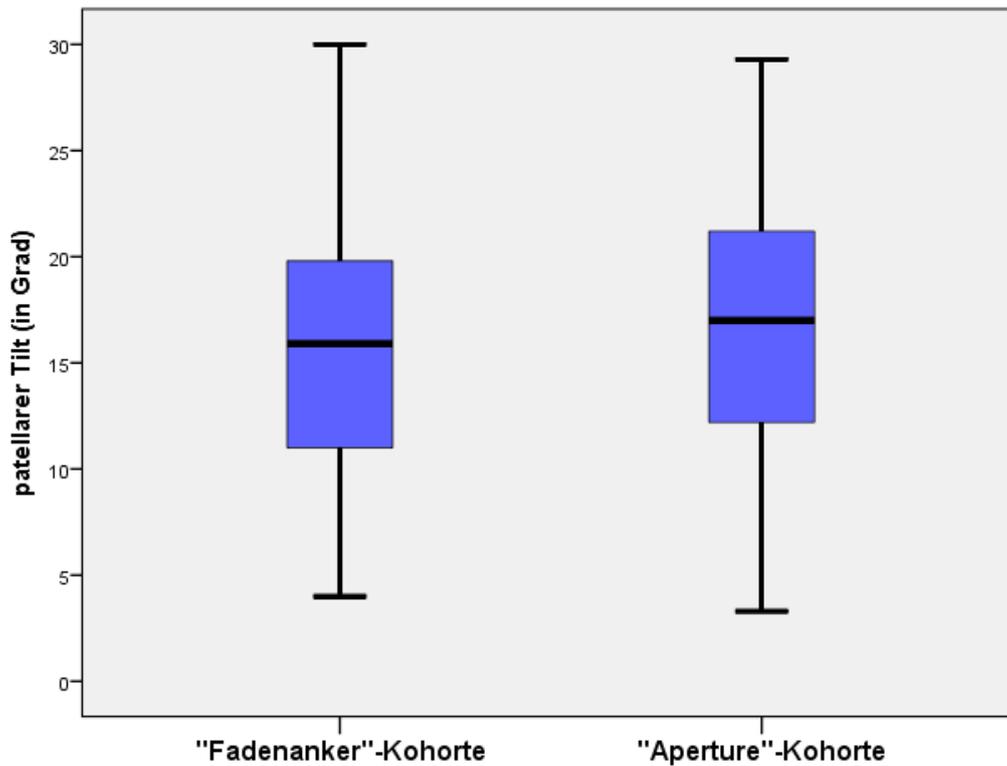


Abb. 44: Boxplot-Diagramm für den patellaren Tilt (in Grad) beider Kohorten

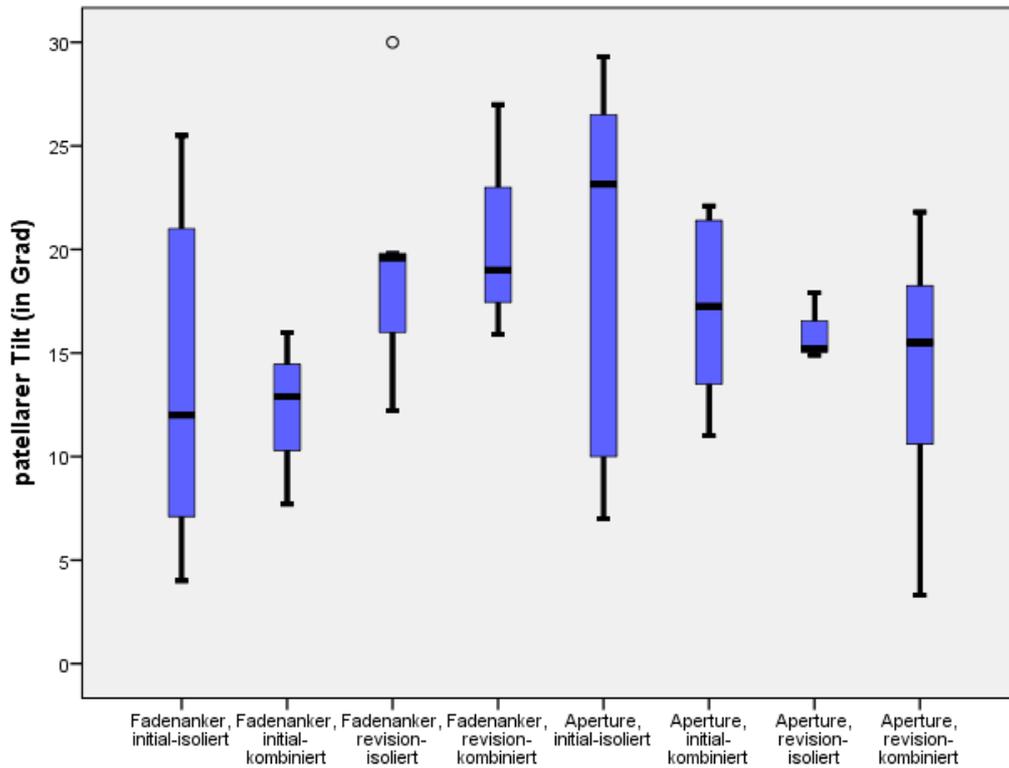


Abb. 45: Boxplot-Diagramm für den patellaren Tilt (in Grad) der Untergruppen

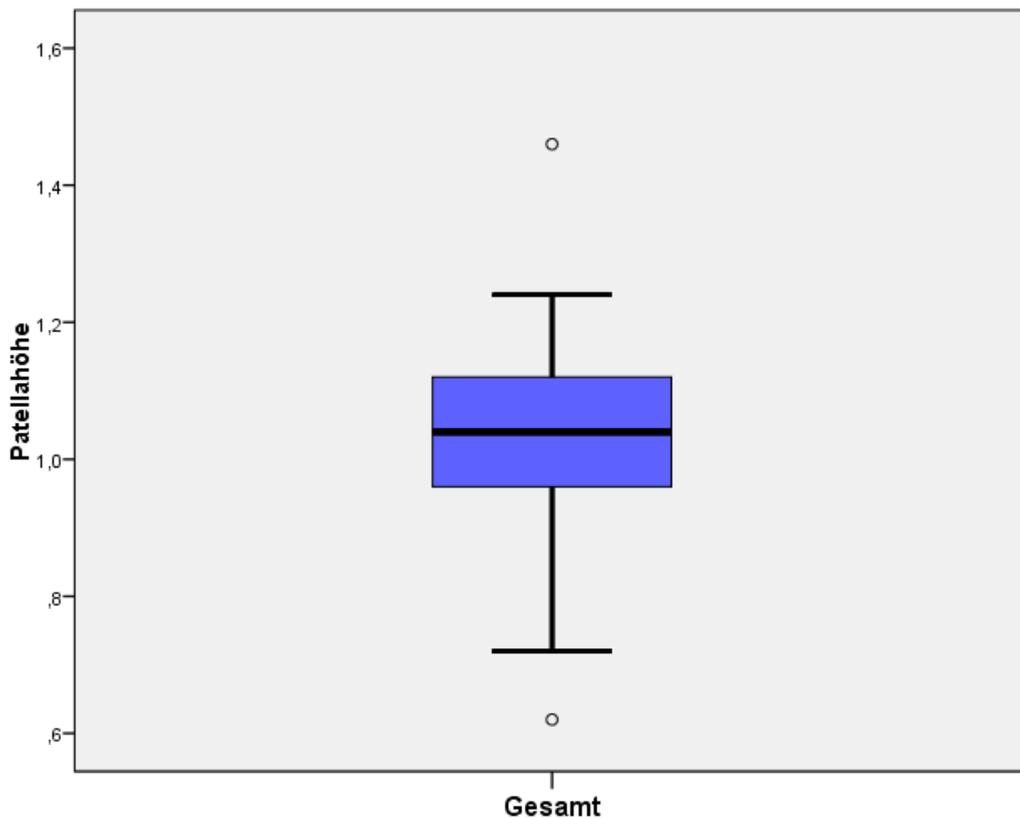


Abb. 46: Boxplot-Diagramm für die Patellahöhe des gesamten Patientenguts

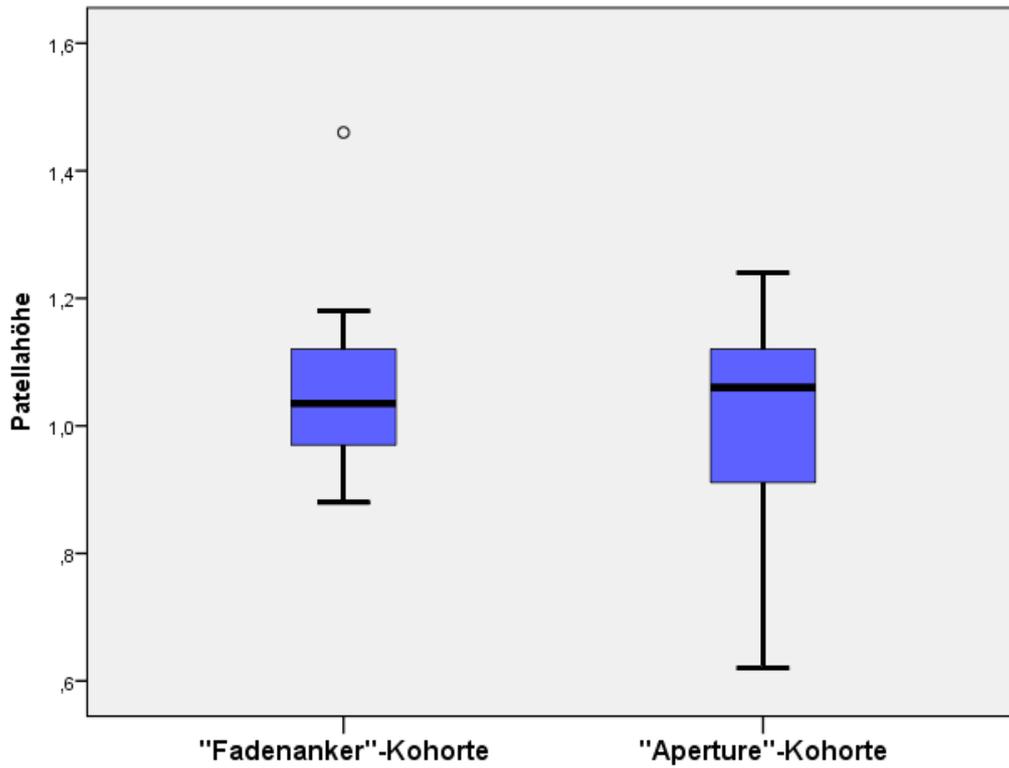


Abb. 47: Boxplot-Diagramm für die Patellahöhe beider Kohorten

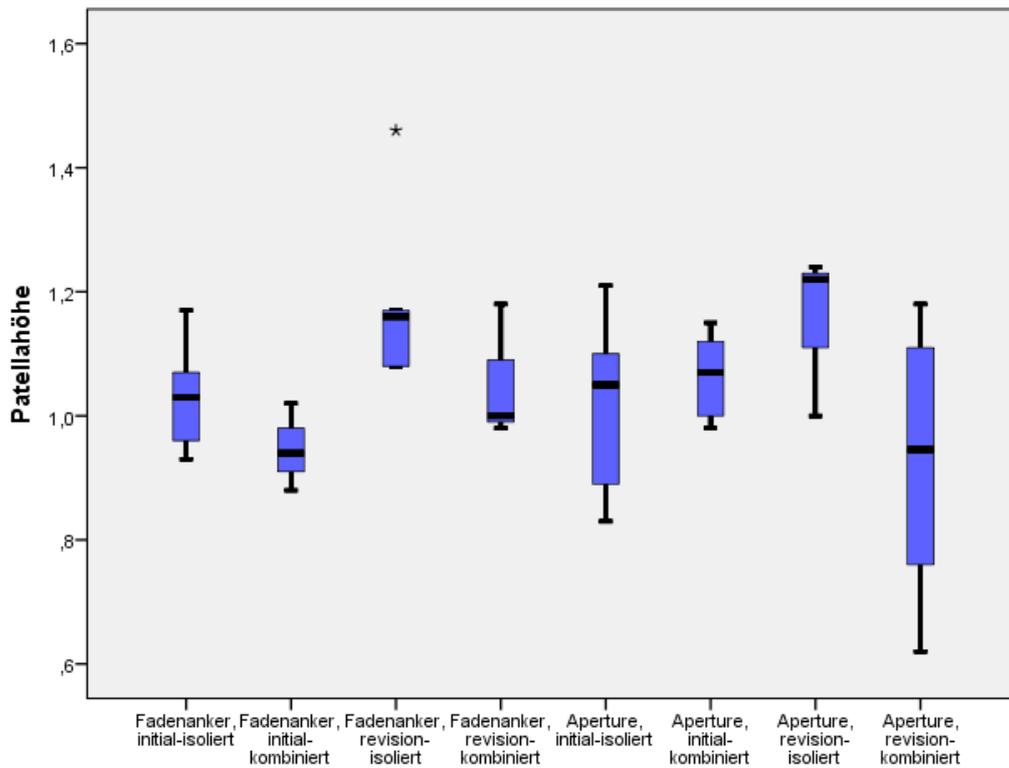


Abb. 48: Boxplot-Diagramm für die Patellahöhe der Untergruppen

C.2 Vergleichende Statistik

Mittels der gewonnenen Daten wurde gemäß den vorgestellten Hypothesen eine explorative Datenanalyse durchgeführt. War es zur Hypothesenbelegung notwendig, wurde auf Daten aus Vorgängerstudien zurückgegriffen (Beermann 2013, Münch 2011/2012).

C.2.1 Vergleich zwischen den Ergebnissen der „Aperture“- und „Fadenanker“-Kohorte

Bei Gegenüberstellung der Ergebnisse von „Aperture“- und „Fadenanker“-Kohorte zeigte sich in allen erfassten klinischen Score-Verfahren ein signifikanter Unterschied. Die Signifikanz betrug $p = 0,019$ für den Tegner und Kujala-Score sowie $p = 0,018$ für den IKDC-Score. Auf dieser Ebene des Vergleichs zeigen die Resultate aller klinischen Evaluationsverfahren in der Kohorte der „Fadenanker“-Technik höhere Resultate. (**Tabellen 11, 13, 15; Abb. 24, 28, 32**)

In nur einem Fall stellte sich bei Gegenüberstellung der Ergebnisse der einzelnen Untergruppen der „Aperture“- und „Fadenanker“-Kohorten ein Unterschied dar, der das Signifikanzniveau erfüllt. Für den Tegner-Score ergibt sich ein signifikanter Unterschied von $p = 0,005$ bei Vergleich der kombiniert versorgten Patienten, die sich erstmals einem Eingriff unterzogen. Es zeigt sich ein höherer Wert in den entsprechenden Untergruppen der „Fadenanker“-Kohorte (8,0 vs. 6,0). (**Tabelle 12; Abb. 25**)

Beim Vergleich der isoliert Erstversorgten beider Kohorten erwies sich der Median des Tegner-Score in entsprechender „Fadenanker“-Untergruppe als größer (7,0 vs. 6,5). Es ließ sich für die gleiche Gegenüberstellung ein höherer Mittelwert des Kujala-Scores für die beobachtete „Aperture“-Gruppe errechnen (91,2 vs. 90,7). Ein höherer Mittelwert dieser Untergruppe konnte auch für den IKDC-Score bestimmt werden (93,0 vs. 89,0). (**Tabellen 12, 14, 16; Abb. 25, 29, 33**)

Neben bereits erwähntem signifikanten Unterschied des Tegner-Scores bei Gegenüberstellung der initial kombiniert versorgten Untergruppen, wurden nachfolgende Unterschiede für die weiteren Evaluationsverfahren beobachtet: Es zeigte sich ein höherer Mittelwert des Kujala- (93,0 vs. 91,7) und IKDC-Scores (95,8 vs. 88,3) für diese „Fadenanker“-Untergruppe. (**Tabellen 14, 16; Abb. 29, 33**)

Auch für isolierte Revisionseingriffe wurden beide korrespondierende Untergruppen gegenübergestellt. Es konnte für den Median respektive Mittelwert aller erfassten klinischen Score-Verfahren ein höheres Ergebnis für die betreffende „Fadenanker“-Untergruppe beobachtet werden (Tegner-Score: 6,5 vs. 3,5; Kujala-Score: 92,2 vs. 82,8; IKDC-Score: 94,3 vs. 79,7). (**Tabellen 12, 14, 16; Abb. 25, 29, 33**)

C. Ergebnisse

Beim Vergleich der Resultate von kombiniert versorgten Teilnehmern, die sich erneut einer Operation unterzogen, traf dies ebenfalls, mit einer Ausnahme, für die entsprechende „Fadenanker“-Untergruppe zu (Kujala-Score: 89,2 vs. 75,4; IKDC-Score: 86,2 vs. 74,3). Der Tegner-Score beider kombiniert revidierten Gruppen betrug 5,0. (**Tabellen 12, 14, 16; Abb. 25, 29, 33**)

C.2.2 Vergleich zwischen den Ergebnissen der isolierten und kombinierten Verfahren

Tabelle 21: Ergebnisse der Score-Verfahren aller isoliert und mittels Kombinationsverfahren versorgten Patienten

		„isoliert“	„kombiniert“
Tegner-Score	Median	6,0	6,0
	75%-Perzentil	7,0	7,0
	25%-Perzentil	5,0	4,0
	Maximum	9,0	9,0
	Minimum	3,0	3,0
Kujala-Score	Mittelwert	89,7	82,7
	SD	10,9	15,9
	Median	94,0	88,0
	75%-Perzentil	98,0	95,0
	25%-Perzentil	85,0	74,0
	Maximum	100,0	100,0
	Minimum	61,0	47,0
IKDC-Score	Mittelwert	89,2	81,0
	SD	12,7	17,1
	Median	95,4	86,2
	75%-Perzentil	100,0	95,4
	25%-Perzentil	80,5	70,1
	Maximum	100,0	100,0
	Minimum	52,9	50,6

Bei dem Vergleich der Ergebnisse der Score-Verfahren aller isolierten mit allen kombiniert versorgten Patienten zeigte sich ein signifikanter Unterschied für die Werte des Kujala-Scores von $p = 0,05$ und IKDC-Scores von $p = 0,027$. Isoliert versorgte Teilnehmer zeigten im Kujala und IKDC-Score bessere Ergebnisse. Für den Tegner-Score ließ sich in beiden Fällen ein Median von 6,0 ermitteln. (**Tabelle 21**)

Bei dem Vergleich der Ergebnisse der isolierten und kombiniert versorgten Gruppen nach Operationstechnik konnte mit einer Ausnahme kein signifikanter Unterschied beobachtet werden: Der Tegner-Score zeigte bei Vergleich der Initialeingriffe einen signifikanten Unterschied von $p = 0,034$ zwischen isolierter und kombinierter Gruppe der „Fadenanker“-Kohorte (8,0 vs. 7,0). Ein besseres Ergebnis konnte hier bei kombiniert versorgten Teilnehmer festgestellt werden. Auch für den Kujala- (93,0 vs. 90,7) und den IKDC-Score

C. Ergebnisse

(95,8 vs. 89,0) konnten größere Mittelwerte bei dieser Untergruppe beobachtet werden. (Tabellen 12, 14, 16; Abb. 25, 29, 33)

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse von isoliert und kombiniert in „Fadenanker“-Technik operierten Revisionspatienten zeigte bei allen Medianen respektive Mittelwerten der Scores für isolierte Verfahren höhere Werte (Tegner-Score: 6,5 vs. 5,0; Kujala-Score: 92,2 vs. 89,2; IKDC-Score: 94,3 vs. 86,2). (Tabellen 12, 14, 16; Abb. 25, 29, 33)

Wurden Initialeingriffe in „Aperture“-Technik bzgl. des angewandten Operationsverfahrens miteinander verglichen, zeigten sich in der isolierten Gruppe höhere Werte des Medians bzw. des Mittelwertes von Tegner- (6,5 vs. 6,0) und IKDC-Score (93,0 vs. 88,3). In der kombinierten Gruppe konnte ein höherer Mittelwert des Kujala-Scores (91,7 vs. 91,2) beobachtet werden. (Tabellen 12, 14, 16; Abb. 25, 29, 33)

Vergleicht man isoliert und kombiniert in „Aperture“-Technik revidierte Patienten, zeigt sich für den Tegner-Score ein höherer Median bei kombiniert versorgten Studienteilnehmern (5,0 vs. 3,5). Für jeweils den Kujala- (82,8 vs. 75,4) und den IKDC-Score (79,7 vs. 74,3) lagen größere Mittelwerte bei isoliert operierten Teilnehmern vor. (Tabellen 12, 14, 16; Abb. 25, 29, 33)

C.2.3 Vergleich der postoperativen Ergebnisse kombinierter Eingriffe mit dem präoperativen Zustand

Tabelle 22: Ergebnisse der Scoreverfahren aller kombiniert versorgten Patienten zum präoperativen Zeitpunkt abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und postoperativen Termin nach zwei Jahren

	N	Mittelwert	SD	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25%	Median	75%
Tegner-Score (präop.)	37	2,6	1,8	0,0	8,0	2,0	2,0	3,0
Tegner -Score (2-J. postop.)	37	5,5	1,7	3,0	9,0	3,5	6,0	7,0
Kujala-Score (präop.)	37	57,1	18,9	24,0	96,0	43,5	55,0	71,0
Kujala-Score (2-J. postop.)	37	82,7	15,9	47,0	100,0	73,5	88,0	95,0
IKDC-Score (präop.)	37	53,7	17,8	25,3	94,0	41,4	47,1	67,9
IKDC-Score (2-J. postop.)	37	81,0	17,1	50,6	100,0	66,1	86,2	96,0

Bei Betrachtung aller kombiniert versorgten Patienten konnte ein hoch signifikanter Unterschied zwischen prä- und postoperativen Werten der klinischen Evaluation beobachtet werden. Jeder der klinischen Scores (Tegner-Score: $p \leq 0,000$; Kujala-Score: $p \leq 0,000$; IKDC-Score: $p \leq 0,000$) zeigt einen signifikant besseren Wert zum postoperativen Zeitpunkt bei Vergleich der Resultate aller kombiniert versorgten Patienten (**Tabelle 22**).

Auch für den Vergleich der prä- und postoperativen Resultate innerhalb der kombiniert operierten Untergruppen konnte ein hoch signifikanter Unterschied von $p \leq 0,000$ in einer Gruppe gezeigt werden: Dabei konnte bei Gegenüberstellung der klinischen Resultate der in „Aperture“-Technik revidierten Teilnehmer ein hoch signifikanter Unterschied (Tegner-Score: $p \leq 0,000$; Kujala-Score: $p \leq 0,000$; IKDC-Score: $p \leq 0,000$) beobachtet werden.

Bei Vergleich der klinischen Ergebnisse der erstmalig in „Aperture“-Technik kombiniert stabilisierten Patienten, zeigte sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied (Tegner-Score: $p = 0,016$; Kujala-Score: $p = 0,008$; IKDC-Score: $p = 0,020$).

Weder für die Gegenüberstellung der klinischen Resultate der initial noch in Revision kombiniert in „Fadenanker“-Technik versorgten Untergruppen konnte ein signifikanter Unterschied erhoben werden. Allerdings stellte sich in jeder Untergruppe ein besseres postoperatives Ergebnis der klinischen Score-Verfahren dar. (**Tabellen 23-26**)

C. Ergebnisse

Tabelle 23: Ergebnisse der Scoreverfahren der initial kombiniert in „Fadenanker“-Technik versorgten Patienten zum präoperativen Zeitpunkt abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und postoperativen Termin nach zwei Jahren

	N	Mittelwert	SD	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25%	Median	75%
Tegner-Score (präop.)	3	2,7	3,8	0,0	7,0	0,0	1,0	7,0
Tegner-Score (2-J. postop.)	3	8,3	0,6	8,0	9,0	8,0	8,0	9,0
Kujala-Score (präop.)	3	51,3	34,4	24,0	90,0	24,0	40,0	90,0
Kujala-Score (2-J. postop.)	3	93,0	6,2	88,0	100,0	88,0	91,0	100,0
IKDC-Score (präop.)	3	56,7	33,8	28,0	94,0	28,0	48,0	94,0
IKDC-Score (2-J. postop.)	3	95,8	4,6	90,8	100,0	90,8	96,6	100,0

Tabelle 24: Ergebnisse der Scoreverfahren der kombiniert in „Fadenanker“-Technik revidierten Patienten zum präoperativen Zeitpunkt abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und postoperativen Termin nach zwei Jahren

	N	Mittelwert	SD	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25%	Median	75%
Tegner-Score (präop.)	5	2,0	0,7	1,0	3,0	1,5	2,0	2,5
Tegner-Score (2-J. postop.)	5	5,4	0,9	5,0	7,0	5,0	5,0	6,0
Kujala-Score (präop.)	5	45,0	12,3	30,0	60,0	34,5	41,0	57,5
Kujala-Score (2-J. postop.)	5	89,2	7,4	81,0	98,0	81,5	92,0	95,5
IKDC-Score (postop.)	5	43,4	10,5	28,0	56,0	33,5	47,0	51,5
IKDC-Score (2-J. postop.)	5	86,2	11,4	70,1	100,0	75,9	86,2	96,6

C. Ergebnisse

Tabelle 25: Ergebnisse der Scoreverfahren der initial kombiniert in „Aperture“-Technik versorgten Patienten zum präoperativen Zeitpunkt abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und postoperativen Termin nach zwei Jahren

	N	Mittelwert	SD	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25%	Median	75%
Tegner-Score (präop.)	9	3,6	1,7	0,0	6,0	3,0	3,0	5,0
Tegner-Score (2-J. postop.)	9	5,9	1,2	3,0	7,0	6,0	6,0	6,5
Kujala-Score (präop.)	9	72,2	17,7	44,0	96,0	55,5	77,0	86,5
Kujala-Score (2-J. postop.)	9	91,7	6,4	78,0	100,0	88,0	93,0	95,5
IKDC-Score (präop.)	9	67,8	14,7	41,4	82,6	55,8	71,3	80,4
IKDC-Score (2-J. postop.)	9	88,3	14,9	50,6	98,9	86,2	93,1	97,1

Tabelle 26: Ergebnisse der Scoreverfahren der kombiniert in „Aperture“-Technik revidierten Patienten zum präoperativen Zeitpunkt abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und postoperativen Termin nach zwei Jahren

	N	Mittelwert	SD	Minimum	Maximum	Perzentile		
						25%	Median	75%
Tegner-Score (präop.)	20	2,4	1,6	0,0	8,0	2,0	2,0	3,0
Tegner-Score (2-J. postop.)	20	4,9	1,8	3,0	8,0	3,0	5,0	6,0
Kujala-Score (präop.)	20	54,2	15,1	33,0	95,0	44,0	50,5	62,5
Kujala-Score (2-J. postop.)	20	75,5	18,0	47,0	100,0	55,8	77,0	92,5
IKDC-Score (präop.)	20	49,4	14,8	25,3	78,2	39,7	45,9	64,1
IKDC-Score (2-J. postop.)	20	74,3	17,8	51,7	100,0	54,9	75,9	89,4

C.2.4 Vergleich der Ergebnisse zwischen Initial- und Revisionseingriffen

Tabelle 27: Ergebnisse der Scoreverfahren aller initial und mittels Revision versorgten Patienten

		„initial“	„Revision“
Tegner-Score	Median	6,0	5,0
	75%-Perzentil	7,0	7,0
	25%-Perzentil	6,0	3,0
	Maximum	9,0	8,0
	Minimum	3,0	3,0
Kujala-Score	Mittelwert	91,3	81,2
	SD	8,3	16,5
	Median	93,0	85,0
	75%-Perzentil	96,0	95,0
	25%-Perzentil	88,0	68,0
	Maximum	100,0	100,0
	Minimum	61,0	47,0
IKDC-Score	Mittelwert	90,4	80,0
	SD	12,0	17,0
	Median	94,3	81,6
	75%-Perzentil	98,9	95,4
	25%-Perzentil	86,2	70,1
	Maximum	100,0	100,0
	Minimum	50,6	51,7

Bei Vergleich der Ergebnisse aller Erst- und Revisionseingriffe konnte ein signifikanter Unterschied für alle erfassten klinischen Scoreverfahren (Tegner-Score: $p = 0,003$; Kujala-Score: $p = 0,015$; IKDC-Score: $p = 0,010$) festgestellt werden. Es zeigten sich bessere Score-Werte für Initialeingriffe (**Tabelle 27**).

Stellte man Initial- und Revisionseingriffe in den Untergruppen gegenüber, zeigen sich mit zwei Ausnahmen höhere Wert für Tegner-, Kujala- und IKDC-Score der Erstoperierten. Dabei handelt es sich um die Resultate für Kujala- (92,2 vs. 90,7) und IKDC-Score (94,3 vs. 89,0) der isoliert in „Fadenanker“-Technik versorgten Teilnehmer. Der beobachtete Unterschied zu Gunsten der Revisionseingriffe war jedoch nicht signifikant. (**Tabellen 12, 14, 16; Abb. 25, 29, 33**)

Ein signifikant besseres Resultat von $p = 0,018$ für den Tegner-Score zeigte sich in der initial-kombiniert versorgten Untergruppe der „Fadenanker“-Technik. Zudem lag für den Kujala-Score ein signifikanter Unterschied von $p = 0,025$ zu Gunsten der Initialeingriffe bei

C. Ergebnisse

Gegenüberstellung der Untergruppen, die kombiniert in „Aperture“-Technik operiert wurden, vor. (Tabellen 12, 14, 16; Abb. 25, 29, 33) Ein weiterer signifikanter Unterschied wurde nicht beobachtet.

C.2.5 Vergleich der Ergebnisse von kurz- und mittelfristigen Untersuchungszeitpunkten

Zur Darstellung der Vergleichbarkeit der Resultate nach einem und zwei Jahren wurden die 95%-Konfidenzintervalle der Mediane respektive der Mittelwerte der Ergebnisse der klinischen Score-Verfahren bestimmt. Die jeweiligen Werte wurden als gleichwertig angesehen, wenn sie sich innerhalb der gegenübergestellten Konfidenzintervalle befanden. Um einen Vergleich zu ermöglichen, wurde auf Resultate aus den Vorgängerstudien zurückgegriffen (Beermann 2013, Münch 2011/2012).

Bei Gegenüberstellung des Medians des Tegner-Aktivitäts-Score aus der postoperativen Evaluation nach einem und nach zwei Jahren für das Gesamtkollektiv, liegt zum 1-Jahres Nachuntersuchungstermin bzgl. des Tegner-Scores ein höherer Wert vor. (**Abb. 49**)

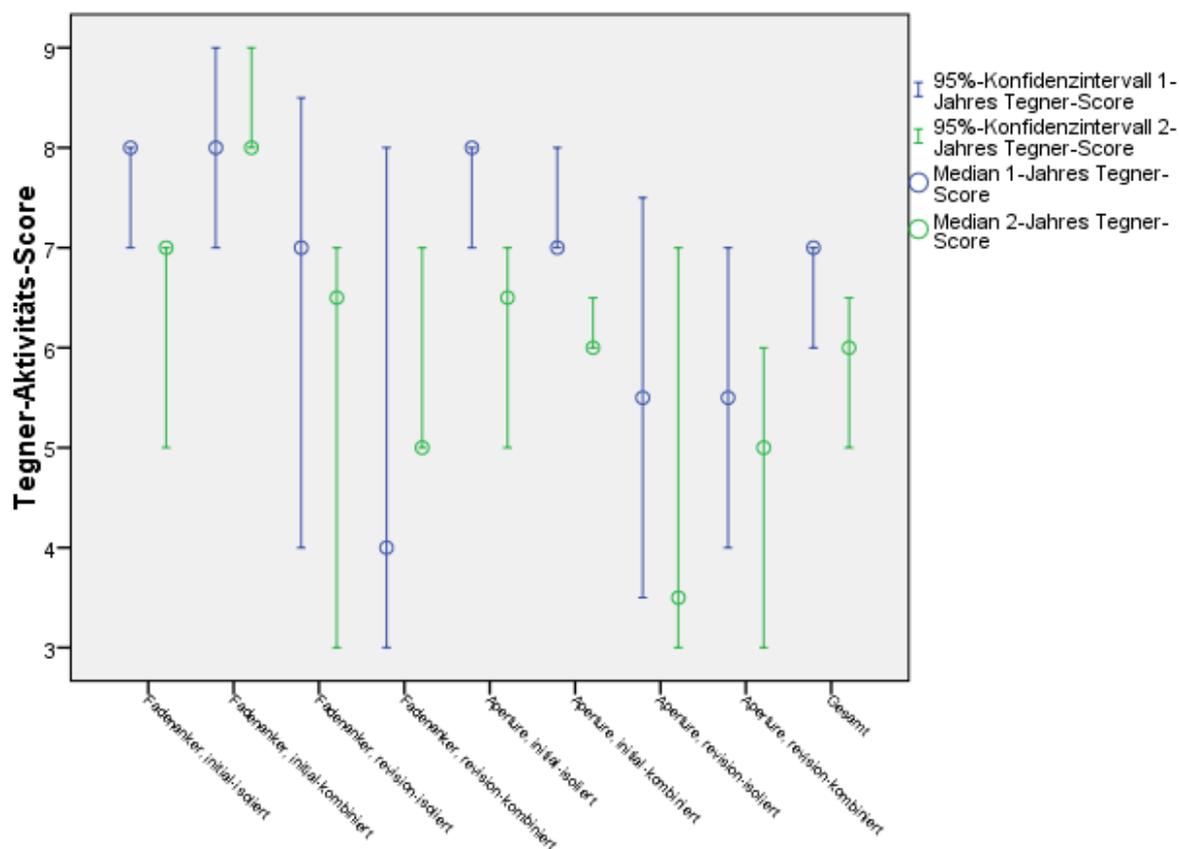


Abb. 49: Konfidenzintervalle mit entsprechendem Median des Tegner-Score zum postoperativen Zeitpunkt nach einem Jahr abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und nach zwei Jahren

C. Ergebnisse

Vergleich man die ein und zwei Jahresmittelwerte und ihre 95%-Konfidenzintervalle des gesamten Patientenguts miteinander, stellte sich eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse für den Kujala-Score dar, da die Werte innerhalb der gegenübergestellten Konfidenzintervalle liegen. (Abb. 50)

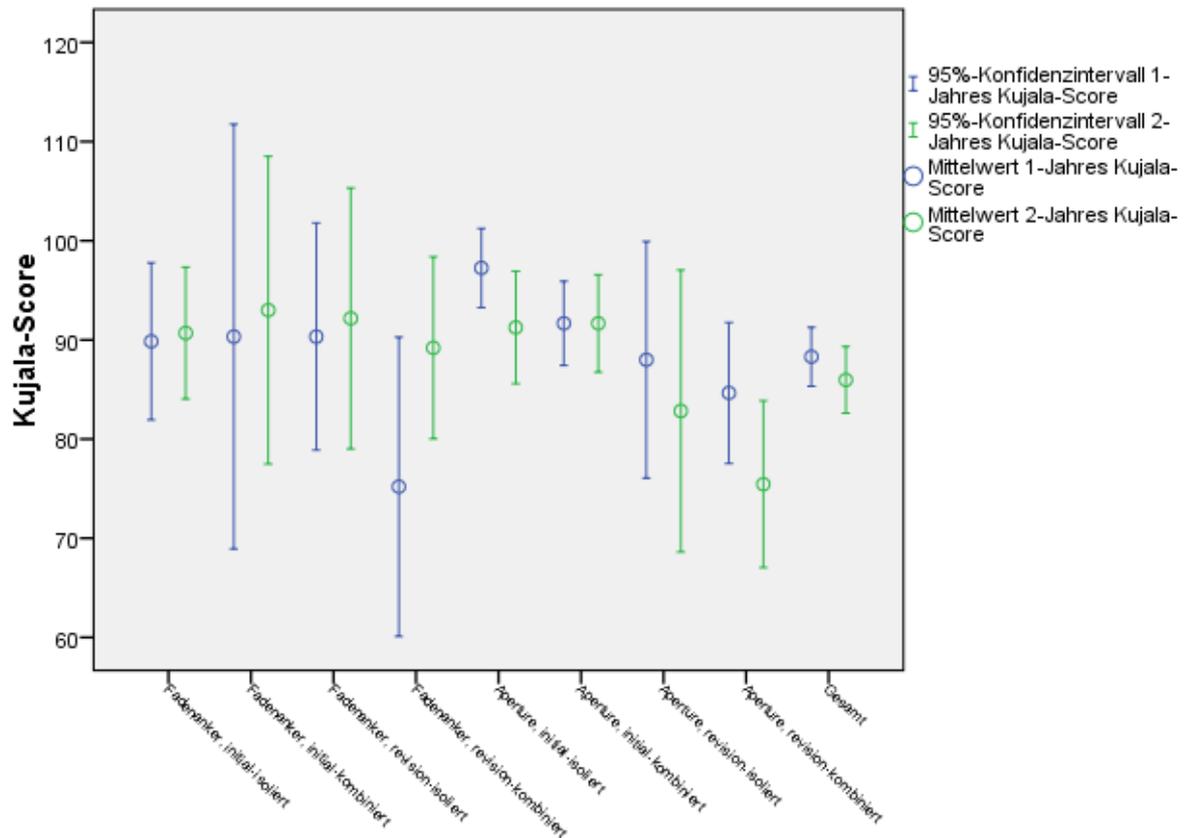


Abb. 50: Konfidenzintervalle mit entsprechendem Mittelwert des Kujala-Score zum postoperativen Zeitpunkt nach einem Jahr abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und nach zwei Jahren

C. Ergebnisse

Für den Vergleich der Mittelwerte des IKDC-Scores zum Zeitpunkt nach einem und zwei Jahren nach der Operation zeigte sich ebenfalls eine Gleichartigkeit nach vorgestelltem Maßstab. (Abb. 51)

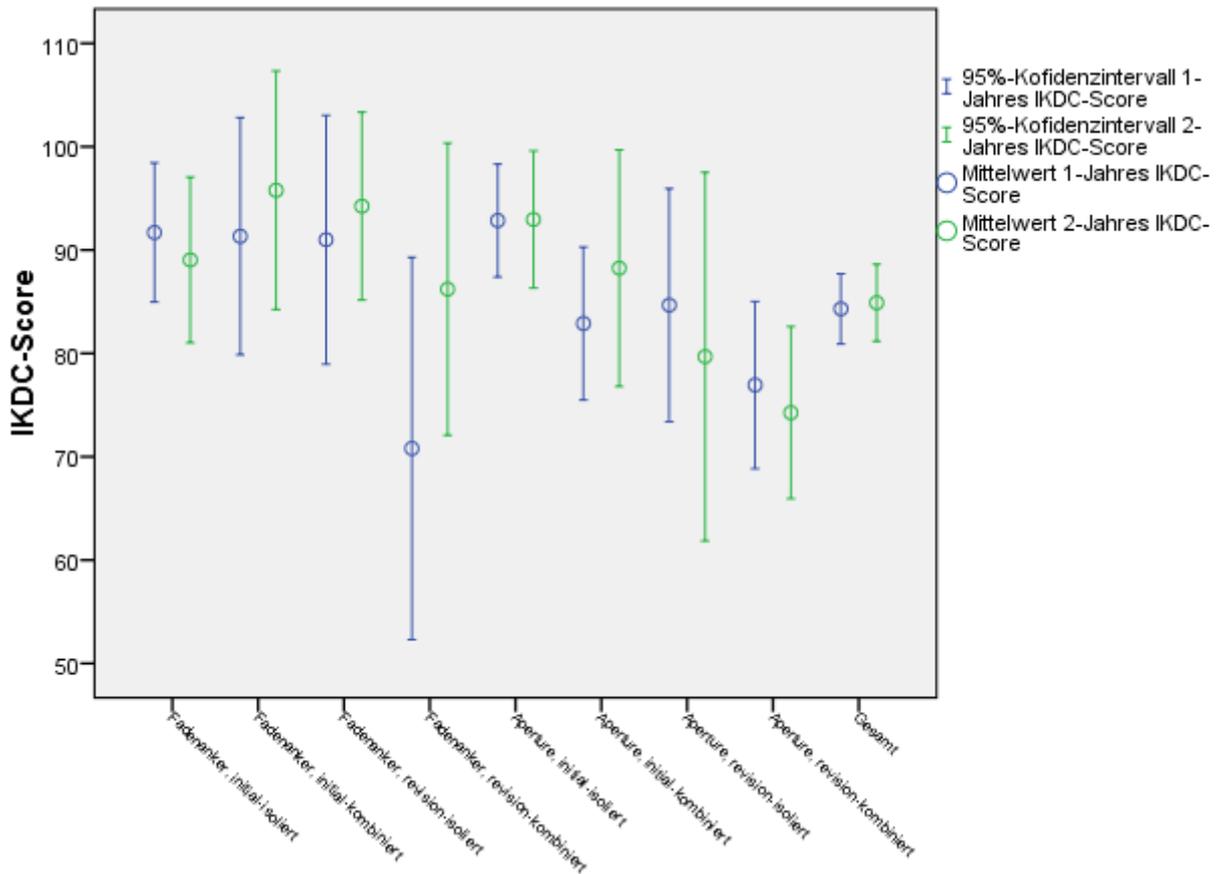


Abb. 51: Konfidenzintervalle mit entsprechendem Mittelwert des IKDC-Score zum postoperativen Zeitpunkt nach einem Jahr abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und nach zwei Jahren

C.2.6 Vergleich des Knorpelstatus zum kurz- und mittelfristigen Untersuchungszeitpunkt

Zur Evaluation einer möglichen Progression vorhandener Knorpelschäden wurde die Mediane und, wenn möglich, die entsprechenden 95%-Konfidenzinterintervalle des ICRS-Scores für die retropatellare und trochleare Gelenkfläche zum postoperativen Termin nach einem Jahr, abgeleitet aus den Vorgängerstudien (Beermann 2013, Münch 2011/2012), und nach zwei Jahren erhoben. Eine Progression würde sich in einem höheren Wert des ICRS-Score beim zweijährigen Untersuchungstermin bestätigen. Die jeweiligen Werte sind als gleichwertig anzusehen, wenn sie sich innerhalb der gegenübergestellten Konfidenzintervalle befinden oder identisch sind. Liegt eine solche Gleichwertigkeit vor, wurde keine Progression von Knorpelschäden beobachtet.

Für den retropatellaren Knorpel konnte eine Gleichwertigkeit des Knorpelstatus mit identischen Medianen zu beiden Untersuchungszeitpunkten erhoben werden. (**Abb. 52**)

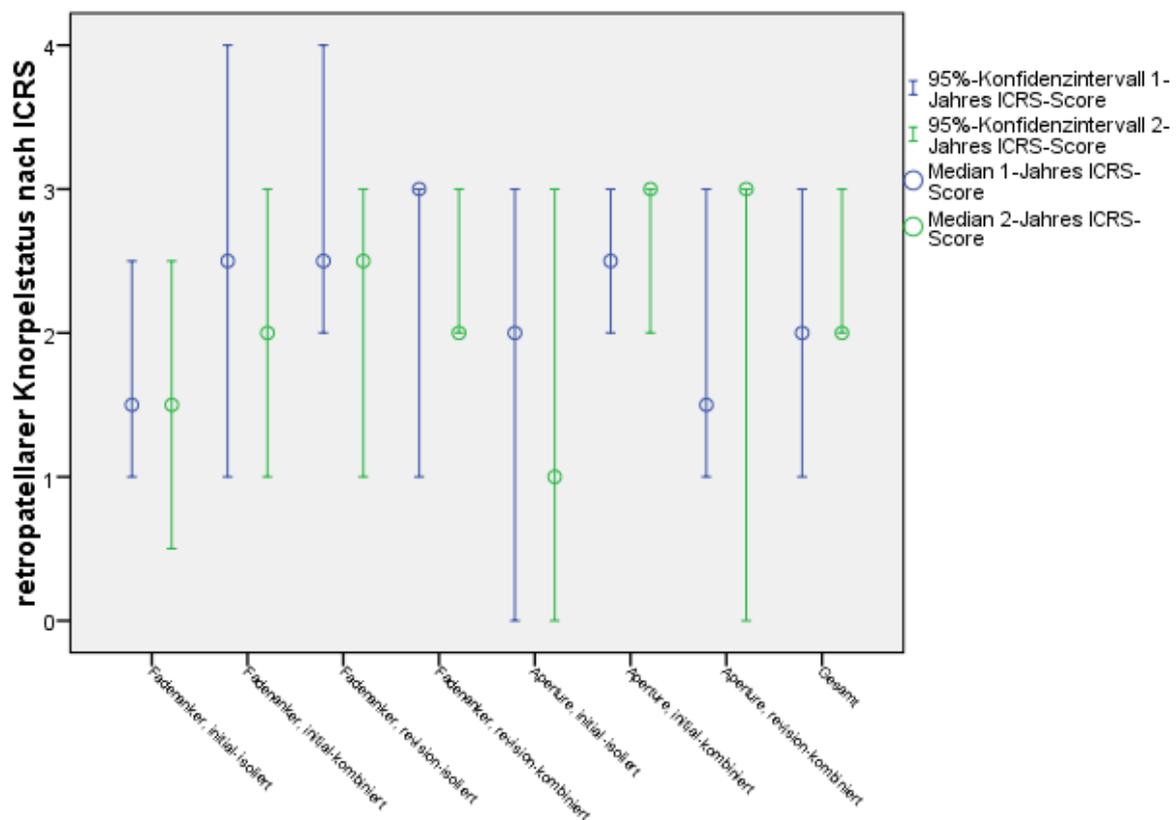


Abb. 52: Konfidenzintervalle mit entsprechendem Median des retropatellaren Knorpelstatus nach ICRS zum postoperativen Zeitpunkt nach einem Jahr abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und nach zwei Jahren (N= 48/70)

C. Ergebnisse

Aus der evaluierten Bildgebung ließ sich für den trochlearen Knorpel ein identischer Median zu beiden Untersuchungszeitpunkten bestimmen. Ein 95%-Konfidenzintervall ließ sich zu keinem der Untersuchungszeitpunkte für die entsprechenden Mediane des Gesamtkollektivs errechnen. (**Abb. 53**)

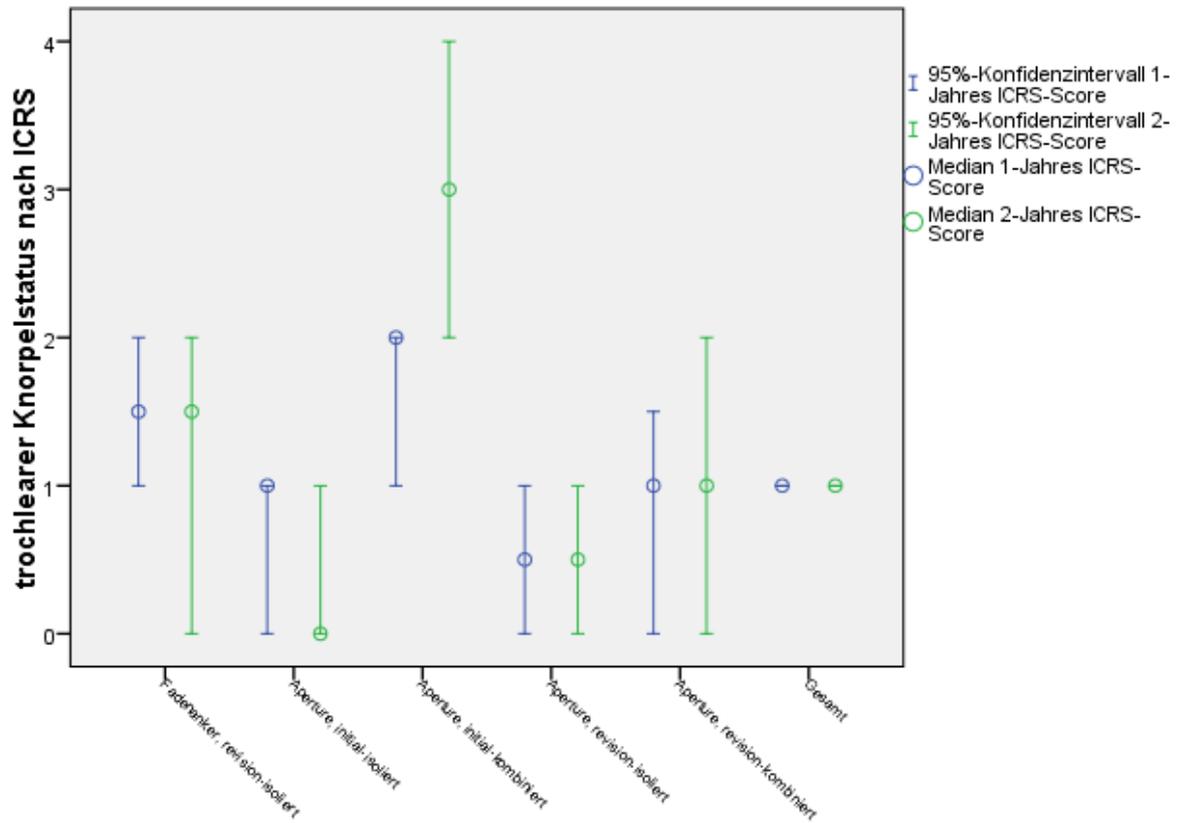


Abb. 53: Konfidenzintervalle mit entsprechendem Median des trochlearen Knorpelstatus nach ICRS zum postoperativen Zeitpunkt nach einem Jahr abgeleitet aus (Beermann 2013, Münch 2011/2012) und nach zwei Jahren (N= 48/70)

D Diskussion

Bevor die gewonnenen Ergebnisse dieser Studie diskutiert werden, soll zunächst auf das beobachtete Patientengut und die angewandte Methodik eingegangen sowie die Eigenschaften der Studie mit relevanter Literatur erläutert werden. Des Weiteren werden zuvor nicht regelhafte Verläufe, die zum Ausschluss aus der Studie führten, und registrierte Reluxationen anhand vergleichbarer Veröffentlichungen dargestellt.

D.1 Verwendetes Material und gewählte Methodik

Die durchgeführte Studie beobachtete 68 Patienten in 70 Fällen prospektiv über einen mittleren Zeitraum von 27 Monaten (SD: $\pm 4,7$ Monate). Durch einen Operateur wurden die Studienteilnehmer mittels zwei verschiedener Rekonstruktionstechniken des MPFL und, gemäß grundlegenden Pathologien, weiterführender Operationsverfahren patellofemoral stabilisiert.

Im Gegensatz zu rein retrospektiven Studien werden prospektiv gewonnenen Daten eine höhere Qualität mit besserer Aussagekraft zugeschrieben (Audige et al. 2011). Zur Erhöhung der Aussagekraft klinischer Ergebnisse ist prinzipiell eine Randomisierung anwendbar (Audige et al. 2011). Eine mögliche Zufallsverteilung in dieser Studie auf verschiedene Operationsverfahren und deren variable Kombinationen ist ethisch nicht vertretbar, da bei multifaktorieller Genese der patellofemorale Instabilität grundlegende Pathologien operativ adressiert werden müssen. Jedoch wäre prinzipiell eine zufällige Verteilung auf die jeweilige Rekonstruktionstechnik des Ligamentum patellofemorale möglich. Dies wurde allerdings aufgrund eines Generationswechsels der Operationstechnik in dieser Beobachtungsstudie nicht vorgenommen.

Das beobachtete Patientenkollektiv umfasst 68 Teilnehmer in 70 Fällen und stellt somit im Vergleich zur Literatur ein Kollektiv mittlerer Größe dar. Dort sind Kohorten-Umfänge von 12 - 32 bei Studien mit geringerem Umfang (Kita et al. 2014, Koeter et al. 2007, Nelitz et al. 2013, Nomura et al. 2006, Nomura et al. 2007, Panagopoulos et al. 2008, Petri et al. 2013, Ronga et al. 2009), Patientenzahlen von 41 - 80 bei Veröffentlichungen mit einem mittleren Umfang (Arendt et al. 2011, Bitar et al. 2012, Christiansen et al. 2008a, Christiansen et al. 2008b, Fucntese et al. 2011, Palmu et al. 2008, Schuttler et al. 2014, Sillanpaa et al. 2008a, Sillanpaa et al. 2008b, Sillanpaa et al. 2011, Tecklenburg et al. 2010) und Fallzahlen von 100, 211, 213 bis 240 in Studien mit großen Umfang (Enderlein et al. 2014, Howells et al. 2012, Maenpaa et al. 1995, Mäenpää et al. 1997) zu finden.

D Diskussion

Das durchschnittliche Patientenalter zum Operationszeitpunkt in dem hier vorgestellten Kollektiv von 22,0 Jahren (SD: $\pm 7,1$ Jahre) entspricht dem in der Literatur bei Studien zur patellofemorale Instabilität zu beobachtenden Alter (Matic et al. 2014). Es werden ebenfalls Kollektive in der Literatur mit einem durchschnittlichen Alter unter 20 (Fucentese et al. 2011, Nelitz et al. 2013, Palmu et al. 2008), mit minimal 13 Jahren (Palmu et al. 2008) und über 25 (Howells et al. 2012, Panagopoulos et al. 2008, Ronga et al. 2009) mit maximal 32,5 Jahren (Ronga et al. 2009) beschrieben. Bei vielen wissenschaftlichen Veröffentlichungen bewegt sich das mittlere Operationsalter zwischen 20 und 25 Jahren (Bitar et al. 2012, Christiansen et al. 2008a, Christiansen et al. 2008b, Enderlein et al. 2014, Kita et al. 2014, Koeter et al. 2007, Maenpaa et al. 1995, Mäenpää et al. 1997, Nomura et al. 2006, Nomura et al. 2007, Petri et al. 2013, Schuttler et al. 2014, Sillanpaa et al. 2008a, Sillanpaa et al. 2008b, Sillanpaa et al. 2011, Tecklenburg et al. 2010).

Die gewählten Ein- und Ausschlusskriterien erhöhen die Vergleichbarkeit, bei Heterogenität des Patientenguts mit patellofemorale Instabilität. Durch Selektion anhand der vorgestellten Kriterien ist jedoch ein Bias möglich.

Die Eingriffe an den Studienteilnehmern wurden durch einen Operateur durchgeführt. Durch ein erprobtes operatives Vorgehen mit einem standardisierten Nachbehandlungsschema kann ein Bias durch eine operations-technische Varianz reduziert werden. Somit wurde eine Homogenisierung des Patientenguts bei besserer Vergleichbarkeit angestrebt.

Davon unbeeinflusst bleibt allerdings die Tatsache, dass sich Teilnehmer wiederholt einem Eingriff zur Stabilisierung des patellofemorale Gelenkes unterzogen. Bei Betrachtung der Kohorten liegt folglich eine eingeschränkte Vergleichbarkeit aufgrund der Voroperationen und gewählten Operationsverfahren mit den damit verbundenen postoperativen Schemata vor. Dies kann zu einer Verzerrung der erhobenen postoperativen Ergebnisse führen. Für die Heterogenität des Patientenguts dieser Studie lassen sich auch in der Literatur Studien mit ähnlicher heterogener Zusammensetzung finden (Arendt et al. 2011, Christiansen et al. 2008a, Dejour et al. 2012, Enderlein et al. 2014, Fucentese et al. 2011).

Auch der Umstand, dass Kombinationsverfahren angewandt wurden, erschwert den Datenvergleich. Dies zeigt jedoch auch eine flexible Patienten- respektive Pathologie-gerechte operative Therapiemöglichkeit.

Die Daten wurden durch einen erfahrenen Untersucher erhoben. Dies ermöglicht eine möglichst umfassende und genaue Evaluation des patellofemorale Gelenkstatus. Jedoch fand

D Diskussion

keine Verblindung des Untersuchenden statt und das gewählte operative Verfahren, das damit verbundene postoperative Nachbehandlungsschema und die Patientenhistorie waren dem Untersucher stets bekannt. Um einem hieraus möglicherweise resultierendem Bias vorzubeugen, fand die Verwendung mehrerer klinischer Evaluationsverfahren statt.

Mit der Einteilung in möglichst homogene Untergruppen wurde der Versuch unternommen, eine bessere Vergleichbarkeit zu schaffen. Nach Selektion der operativen Versorgung zum einen nach Initial- und Revisionseingriffe, zum anderen in isolierte und Kombinationsverfahren gelang dies auf Kosten des Teilnehmer-Umfangs in den einzelnen Gruppen. Dadurch wurde die Aussagekraft der statistischen Auswertung reduziert. Zur Analyse der Ergebnisse lassen sich daher weder für die gewählten Kohorten noch deren Untergruppen eine Normalverteilung beobachten. Insbesondere bei Betrachtung und Vergleich der Untergruppen kann eine statistische Auswertung aufgrund der Patientenzahl, die in der kleinsten Gruppe eine Fallzahl von drei hat, nur reduziert erfolgen und die Interpretation der Ergebnisse muss mit Bedacht geführt werden.

Während des Nachuntersuchungszeitraums von 27,0 Monaten (SD: $\pm 4,7$ Monate) gelang es insgesamt nicht, 17,8% der Teilnehmer final zu evaluieren. Im genauen waren dies 24,4% bzw. 12,3% der „Fadenanker“- und „Aperture“-Kohorte. Vergleichbare klinische Studien geben „lost-to-follow“-Raten zwischen 0% - 33,8% bei einer Beobachtungsdauer zwischen 16 Monaten und 14 Jahren an (Arendt et al. 2011, Bitar et al. 2012, Christiansen et al. 2008b, Deie et al. 2005, Enderlein et al. 2014, Fucentese et al. 2011, Howells et al. 2012, Koeter et al. 2007, Maenpaa et al. 1995, Nelitz et al. 2013, Palmu et al. 2008, Petri et al. 2013, Ronga et al. 2009, Schuttler et al. 2014, Sillanpaa et al. 2008a, Sillanpaa et al. 2011, Tecklenburg et al. 2010). Weitere Studien, die keine Angabe zu einer „lost-to-follow“-Rate leisten, geben Nachuntersuchungszeiträume von 13 Monaten bis 13 Jahren an (Mäenpää et al. 1997, Nomura et al. 2006, Nomura et al. 2007, Panagopoulos et al. 2008, Sillanpaa et al. 2008b). Aufgrund der fehlenden endgültigen Datenerhebung von stellenweise bis zu einem Viertel der ursprünglichen Teilnehmer muss ein unwillkürlicher Bias durch fehlende Werte und mangelnden „follow-up“ kritisch beachtet werden. Nicht in allen Fällen konnten eine vollständige Erhebung des radiologischen Status und eine klinische Untersuchung erfolgen. Durch die fehlenden Werte muss ein Bias angenommen werden und Vergleiche zwischen Kohorten bzw. Untergruppen sind eingeschränkt zu bewerten.

D.2 Getroffener Patientenausschluss

Postoperativ entwickelte eine Patientin, die im Alter von 35 Jahren mittels MPFL-Rekonstruktion in Fadenanker-Technik, einem lateralen Kulissenverschluss und einer arthroskopischen Arthrolyse kombiniert versorgt wurde, eine Patella baja bei Arthrofibrose, sowie im weiteren Verlauf ein komplexes regionales Schmerzsyndrom. Bei dieser Patientin bestand der Zustand nach mehreren Eingriffen, wie einer Spaltung des lateralen Retinakulums und einer arthroskopischen Knorpelglättung.

In dieser Kohorte wurde ein weiterer Fall eines komplexen regionalen Schmerzsyndroms bei einer Teilnehmerin beobachtet, die im Alter von 43 Jahren durch eine MPFL-Rekonstruktion und einen Verschluss des lateralen Retinakulums kombiniert operativ therapiert wurde. Auch in diesem Fall handelte es sich um einen Revisionseingriff, da die Patientin durch eine arthroskopische Knorpelglättung sowie einen Tuberositasversatz und Spaltung des lateralen Retinakulums mit Distalisierung des VMO voroperiert wurde.

Eine Teilnehmerin zog sich aufgrund eines direkten Sturzes auf die Patella eine Fraktur ca. 15 Monate postoperativ zu, die einer offenen Reposition und osteosynthetischer Versorgung in einem heimatnahen Krankenhaus bedurfte. Dabei handelte es sich um eine Rekonstruktion des MPFL in „Fadenanker“-Technik im Alter von 24 Jahren bei Zustand nach Raffung des VMO mit Spaltung des lateralen Retinakulums.

In einem Übersichtsartikel zu Komplikationen bei Rekonstruktion des MPFL ist in der ausgewählten Literatur eine Komplikationsrate von 26% ermittelt worden (Shah et al. 2012). Eine solch hohe Rate konnte in dieser Studie nicht bezeugt werden.

Auffällig ist das relativ hohe Operationsalter von 35 und 43 Jahren bei den Studienteilnehmern mit komplexem regionalem Schmerzsyndrom im Vergleich zum Durchschnittsalter. Des Weiteren ist in beiden Fällen zuvor erfolglos eine Stabilisierung der Patella durchgeführt worden. Ein möglicherweise bereits bestehender patellofemorales Gelenkverschleiß könnte die Entwicklung der Beschwerdesymptomatik beeinflusst haben. In Fällen mit persistenten Schmerzen und Rezidiv-Instabilitäten ist eine mögliche Ursache eine Fehlplatzierung des Transplantates (Bollier et al. 2011). Bei zu starkem Transplantatzug kann es zu einer medialen Instabilität der Patella oder einer medial betonten patellofemorales Arthrose kommen (Bollier et al. 2011). Sowohl eine Fehlplatzierung des Transplantates wie auch ein zu hoher Transplantatzug durch ein zu kurzes Transplantat führen zu erhöhten Druckverhältnissen im medialen patellofemorales Kompartiment (Elias et al. 2006). Eine

D Diskussion

Verschlechterung des Knorpelstatus konnte in der zur Verfügung stehenden Bildgebung bei Patienten, die mittels „Fadenanker“- und „Aperture“-Technik versorgt wurden nicht beobachtet werden. Aufgrund der multifaktoriellen Genese eines komplexen regionalen Schmerzsyndroms ist eine sichere Herleitung der Beschwerdeursache in den beiden Fällen nicht möglich. Jedoch sollte bei Operationen am patellofemorale Gelenk, insbesondere in Bezug auf o.g. Krankheitsbild, bei Revisionseingriffen das Patientenalter und der Gelenkstatus kritisch begutachtet werden und bei fortgeschrittenem Verschleiß eine Kombination mit einem Oberflächenersatz in Erwägung gezogen werden.

Eine Fraktur der Patella nach Rekonstruktion des MPFL wurde insbesondere bei transpatellaren oder bei ventral ausgeleiteten Bohrungen, vereinzelt auch nach Verwendung von Fadenanker-Systemen, beobachtet (Dickschas et al. 2012, Parikh et al. 2011, Shah et al. 2012). Dabei werden Zeiträume von drei Monaten bis vier Jahre nach MPFL-Rekonstruktion angegeben (Dickschas et al. 2012, Parikh et al. 2011). Festzustellen ist jedoch die Möglichkeit einer Patellafraktur insbesondere durch technische Fehler auch bei dieser Operationstechnik (Christiansen et al. 2008a).

In der „Aperture“-Kohorte zog sich ein Patient aufgrund eines Sturzes von einem Gerüst ein schweres Polytrauma zu, das einer intensiven stationären Rehabilitation bedurfte. Der Teilnehmer wurde im Alter von 38,9 Jahren nach mehrfachen Voroperationen mit Spaltung des lateralen Retinakulums und Korrektur der Vernarbungen mit einer Rekonstruktion des MPFL revidiert.

Zum Nachuntersuchungszeitpunkt 24 Monate nach dem Eingriff spiegelten diese postoperativen Verläufe eine nicht regelhafte Rehabilitation wider und führten zum Ausschluss der Teilnehmer gemäß den gewählten Kriterien. Jedoch muss dies bei Betrachtung der Ergebnisse und insbesondere bei Vergleich der Kohorten und Untergruppen untereinander als limitierende Faktoren angesehen werden, da diese Verläufe mit schlechteren klinischen Ergebnissen verbunden sind. Ein Einbezug o.g. Patienten und deren Daten hätte allerdings zu einer nicht verfahrensbezogenen Verzerrung der Ergebnisse geführt.

D.3 Beobachtete Relaxationsrate

Während des Nachuntersuchungszeitraumes beschrieben zwei Studienteilnehmer eine atraumatische Relaxation, die sich in einem Fall nur fremd reponieren ließ und im anderen Fall selbstständig reponierte. Bei beiden wurde mittels eines kombinierten Operationsverfahrens eine Stabilisierung des patellofemorales Gelenks durch Rekonstruktion des MPFL in der „Aperture“-Technik und Verschluss des lateralen Retinakulums durchgeführt. Es bestand der Zustand nach medialer Raffung und Spaltung des lateralen Retinakulums, sowie in einem Fall nach retropatellarer Mikrofrakturierung. Die Relaxationen traten drei und ca. 16 Monate nach den kombinierten Eingriffen auf. Einer klinischen und radiologischen Evaluation standen beide Studienteilnehmerinnen nicht zur Verfügung. Die Relaxationsrate beträgt im Gesamtkollektiv 2,9%, in der „Aperture“-Kohorte 4,7% und in der „Fadenanker“-Kohorte 0%.

Bei vergleichbaren Studien mit Rekonstruktion des MPFL in verschiedenen Techniken liegt die Relaxationsrate bei 0% - 10,7% in Beobachtungszeiträumen von 16 Monaten bis 3,1 Jahre postoperativ (Christiansen et al. 2008a, Howells et al. 2012, Kita et al. 2014, Ronga et al. 2009). (Tabelle 28)

Tabelle 28: Studien zur MPFL-Rekonstruktion (N= Fallzahl)

Relaxationsrate	N	Follow-up	femorale Fixation	patellare Fixation	Transplantat	Autor
3 Subluxationen	44	22 Monate	„Bio“-Interferenz-Schraube	2 transpatellare Bohrungen	Gracilis-Sehne	(Christiansen et al. 2008a)
3 Relaxationen	28	3,1 Jahre	„Bio“-Interferenz-Schraube	2 transpatellare Bohrungen	Gracilis-/Semitendinosus-Sehne	(Ronga et al. 2009)
0%	211	16 Monate	„Metall“-Interferenz-Schraube	„Endobutton“ [®] mit 1 transpatellaren Bohrung	Semitendinosus-Sehne	(Howells et al. 2012)
1,2%	32	2 Jahre	„Endobutton“ [®] an lateraler Femurkortikalis	„Endobutton“ [®] mit 2 Sacklöchern der medialen Patella-Facette	Semitendinosus-Sehne	(Kita et al. 2014)

D Diskussion

Auch die Verwendung von gestielten Sehnentransplantaten fand in der MPFL-Rekonstruktion ihre Anwendung (Bitar et al. 2012, Panagopoulos et al. 2008, Sillanpaa et al. 2008a). Dabei konnte in den klinischen Verlaufsstudien eine niedrige Relaxationsrate beobachtet werden (Bitar et al. 2012, Panagopoulos et al. 2008, Sillanpaa et al. 2008a). (**Tabelle 29**)

Tabelle 29: Studien zur MPFL-Rekonstruktion mit gestieltem Sehnentransplantat (N= Fallzahl)

Relaxationsrate	N	Follow-up	femorale Fixation	patellare Fixation	Transplantat	Autor
0%	21	38 Monate	„Bio“-Interferenz-Schraube	gestielte Patella-Sehne	gestielte Patella-Sehne	(Bitar et al. 2012)
35%	20	2 Jahre	konservativ	konservativ	konservativ	
0%	25	13 Monate	gestielte Semitendinosus-Sehne	„Bio“-Tenodese-Schraube	gestielte Semitendinosus-Sehne	(Panagopoulos et al. 2008)
6,7%	18	8 Jahre	gestielte Adduktormagnus-Sehne	Periostnaht medialer Patella-Facette	gestielte Adduktormagnus-Sehne	(Sillanpaa et al. 2008a)

Während einer klinischen Studie wurden in 25% der untersuchten Fälle eine Rekonstruktion des MPFL mit einer Spaltung des lateralen Retinakulums kombiniert (Nomura et al. 2006). In einer weiteren Veröffentlichung, in der ein künstliches Transplantat aus Polyester zur MPFL-Rekonstruktion verwendet wurde, wurde in 58% ein „lateral release“ durchgeführt (Nomura et al. 2007). Zwar unterscheiden sich gewählte Transplantatart und die verwendete Fixationstechnik sowie der beobachtete Nachuntersuchungszeitraum, jedoch zeigt sich bei zunehmender Anwendung eines „lateral release“ eine vermehrte Relaxationsrate (**Tabelle 30**) (Nomura et al. 2006, Nomura et al. 2007). Auch diese Beobachtungen sprechen gegen die Durchführung einer lateralen Retinakulum-Spaltung, selbst bei kombinierter Stabilisierung durch eine Rekonstruktion des MPFL.

Tabelle 30: Studien zur MPFL-Rekonstruktion mit „lateral release“

Relaxationsrate	N	Follow-up	femorale Fixation	patellare Fixation	Transplantat	Autor
0%	12	4,2 Jahre	Schraubenfixation mit Unterlegscheibe	1 transpatellare Bohrung	Semitendinosus-Sehne	(Nomura et al. 2006)
25% zusätzlicher „lateral release“						
8,8%	24	11,9 Jahre	Klammerfixation	1 transpatellare Bohrung	Polyester-Transplantat	(Nomura et al. 2007)
58% zusätzlicher „lateral release“						

D Diskussion

Aus einer Studie, in der 23% von 240 Fällen mit einer Kombination von MPFL-Rekonstruktion und Tuberositas-Versatz versorgt wurden, wird von einer Reluxationsrate von 4,6% nach 41 Monaten berichtet (Enderlein et al. 2014). Führt man hingegen einen Tuberositasversatz nur in Kombination mit einem „lateral release“ durch, wurden im Verlauf einer Publikation nach 38 Monaten Rezidivluxationen bei 15,2% der Fälle ermittelt (Tecklenburg et al. 2010). Zwar wurde nur bei einem Viertel eine Kombination von Tuberositas-Versatz und MPFL-Rekonstruktion durchgeführt, jedoch sprechen die Beobachtungen aus beiden Studien aufgrund der höheren Reluxationsrate gegen eine Kombination von Tuberositas-Versatz und „lateral release“.

Nach Durchführung einer kombinierten Trochleoplastik mit Rekonstruktion des MPFL, wurde im postoperativen Verlauf nach 2,5 Jahren keine Reluxation beobachtet (Nelitz et al. 2013). In einer klinischen Studie kam es durch fehlenden Verschluss des zuvor eröffneten lateralen Retinakulums bei einer Trochleoplastik zu einem indirekten „lateral release“ (Fucentese et al. 2011). In 44 Fällen fand insgesamt eine Reluxation statt und 25% hiervon berichteten über eine subjektive Instabilität im Alltag bei einem Nachuntersuchungszeitraum von mind. 24 Monaten (Fucentese et al. 2011). Eine weitere Veröffentlichung, in der eine Kombination von Trochleoplastik und „lateral release“ in 19 Fällen durchgeführt wurde, ermittelte eine Subluxationsrate von 10,5% nach 51 Monaten (Koeter et al. 2007). Eine alleinige Schaffung einer anatomischen Gleitrinne durch eine Trochleoplastik führt zwar zur Reduktion der Patellahöhe und somit Normalisierung der patellofemorale Biomechanik in cranio-caudaler Orientierung mit regelhaftem Eingleiten der Patella strecknah (Fucentese et al. 2011). Jedoch zeigte sich eine Persistenz von subjektiver Instabilität während Alltagsaktivitäten und eine deutlich höhere Subluxationsrate nach kombiniertem „lateral release“, sodass gemäß den klinischen Resultaten eine kombinierte Trochleoplastik mit MPFL-Rekonstruktion zu bevorzugen ist (Fucentese et al. 2011, Koeter et al. 2007, Nelitz et al. 2013).

Nach spezifischem Reparaturversuch durch eine Refixation des MPFL mittels Fadenankern, wurde eine Reluxationsrate von 16,7% in 42 Fällen bzw. 46% in 55 Fällen nach zwei respektive nach 3,2 Jahren geschildert (Arendt et al. 2011, Christiansen et al. 2008b). Bei Kombination der Refixation des MPFL durch Nahtmaterial mit zusätzlicher Spaltung des lateralen Retinakulums, wurde in einer randomisierten klinischen Studie eine Luxationsrate von 63% nach 14 Jahren bei 64 Fällen beobachtet (Palmu et al. 2008). In einer Multicenter-Studie, in der ebenfalls eine Randomisierung von final 20 Teilnehmern auf ein konservatives und operatives Prozedere, durch eine Refixation des MPFL mit optionalen „lateral release“,

D Diskussion

durchgeführt wurde, zeigte sich nach 24 Monaten eine Reluxationsrate von 16,7% trotz Refixation (Petri et al. 2013). Nach einer MPFL-Refixation zeigen sich höhere Reluxationsraten als nach einer Rekonstruktion des MPFL, insbesondere nach zusätzlicher Spaltung des lateralen Retinakulums (Arendt et al. 2011, Christiansen et al. 2008b, Palmu et al. 2008, Petri et al. 2013). Aus diesen Ergebnissen folgernd, ist die Indikation für eine MPFL-Refixation sehr begrenzt zu stellen und bei geschlossenen distalen femoralen Wachstumsfugen sollte eine Rekonstruktion des MPFL angestrebt werden.

Bei unspezifischer Raffung des medialen Retinakulums und „lateral release“ erlitten 17,4% bzw. 31% der Studienteilnehmer Rezidivluxationen nach 4,1 respektive 7,5 Jahren (Maenpaa et al. 1995, Sillanpaa et al. 2008b). Die in diesen Veröffentlichungen dargestellten Reluxationsraten sind höher als bei vergleichbaren Studien zur MPFL-Rekonstruktion und zeigen diesbezüglich in der Gegenüberstellung eine Unterlegenheit dieser Operationstechnik (Maenpaa et al. 1995, Sillanpaa et al. 2008b).

Bei extraanatomischen Eingriffen wie der Operation nach Insall, der Operation nach Ali-Krogius und Roux-Goldthwait ermittelte man Reluxationsraten von 21%, 13% und 14% nach vier bis zwölf Jahren (Schuttler et al. 2014, Sillanpaa et al. 2008a, Sillanpaa et al. 2011). Auch diese Operationstechniken zeigen im Vergleich zur Rekonstruktion des MPFL eine höhere Reluxationsrate.

Nach isolierter Spaltung des lateralen Retinakulums wurde in einer klinischen Studie in 9,7% nach 3,2 Jahren und in einem Review-Artikel bei bis zu 35% der Fälle eine Reluxation beobachtet (Lattermann et al. 2007, Tecklenburg et al. 2010). In einer weiteren Übersichtsarbeit zeigte ein alleiniger „lateral release“ im Vergleich zu einem kombinierten proximalen Realignment mit lateraler Retinakulum-Spaltung eine deutlich höhere Komplikationsrate in 56 von 247 Fällen (Ricchetti et al. 2007). Aber auch die Kombination von einer Rekonstruktion des MPFL und einer Spaltung des lateralen Retinakulums präsentiert im Vergleich zu Studien mit isolierter Rekonstruktion eine höhere Reluxationsrate (Bitar et al. 2012, Christiansen et al. 2008a, Howells et al. 2012, Kita et al. 2014, Nomura et al. 2006, Nomura et al. 2007). Diese klinischen Beobachtungen konnten auch biomechanisch verifiziert werden. Nach Spaltung des lateralen Retinakulums ist eine geringere Kraft zur Luxation notwendig, somit hat dieser Eingriff einen destabilisierenden Effekt auf die Patella (Bedi et al. 2010, Christoforakis et al. 2006). Die Spaltung des lateralen Retinakulums sollte daher nicht bei vorliegender patellofemorale Instabilität durchgeführt werden (Colvin et al. 2008, Kolowich et al. 1990).

D Diskussion

Nach konservativer Therapie werden erneute Luxationen in 20 - 71% der Fälle beobachtet (Bitar et al. 2012, Christiansen et al. 2008b, Mäenpää et al. 1997, Palmu et al. 2008, Petri et al. 2013, Sillanpaa et al. 2008b). Aufgrund der beobachteten hohen Reluxationsrate und den damit verbundenen Folgeschäden bei repetitiven Luxationsereignissen ist eine rein konservative Therapie bei habituellen Patellaluxationen abzulehnen.

Aus einem Vergleich verschiedener proximaler „Realignment“-Techniken in der Literatur ergab sich eine Reluxationsrate für die Rekonstruktion des MPFL von 6,6%, für eine Refixation von 26,9% und für die Raffung des medialen Retinakulums von 16,5% (Matic et al. 2014).

Die in dieser Studie beobachteten Reluxationsereignisse in den beschriebenen Operationstechniken zeigen im Vergleich zu o.g. Übersichtsarbeit (Matic et al. 2014) eine niedrigere Rate. Insbesondere in der „Fadenanker“-Kohorte konnte keine erneute Luxation beobachtet werden. Auch andere Rekonstruktionstechniken des MPFL erzielten vergleichbare Reluxationsraten (Bitar et al. 2012, Christiansen et al. 2008a, Howells et al. 2012, Kita et al. 2014, Nomura et al. 2006, Ronga et al. 2009, Sillanpaa et al. 2008a). Auf die Überlegenheit einer bestimmten Operationstechnik zur MPFL-Rekonstruktion kann aus der aktuellen Literatur nicht geschlossen werden. Die in dieser Studie zur Anwendung gekommenen Rekonstruktionen durch „Fadenanker“- und „Aperture“-Verfahren beachten die funktionelle Anatomie des MPFL bzgl. beider Bündel und verletzen dabei nicht mehrfach die Kortikalis der Patella oder führen zu einem höheren Substanzdefekt (Kang et al. 2010). Leider konnte auch in dieser Studie -wie in anderen Veröffentlichungen- eine Patellafraktur, bei zwar adäquaten Trauma, nach Verwendung von Fadenankern beobachtet werden (Dickschas et al. 2012, Parikh et al. 2011).

Zusammenfassend zeigen relevante klinische und biomechanische Studien bessere Resultate bzgl. eines Rezidiv-Ereignisses für die Rekonstruktion des MPFL in isolierter oder auch kombinierter Form im Vergleich zu einer MPFL-Refixation, medialen Raffung, lateralen Retinakulum-Spaltung und extraanatomischen Verfahren.

D.4 Subjektives und funktionelles klinisches Ergebnis

Zum Evaluationszeitpunkt nach 27 Monaten (SD: $\pm 4,7$ Monate) berichten 57,1% der Studienteilnehmer von einer Beschwerdefreiheit im Alltag und 94,3% verwendeten keine Schmerzmittel im Alltag. 88,4 % der Teilnehmer äußerten eine Zufriedenheit mit dem therapeutischen Verlauf und 88,6% würden sich dem operativen Prozedere erneut unterziehen. Eine subjektive Stabilität mit vollkommener Absenz eines Unsicherheitsgefühls wird von 81,2% der Studienteilnehmer angegeben. Bei vergleichbarem Vorgehen findet sich eine Zufriedenheit mit dem Operationsergebnis von 93,4% nach 16 Monaten (Howells et al. 2012). Im fiktiven Szenario würden sich 95,9% der Patienten der gleichen Operation erneut unterziehen (Howells et al. 2012). In diesem Kollektiv verneinen 87,2% ein Wiederauftreten von Symptomen (Howells et al. 2012). Im klinischen Verlauf 22 Monate nach einer Rekonstruktion des MPFL mit transpatellarer Fixationstechnik, berichten 64% der Fälle von einer Beschwerdefreiheit im Alltag (Christiansen et al. 2008a). Nach Trochleoplastik in Kombination mit einem indirekten „lateral release“ wird von 68% der Studienteilnehmer eine Schmerzfreiheit in Ruhe und 63% unter Belastung nach 51 Monaten berichtet (Koeter et al. 2007). Es zeigen sich bei Gegenüberstellung der aktuellen Literatur nach Eingriffen zur patellofemorale Stabilisierung vergleichbare subjektive Einschätzungen zum therapeutischen Verlauf und Ergebnis.

Insgesamt zeigte sich für das Patientenkollektiv ein Median von 6,0 des Tegner-Score (**Tabelle 11**). In der aktuellen Literatur lassen sich Werte von 4,0 bis 7,7 nach 13 Monaten bis acht Jahre postoperativ für den Tegner-Score bei Patienten nach Rekonstruktion des MPFL in verschiedenen Techniken finden (Christiansen et al. 2008a, Howells et al. 2012, Kita et al. 2014, Panagopoulos et al. 2008, Sillanpaa et al. 2008a). Nach kombinierter operativer Therapie mittels Trochleoplastik und MPFL-Rekonstruktion wurde ein Tegner-Score von 5,0 nach 2,5 Jahren beobachtet (Nelitz et al. 2013). Auch nach operativen Prozeduren wie einer Refixation des MPFL im Verbund mit einem „lateral release“, einer Raffung des medialen Retinakulums bei Spaltung des Lateralen und nach Operation nach Goldthwait-Roux ist ein Wert von 5 für den Tegner-Score nach fünf bis 14 Jahren beschrieben (Palmu et al. 2008, Sillanpaa et al. 2008a, Sillanpaa et al. 2008b, Sillanpaa et al. 2011). Eine operative Versorgung nach Ali-Krogius ermöglichte zwölf Jahre postoperativ eine sportliche Betätigung auf dem Niveau eines Tegner-Score von 4 (Sillanpaa et al. 2011). Ebenso konnte sieben und 14 Jahre nach konservativer Therapie ein Tegner-Score in der Höhe von 5 erreicht werden (Palmu et al. 2008, Sillanpaa et al. 2008b). Damit zeigt sich in dieser Studie, 27 Monate nach der Operation, bzgl. des Tegner-Score ein vergleichbares Ergebnis wie in entsprechenden

Veröffentlichungen zur Rekonstruktion des MPFL. Aufgrund der Reichweite der Resultate des Tegner-Score und des tendenziell längeren Nachuntersuchungszeitraums bei distalen „Realignment“-Verfahren ist keine Überlegenheit der MPFL-Rekonstruktion gegenüber diesen in der Literatur zu beobachten.

Bei Vergleich der Ergebnisse von „Aperture“- und „Fadenanker“-Kohorte zeigt sich bei Gegenüberstellung der gesamten Kollektive ein signifikant besseres Ergebnis der „Fadenanker“-Kohorte bzgl. des Tegner-Scores von $p = 0,019$ bei einem Median von 7,0 (**Tabelle 11**). Kritisch muss hier jedoch auf einen Vergleich von zwei nicht gleichmäßig verteilten heterogenen Patientengütern, mit höherer Anzahl von Revisionseingriffen in der „Aperture“-Kohorte, verwiesen werden.

Es zeigten sich bei Darstellung der Resultate der einzelnen Untergruppen für den Tegner-Score in der initial-isolierten, initial kombinierten und revidiert isolierten Untergruppe bessere Ergebnisse für die „Fadenanker“-Technik (**Tabelle 12; Abb. 25**). Jedoch konnte nur bei Gegenüberstellung der initial kombinierten Patienten ein signifikant besseres Ergebnis ($p = 0,005$) beobachtet werden. Bei Vergleich der kombiniert revidierten Patienten stellte sich ein gleichwertiges Ergebnis des Tegner-Scores von 5,0 dar (**Tabelle 12**). Kritisch ist bei Vergleich der Untergruppen die geringe Fallzahl und damit limitierte Aussagekraft der statistischen Evaluation zu sehen, insbesondere bei Gegenüberstellung von asymmetrischen Gruppenumfängen.

Ein Mittelwert von 86,0 (SD: $\pm 14,1$) konnte anhand der erhobenen Daten für den Kujala-Score des gesamten Kollektives bestimmt werden (**Tabelle 13**). Dies entspricht einem „guten“ Resultat des Kujala-Score (Sillanpaa et al. 2008a). Weitere Rekonstruktionsverfahren des MPFL ergaben im klinischen Verlauf zwischen 13 Monaten und acht Jahren „akzeptable“ bis „exzellente“ Ergebnisse zwischen 81,69 - 96 (Bitar et al. 2012, Howells et al. 2012, Kita et al. 2014, Nomura et al. 2006, Panagopoulos et al. 2008, Ronga et al. 2009, Sillanpaa et al. 2008a).

Eine zusätzliche Spaltung des lateralen Retinakulums bei gleichzeitiger Bandrekonstruktion am medialen Retinakulum führte zu „guten“ Ergebnissen nach ca. zwölf Jahren bei einem Kujala-Score von 94,2 (Nomura et al. 2007, Sillanpaa et al. 2008a). Eine Kombination von Bandrekonstruktion des MPFL mit einer Trochleaplastik erreichte nach 2,5 Jahren einen Wert von 96 und somit ein „exzellentes“ Ergebnis (Nelitz et al. 2013, Sillanpaa et al. 2008a). Die isolierte Trochleaplastik mit indirektem „lateral release“ führte nach einem

D Diskussion

Beobachtungszeitraum von mind. zwei Jahren zu einem „guten“ Resultat von 90 (Fucentese et al. 2011, Sillanpaa et al. 2008a). Nach einer Rekonstruktion des MPFL mit intermittierender Kombination durch einen Tuberositas-Versatz wurden „akzeptable“ Ergebnisse zwischen 77 und 84 nach 41 und 22 Monaten erzielt (Christiansen et al. 2008a, Enderlein et al. 2014, Sillanpaa et al. 2008a). Patienten, die sich einem Tuberositasversatz in Kombination mit einer Spaltung des lateralen Retinakulums unterzogen, erreichten „akzeptable“ Resultate nach 38 Monaten mit einem Kujala-Score von 79,4 (Sillanpaa et al. 2008a, Tecklenburg et al. 2010). Nach Refixation des MPFL zeigten Patienten nach zwei Jahren „akzeptable“ bis „gute“ Werte von 84,6 bzw. 87,5 für den Kujala-Score (Christiansen et al. 2008b, Petri et al. 2013, Sillanpaa et al. 2008a). Bei Studienteilnehmern, die neben einer Bandrefixation zusätzlich eine Spaltung des lateralen Retinakulums erhielten, konnten „akzeptable“ Ergebnisse bei einem Wert von 83 für den Kujala-Score nach 14 Jahren dokumentiert werden (Palmu et al. 2008, Sillanpaa et al. 2008a). „Gute“ Ergebnisse für den Kujala-Score von 87 konnten 7,5 Jahre nach medialer Raffung und gleichzeitiger Spaltung des lateralen Retinakulums erhoben werden (Sillanpaa et al. 2008a, Sillanpaa et al. 2008b). Im postoperativen Verlauf fünf bis zwölf Jahre bei Zustand nach der Operation nach Goldthwait-Roux ließen sich „akzeptable“ und „gute“ Resultate mit 83 und 86 für den Kujala-Score beobachten (Sillanpaa et al. 2008a, Sillanpaa et al. 2011). Patienten, die sich in der Technik nach Ali-Krogius vor zwölf Jahren versorgen ließen erzielten „akzeptable“ Resultate bei einem Kujala-Wert von 84 (Sillanpaa et al. 2011). In einer Studie zum „lateral release“ mit und ohne Kombination eines Tuberositas-Versatzes wurden „akzeptable“ Werte mit 79,4 für den Kujala-Score mit Osteotomie der Tuberositas und „gute“ Resultate mit 85,1 nach 38 Monaten erreicht (Sillanpaa et al. 2008a, Tecklenburg et al. 2010). Nach konservativer Therapie wurden im weiteren Verlauf nach 24 Monaten bis 14 Jahren „akzeptable“ und „gute“ Ergebnisse bei Kujala-Werten von 70,8 bis 90 beobachtet (Bitar et al. 2012, Christiansen et al. 2008b, Mäenpää et al. 1997, Palmu et al. 2008, Petri et al. 2013, Sillanpaa et al. 2008a, Sillanpaa et al. 2008b).

Bei Gegenüberstellung der erhobenen Werte des Kujala-Scores mit den Ergebnissen entsprechender operativer Verfahren zur Rekonstruktion des MPFL zeigen sich vergleichbare Resultate. Die in der Literatur zu beobachtenden Ergebnisse der isolierten und kombinierten MPFL-Rekonstruktion zeigen bereits nach kurzfristiger Evaluation vielversprechende Resultate. Eine Überlegenheit dieser Operationstechnik ist daraus allerdings nicht zu begründen. Um dies zu überprüfen sind Studien mit einem längeren Beobachtungszeitraum und höheren Patientenzahlen notwendig.

D Diskussion

Bei Betrachtung der Ergebnisse von „Aperture“- und „Fadenanker“-Kohorte zeigt sich bei deren Gegenüberstellung ein signifikant besseres Ergebnis der „Fadenanker“-Kohorte von $p = 0,019$ bzgl. des Kujala-Score bei einem Mittelwert von 91,0 (SD: $\pm 10,0$) (**Tabelle 13**). Kritisch ist hier jedoch erneut ein Vergleich von zwei nicht gleichmäßig verteilten heterogenen Patientengütern, mit höherer Anzahl von Revisionseingriffen in der „Aperture“-Kohorte und erhöhter „lost-to-follow“-Rate in der „Fadenanker“-Kohorte. Die Resultate von „Aperture“- und „Fadenanker“-Kohorte sind als „akzeptabel“ und „gut“ einzuschätzen (Sillanpaa et al. 2008a).

In den verschiedenen Untergruppen zeigt sich bei deren Vergleich bzgl. des Kujala-Score bis auf die initial isoliert versorgten Teilnehmer stets bessere Ergebnisse der in „Fadenanker“-Technik versorgten Patienten (**Tabelle 14; Abb. 29**). In keinem der Vergleiche der Mittelwerte war dies jedoch im statistisch signifikanten Bereich. Auch hier muss bei Vergleich der Untergruppen die geringe Fallzahl und damit eingeschränkte Aussagekraft der statistischen Evaluation limitierend angemerkt werden, insbesondere bei Gegenüberstellung von asymmetrischen Gruppenumfängen.

Für das gesamte Patientengut konnte ein Mittelwert des IKDC-Scores von 84,9 (SD: $\pm 15,6$) bestimmt werden (**Tabelle 15**). Ergebnisse des IKDC-Score nach einer isolierten Rekonstruktion des MPFL liegen bei 75,12 (SD: k. A.) und 86,5 (SD: k. A.) nach 16 und 13 Monaten (Howells et al. 2012, Panagopoulos et al. 2008). In Kombination mit einer Trochleoplastik konnte nach 2,5 Jahren ein Wert von 90 (SD: k. A.) beobachtet werden (Nelitz et al. 2013). Nach Spaltung des lateralen Retinakulums mit oder ohne Tuberositasversatz wurden für den IKDC-Score Werte von 79,4 (SD: $\pm 12,7$) und 85,1 (SD: $\pm 3,1$) nach 38 Monaten erzielt (Tecklenburg et al. 2010).

Bei Vergleich der erhobenen Ergebnisse des IKDC-Score mit entsprechenden operativen Verfahren zur Rekonstruktion des Ligamentum patellofemorale stellen sich gleichwertige Resultate dar. Die veröffentlichten Ergebnisse der isolierten und kombinierten Rekonstruktion zeigen nach kurzfristiger Evaluation vielversprechende Resultate, jedoch ist aus keiner der Studien die Überlegenheit einer Operationsmethode abzuleiten. Dies müsste in Studien mit größerem Patientenumfang und längerem Evaluationszeitraum geklärt werden.

Stellt man die Ergebnisse des IKDC-Score der gesamten „Aperture“- und „Fadenanker“-Kohorte gegenüber, zeigt sich in der „Fadenanker“-Kohorte ein signifikant besseres Resultat von $p = 0,018$ mit einem Wert von 90,4 (SD: $\pm 11,3$). (**Tabelle 15**)

D Diskussion

Bei Vergleich der Untergruppen betreffend der IKDC-Score Resultate, zeigten sich mit einer Ausnahme stets bessere Ergebnisse in den Gruppen der in „Fadenanker“-Technik versorgten Studienpatienten. Teilnehmer, die sich erstmalig einer isolierten Rekonstruktion in „Aperture“-Technik unterzogen, zeigten bessere Ergebnisse des IKDC-Score. Bei keinem der Vergleiche wurde das Signifikanzniveau erreicht. (**Tabelle 16; Abb. 33**)

Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass eine isolierte Rekonstruktion des MPFL, bei patellofemorale Instabilität ohne zusätzliche Pathologie, ein besseres klinisches Outcome mit voller Wiederherstellung der sportlichen Belastbarkeit und ohne wiederkehrende Instabilität als eine kombinierte Versorgung zeigt. Aus der direkten Gegenüberstellung des Tegner-Score aller isoliert und kombiniert versorgten Studienteilnehmer ergab sich bei einem Wert von 6 kein Unterschied (**Tabelle 21**). Jedoch konnten für den Kujala-Score und IKDC-Score signifikant bessere Ergebnisse von 89,7 (SD: $\pm 10,9$) ($p = 0,05$) bzw. 89,2 (SD: $\pm 12,7$) ($p = 0,027$) der isoliert operierten Studienteilnehmer bestimmt werden (**Tabelle 21**). In der Literatur lässt sich nach Versorgung einer MPFL-Rekonstruktion in Kombination mit einem Tuberositasversatz im Vergleich zum isolierten Eingriff nach 22 Monaten eine Tendenz zu niedrigeren Score-Ergebnissen finden (Christiansen et al. 2008a). Die Beobachtungen beim Vergleich aller isoliert mit kombiniert versorgten Patienten dieser Studie unterstützen die aufgestellte Hypothese bzgl. des Kujala- und des IKDC-Score. Allerdings konnten in den Untergruppen bzgl. dieser beiden Score-Verfahren keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

Eine weitere aufgestellte These prognostiziert nach kombinierter Rekonstruktion des MPFL mit gleichzeitiger Korrektur ossärer Deformitäten ein signifikant verbessertes Ergebnis im Vergleich zum präoperativen Status. Bei Betrachtung aller kombiniert versorgten Patienten konnte ein hoch signifikanter Unterschied ($p \leq 0,000$) zwischen prä- und postoperativen Werten der klinischen Evaluation beobachtet werden (**Tabelle 22**). Jeder der klinischen Scores zeigt einen besseren Wert zum postoperativen Zeitpunkt. Dies traf auch für die Untergruppen der in „Fadenanker“-Technik kombiniert versorgten Eingriffe zu. Jedoch trat dieser Unterschied nicht in einem signifikanten Ausmaß auf, da hier eine zu geringe Fallzahl zu Grunde liegt (**Tabellen 23-24**). Die beobachteten Resultate aller klinischen Score-Verfahren der weiteren Untergruppen zeigen zum zuletzt evaluierten postoperativen Zeitpunkt eine signifikante Verbesserung im Vergleich zum präoperativen Zustand (**Tabellen 25-26**). Nach kombinierter MPFL-Rekonstruktion und Trochleoplastik konnten für Kujala- und IKDC-Score signifikant verbesserte postoperative Resultate beobachtet werden (Nelitz et al.

2013). Nach Kombinationseingriff durch eine Rekonstruktion des MPFL und einen Tuberositasversatz zeigten sich in der entsprechenden Gruppe ebenfalls verbesserte postoperative Werte für den Kujala-Score (Christiansen et al. 2008a). Dies spricht bei multiplen operativ zu adressierenden Pathologien für die durchgeführten MPFL-Rekonstruktionen in Kombination mit weiteren Operationsverfahren.

Die in dieser Studie beobachteten Resultate der klinischen Score-Verfahren sprechen für beide o.g. Hypothesen. Auch bei höhergradiger patellofemorale Instabilität kann durch Kombinationseingriffe auf Basis der MPFL-Rekonstruktion ein verbessertes funktionelles Outcome im Vergleich zum präoperativen Zustand beobachtet werden. Jedoch zeigen sich nach isolierter Versorgung bessere Resultate als nach Kombinationsverfahren, was mit der Komplexität der multifaktoriellen Genese der patellofemorale Instabilität und den damit verbundenen Eingriffen vereinbar ist. Eine höhergradige patellofemorale Instabilität, bei der mehrere Faktoren Pathologie gerecht operativ adressiert werden müssen, zeichnet sich durch eine erhöhte Invasivität der Operationsverfahren und ein prolongiertes Nachbehandlungsschema aus. Daher ist es naheliegend, dass eine isolierte MPFL-Rekonstruktion ein funktionell besseres klinisches Resultat zeigt.

Voroperationen mit persistierender patellofemorale Instabilität wurden mit einem erniedrigten postoperativen Outcome in Verbindung gebracht. Bei Vergleich der Ergebnisse aller Erst- und Revisionseingriffe konnte ein signifikanter Unterschied für alle klinischen Scoreverfahren (Tegner-Score: $p = 0,003$; Kujala-Score: $p = 0,015$; IKDC-Score: $p = 0,010$) festgestellt werden (**Tabelle 27**). Es zeigten sich bessere Score-Werte für Initialeingriffe bzgl. des Tegner-Score mit 6,0, des Kujala-Score mit 93,0 und des IKDC-Score mit 90,4 (**Tabelle 27**). Die ermittelten Unterschiede bei Gegenüberstellung der klinischen Score-Verfahren der Hauptgruppen unterstützen die aufgestellte Hypothese. Eine initiale operative Versorgung mittels einer MPFL-Rekonstruktion, gegebenenfalls in indizierter Kombination mit einem weiteren Verfahren, weist bessere Resultate auf.

Eine weitere Hypothese beschreibt eine Persistenz der kurzfristigen Ergebnisse, die sich auch im mittelfristigen Verlauf zeigt. Bei Gegenüberstellung des Medians des Tegner-Aktivitäts-Score aus der postoperativen Evaluation nach einem und nach zwei Jahren für beide Kohorten, liegt zum 1-Jahres Nachuntersuchungstermin bzgl. des Tegner-Scores ein höherer Wert vor (**Abb. 49**). Vergleicht man die ein und zwei Jahresmittelwerte und ihre Konfidenzintervalle des gesamten Patientenguts miteinander, stellt sich eine Vergleichbarkeit im Sinne vorgestellter Definition der Ergebnisse für den Kujala-Score dar (**Abb. 50**). Für den

D Diskussion

Vergleich der Mittelwerte des IKDC-Scores zum Zeitpunkt nach einem und zwei Jahren nach der Operation zeigte sich ebenfalls eine Gleichartigkeit nach vorgestelltem Maßstab (**Abb. 51**). Bzgl. der ausgeführten sportlichen Belastung wurde im Verlauf eine Reduktion beobachtet, während die klinischen Evaluationsergebnisse vergleichbar blieben. Die aufgestellte Hypothese konnte folglich teilweise bestätigt werden, da Kujala- und IKDC-Score vergleichbare Werte zum zuletzt ermittelten Zeitpunkt aufwiesen.

D.5 Resultate des Knorpelstatus

Keine Progression von Knorpelschäden durch eine MPFL-Rekonstruktion wurde in dem untersuchten Patientengut vorausgesetzt. Für den retropatellaren Knorpel konnte eine Gleichwertigkeit des Knorpelstatus mit identischen Medianen zu beiden Untersuchungszeitpunkten erhoben werden (**Abb. 52**). Aus der evaluierten Bildgebung ließ sich für den trochlearen Knorpel ein identischer Median zu beiden Untersuchungszeitpunkten bestimmen (**Abb. 53**). Limitierend muss hier die geringe Anzahl an zu Verfügung stehender Bildgebung bemerkt werden.

Diese Beobachtung zeigt sich ebenfalls in der aktuellen Literatur. In einer konsekutiven diagnostischen Arthroskopie nach isolierter initialer MPFL-Rekonstruktion zeigte sich nach 12 Monaten postoperativ keine signifikante Verschlechterung des Knorpelstatus (Kita et al. 2014). In einer Langzeituntersuchung nach MPFL-Rekonstruktion mittels künstlichem ligamentären Ersatz kombiniert mit Spaltung des lateralen Retinakulums, zeigt sich nach 11,9 Jahren keine signifikante Progression einer patellofemorale Arthrose (Nomura et al. 2007). Trotz Verwendung eines Materials, das deutlich steifer ist als die körpereigenen Hamstringsehnen (Nomura et al. 2007). Im Gegensatz dazu zeigt sich in einer Studie 13 Jahre bei Zustand nach Operation nach Elmslie-Trillat eine Zunahme der patellofemorale Arthrose mit begleitenden Beschwerden (Nakagawa et al. 2002). Ebenso konnte bei weiteren extraanatomischen Verfahren, wie den Eingriffen nach Goldthwait-Roux und Ali Krogus, nach zwölf Jahren in 30% der Fälle eine schwere patellofemorale Arthrose beobachtet werden (Sillanpaa et al. 2011). Durch die o.g. extraanatomischen Zügelungs-Verfahren wird die Biomechanik des patellofemorale Gelenks derart nachhaltig verändert, dass vermutlich aufgrund der gesteigerten Druckverhältnisse, bei bereits durch Patellaluxationen geschädigtem patellofemorale Knorpel, eine patellofemorale Arthrose verfrüht einsetzt. Zwar ist bekannt, dass unter Verwendung eines „Kunststoff“-Transplantates keine Progression eines patellofemorale Gelenkverschleißes nach einer MPFL-Rekonstruktion zu beobachten war, jedoch spiegelt diese verwendete Technik nicht den aktuellen Stand der Operationstechnik wider. Daher sind zur Bestätigung der kurzfristigen Ergebnisse bzgl. des patellofemorale Knorpelstatus nach MPFL-Rekonstruktion weiterführende längerfristige Studien anzustreben.

E Zusammenfassung

Die patellofemorale Instabilität ist ein häufiges Krankheitsbild, das nach konservativer Therapie eine hohe Relaxationsrate mit persistierendem subjektivem Unsicherheitsgefühl aufweist. Frühere operative Verfahren erreichten eine Reduktion der Relaxationsrate, jedoch adressierten sie nicht den wichtigsten passiven Stabilisator: das Ligamentum patellofemorale mediale. In Verlaufsstudien nach o.g. extraanatomischen Verfahren wurde ein verfrühter Gelenkverschleiß beobachtet. Die Rekonstruktion des MPFL stellt, nach aktuellem Wissenstand aus anatomischen, biomechanischen und klinischen Studien, das Verfahren der Wahl sowohl zur isolierten als auch kombinierten operativen Therapie der patellofemorale Instabilität dar. Aktuell finden verschiedene Operationstechniken diesbezüglich ihre Anwendung.

Die hier vorgestellte klinisch-radiologische Studie beobachtete prospektiv zwei Patientenkohorten für die Dauer von 27 Monaten (SD: $\pm 4,7$ Monate), die durch zwei verschiedene Techniken der MPFL-Rekonstruktion mittels Grazilissehnentransplantat und weiterführenden Operationsverfahren stabilisiert wurden. Dadurch sollten die mittelfristigen Ergebnisse zur aktuellen operativen Therapie der patellofemorale Instabilität wiedergegeben werden. Zudem sollte dies einen Vergleich von „Fadenanker“- und direkter „Aperture“-Technik ermöglichen, zweier Verfahren zur Rekonstruktion des MPFL, die sich vor allem in der Wahl des Fixationsmaterials und Transplantatführung unterscheiden. Des Weiteren sollten die Resultate initialer Operationen mit Revisionseingriffen sowie von isolierten gegenüber kombinierten Verfahren verglichen werden.

Bei Gegenüberstellung der Ergebnisse aller isoliert mit denjenigen kombiniert versorgter Studienteilnehmern, zeigte sich für den Kujala- und IKDC-Score signifikant bessere Ergebnisse der Einzelverfahren. Für den Tegner-Score konnte zwischen isolierten und kombinierten Studienpatienten kein signifikanter Unterschied und der damit verbundenen sportlichen Aktivität ermittelt werden.

Die kombinierte Versorgung zeigte in Gegenüberstellung zum präoperativen Zustand signifikant bessere Werte für Tegner-, Kujala- und IKDC-Score nach 27 Monaten (SD: $\pm 4,7$ Monate).

Die in dieser Studie beobachteten Resultate der klinischen Score-Verfahren unterstützen die Pathologie adaptierte operative Therapie der habituellen Patella-Luxation. Auch bei höhergradiger patellofemorale Instabilität kann durch Kombinationseingriffe auf Basis der

E Zusammenfassung

MPFL-Rekonstruktion ein verbessertes funktionelles Outcome beobachtet werden. Jedoch zeigen sich nach isolierter Versorgung bessere Resultate als nach Kombinationsverfahren, was mit der Komplexität der multifaktoriellen Genese der patellofemorale Instabilität und den damit verbundenen Eingriffen vereinbar ist.

Bei Revisionseingriffen wurden im Vergleich zu Initialeingriffen signifikant schlechtere Resultate bzgl. des Tegner-, Kujala- und IKDC-Score erhoben. Diese Ergebnisse sprechen für den erwarteten negativen Einfluss von erfolglosen Voroperationen ohne Rekonstruktion des MPFL.

Für den Kujala- und IKDC-Score konnten mittelfristig vergleichbare Resultate für das beobachtete Patientengut dokumentiert werden. Dies spricht für den erwarteten längerfristigen Erfolg des Eingriffs. Jedoch wurde im Verlauf eine Reduktion des Tegner-Score bzw. der sportlichen Aktivität ermittelt.

Eine Progression von Knorpelschäden konnte, wie in der Hypothesenstellung formuliert, in der zur Verfügung stehenden Bildgebung nicht beobachtet werden.

Die Ergebnisse dieser Studie bzgl. der Rekonstruktion des MPFL in „Fadenanker“- und „Aperture“-Technik mit isolierten und kombinierten Verfahren bei Initial- und Revisionseingriffen zeigen akzeptable bis gute Resultate. Es zeigte sich eine geringe Relaxationsrate. Eine Überlegenheit durch bessere klinische Resultate nach Rekonstruktion in „Aperture“- oder „Fadenanker“-Technik konnte in der Gegenüberstellung nicht beobachtet werden. Um eine Überlegenheit der verschiedenen Rekonstruktionstechniken des MPFL und deren Kombinationsverfahren zu beurteilen, sind prospektive Studien mit höherem Patientenumfang und einer Randomisierung des Patientenguts bei einem längeren Beobachtungszeitraum notwendig. Aufgrund der methodischen Grenzen dieser Studie ist die Aussagekraft bzgl. des direkten Vergleichs von „Fadenanker“- und „Aperture“-Kohorte also limitiert. Jedoch muss aufgrund der geringen operationstechnischen Unterschiede eine Gleichwertigkeit beider Techniken in Betracht gezogen werden. Nach beiden Verfahren konnten niedrige Relaxationsraten und gute klinische Resultate beobachtet werden. Bei Vergleich mit der aktuellen Literatur ist eine hohe Bandbreite an Operationstechniken zur MPFL-Rekonstruktion mit ebenfalls guten klinischen Resultaten vorzufinden. Wichtiger als eine bestimmte Technik zur MPFL-Rekonstruktion, erscheint die Patienten und Pathologie adaptierte operative Therapie der rezidivierenden patellofemorale Instabilität mit der Rekonstruktion des MPFL als Basis.

E Zusammenfassung

Interessant wäre es, die weitere Entwicklung der funktionellen Score-Ergebnisse und des Knorpelstatus des patellofemorales Gelenkes in längerfristig angelegten klinisch-radiologischen Studien bei Zustand nach Rekonstruktion des Ligamentum patellofemorale mediale zu beobachten.

F Literaturverzeichnis

- Ahmed, A. M.; Duncan, N. A.** (2000): Correlation of Patellar Tracking Pattern With Trochlear and Retropatellar Surface Topographies. *J Biomech Eng.*, 122, (6), S. 652-660.
- Amis, A. A.; Firer, P.; Mountney, J.; Senavongse, W.; Thomas, N. P.** (2003): Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. *The Knee*, 10, (3), S. 215-220.
- Amis, A. A.; Senavongse, W.; Bull, A. M.** (2006): Patellofemoral kinematics during knee flexion-extension: an in vitro study. *J Orthop Res*, 24, (12), S. 2201-2211.
- Aragão, J. A.; Reis, F. P.; Vasconcelos, D. P. d.; Feitosa, V. L. C.; Nunes, M. A. P.** (2008): Metric measurements and attachment levels of the medial patellofemoral ligament: an anatomical study in cadavers. *Clinics*, 63, (4), S. 541-544.
- Arendt, E. A.; Dejour, D.** (2013): Patella instability: building bridges across the ocean a historic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 21, (2), S. 279-293.
- Arendt, E. A.; Moeller, A.; Agel, J.** (2011): Clinical outcomes of medial patellofemoral ligament repair in recurrent (chronic) lateral patella dislocations. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 19, (11), S. 1909-1914.
- Audige, L.; Ayeni, O. R.; Bhandari, M.; Boyle, B. W.; Briggs, K. K.; Chan, K.; Chaney-Barclay, K.; Do, H. T.; Ferretti, M.; Fu, F. H.; Goldhahn, J.; Goldhahn, S.; Hidaka, C.; Hoang-Kim, A.; Karlsson, J.; Krych, A. J.; LaPrade, R. F.; Levy, B. A.; Lubowitz, J. H.; Lyman, S.; Ma, Y.; Marx, R. G.; Mohtadi, N.; Marcheggiani Muccioli, G. M.; Nakamura, N.; Nguyen, J.; Poehling, G. G.; Roberts, L. E.; Rosenberg, N.; Shea, K. P.; Sohani, Z. N.; Soudry, M.; Voineskos, S.; Zaffagnini, S.; International Society of Arthroscopy, K. S.; Orthopaedic Sports, M.** (2011): A practical guide to research: design, execution, and publication. *Arthroscopy*, 27, (4), S. S1-112.
- Bachmann, M.; Pagenstert, G.** (2010): Arthroskopische Biomechanik bei patellofemorale Beschwerden. *Arthroscopie*, 23, (3), S. 170-175.
- Baier, C.; Springorum, H. R.; Beckmann, J.; Grifka, J.; Matussek, J.** (2011): [Treatment of patellar instability in children and adolescents]. *Orthopade*, 40, (10), S. 868-870, 872-864, 876.
- Baldwin, J. L.** (2009): The anatomy of the medial patellofemoral ligament. *Am J Sports Med*, 37, (12), S. 2355-2361.
- Beaconsfield, T.; Pintore, E.; Maffulli, N.; Petri, G. J.** (1994): Radiological measurements in patellofemoral disorders. A review. *Clin Orthop Relat Res.*, (308), S. 18-28.
- Beasley, L. S.; Vidal, A. F.** (2004): Traumatic patellar dislocation in children and adolescents: treatment update and literature review. *Curr Opin Pediatr.*, 16, (1), S. 29-36.
- Bedi, H.; Marzo, J.** (2010): The biomechanics of medial patellofemoral ligament repair followed by lateral retinacular release. *Am J Sports Med*, 38, (7), S. 1462-1467.
- Beermann, I.** (2013): Vergleichende prospektive klinisch radiologische 1-Jahres-Ergebnisse nach MPFL-Rekonstruktion (Dissertation). *Technischen Universität München*.
- Biedert, R. M.** (2010): Sekundäre mediale Patellainstabilität. *Arthroscopie*, 23, (3), S. 195-200.
- Bitar, A. C.; Demange, M. K.; D'Elia, C. O.; Camanho, G. L.** (2012): Traumatic patellar dislocation: nonoperative treatment compared with MPFL reconstruction using patellar tendon. *Am J Sports Med*, 40, (1), S. 114-122.
- Bollier, M.; Fulkerson, J.; Cosgarea, A.; Tanaka, M.** (2011): Technical failure of medial patellofemoral ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 27, (8), S. 1153-1159.
- Brittberg, M.; Winalski, C. S.** (2003): Evaluation of Cartilage Injuries and Repair. *J Bone Joint Surg Am.*, 85-A, (Suppl 2), S. 58-69.
- Buckens, C. F.; Saris, D. B.** (2010): Reconstruction of the medial patellofemoral ligament for treatment of patellofemoral instability: a systematic review. *Am J Sports Med*, 38, (1), S. 181-188.
- Christiansen, S. E.; Jacobsen, B. W.; Lund, B.; Lind, M.** (2008a): Reconstruction of the medial patellofemoral ligament with gracilis tendon autograft in transverse patellar drill holes. *Arthroscopy*, 24, (1), S. 82-87.
- Christiansen, S. E.; Jacobsen, B. W.; Lund, B.; Lind, M.** (2008b): Isolated repair of the medial patellofemoral ligament in primary dislocation of the patella: a prospective randomized study. *Arthroscopy*, 24, (8), S. 881-887.
- Christoforakis, J.; Bull, A. M.; Strachan, R. K.; Shymkiw, R.; Senavongse, W.; Amis, A. A.** (2006): Effects of lateral retinacular release on the lateral stability of the patella. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14, (3), S. 273-277.
- Colvin, A. C.; West, R. V.** (2008): Patellar instability. *J Bone Joint Surg Am*, 90, (12), S. 2751-2762.
- Conlan, T.; Garth, W. P. J.; Lemons, J. E.** (1993): Evaluation of the Medial Soft-Tissue Restraints of the Extensor Mechanism of the Knee. *J Bone Joint Surg Am*, 75, (5), S. 682-693.
- Deie, M.; Ochi, M.; Sumen, Y.; Adachi, N.; Kobayashi, K.; Yasumoto, M.** (2005): A long-term follow-up study after medial patellofemoral ligament reconstruction using the transferred semitendinosus tendon for patellar dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 13, (7), S. 522-528.

- Dejour, D.; Byn, P.; Ntagiopoulos, P. G.** (2012): The Lyon's sulcus-deepening trochleoplasty in previous unsuccessful patellofemoral surgery. *Int Orthop*, 37, (3), S. 433-439.
- Dejour, H.; Walch, G.; Nove-Josserand, L.; Guier, C.** (1994): Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surg, Sports Traumatol, Arthroscopy*, 2, (1), S. 19-26.
- Dickschas, J.; Kriebel, A.; Strecker, W.** (2012): Patellafraktur nach MPFL-Plastik bei erhöhtem TTTG-Abstand. *Arthroskopie*, 26, (1), S. 67-70.
- Diederichs, G.; Issever, A. S.; Scheffler, S.** (2010): MR Imaging of Patellar Instability: Injury Patterns and Assessment of Risk Factors. *RadioGraphics*, 30, (4), S. 961-981.
- Eckhoff, D. G.; Burke, B. J.; Dwyer, T. F.; Pring, M. E.; Spitzer, V. M.; VanGerwen, D. P.** (1996): The Ranawat Award. Sulcus morphology of the distal femur. *Clin Orthop Relat Res.*, (331), S. 23-28.
- Elias, D. A.; White, L. M.; Fithian, D. C.** (2002): Acute lateral patellar dislocation at MR imaging: injury patterns of medial patellar soft-tissue restraints and osteochondral injuries of the inferomedial patella. *Radiology*, 225, (3), S. 736-743.
- Elias, J. J.; Cosgarea, A. J.** (2006): Technical errors during medial patellofemoral ligament reconstruction could overload medial patellofemoral cartilage: a computational analysis. *Am J Sports Med*, 34, (9), S. 1478-1485.
- Ellera Gomes, J. L.** (1992): Medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent dislocation of the patella: a preliminary report. *Arthroscopy*, 8, (3), S. 335-340.
- Ellera Gomes, J. L.; Stigler Marczyk, L. R.; Cesar de Cesar, P.; Jungblut, C. F.** (2004): Medial patellofemoral ligament reconstruction with semitendinosus autograft for chronic patellar instability: a follow-up study. *Arthroscopy*, 20, (2), S. 147-151.
- Enderlein, D.; Nielsen, T.; Christiansen, S. E.; Fauno, P.; Lind, M.** (2014): Clinical outcome after reconstruction of the medial patellofemoral ligament in patients with recurrent patella instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 22, (10), S. 2458-2464.
- Fairbank, H. A.** (1937): Internal Derangement of the Knee in Children and Adolescents. *Proc R Soc Med.*, 30, (4), S. 427-432.
- Farahmand, F.; Senavongse, W.; Amis, A. A.** (1998): Quantitative study of the quadriceps muscles and trochlear groove geometry related to instability of the patellofemoral joint. *J Orthop Res*, 16, (1), S. 136-143.
- Feller, J. A.; Amis, A. A.; Andrish, J. T.; Arendt, E. A.; Erasmus, P. J.; Powers, C. M.** (2007): Surgical biomechanics of the patellofemoral joint. *Arthroscopy*, 23, (5), S. 542-553.
- Feller, J. A.; Feagin Jr., J. A.; Garrett Jr., W. E.** (1993): The medial patellofemoral ligament revisited: an anatomical study. *Knee Surg, Sports Traumatol, Arthroscopy*, 1, (3-4), S. 184-186.
- Fithian, D. C.; Paxton, E. W.; Stone, M. L.; Silva, P.; Davis, D. K.; Elias, D. A.; White, L. M.** (2004): Epidemiology and natural history of acute patellar dislocation. *Am J Sports Med*, 32, (5), S. 1114-1121.
- Frisch, H.** (2009): Programmierter Untersuchung des Bewegungsapparates, *Heidelberg*, Springer Medizin Verlag.
- Fucntese, S. F.; Zingg, P. O.; Schmitt, J.; Pfirrmann, C. W.; Meyer, D. C.; Koch, P. P.** (2011): Classification of trochlear dysplasia as predictor of clinical outcome after trochleoplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 19, (10), S. 1655-1661.
- Fulkerson, J. P.; Gossling, H. R.** (1980): Anatomy of the knee joint lateral retinaculum. *Clin Orthop Relat Res.*, (153), S. 183-188.
- Galtand, O.; Walch, G.; Dejour, H.; Carret, J.** (1990): An anatomical and radiological study of the femoropatellar articulation. *Surg Radiol Anat*, 12, (2), S. 119-125.
- Guerrero, P.; Li, X.; Patel, K.; Brown, M.; Busconi, B.** (2009): Medial patellofemoral ligament injury patterns and associated pathology in lateral patella dislocation: an MRI study. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol*, 1, (1), S. 17.
- Hautamaa, P. K.; Fithian, D. C.; Kaufman, K. R.; Daniel, D. M.; Pohlmeier, A. M.** (1998): Medial Soft Tissue Restraints in Lateral patellar instability and repair. *Clin Orthop Relat Res.*, (349), S. 174-182.
- Hensler, D.; Schöttle, P. B.** (2010): Erweiterte Indikationen für die Rekonstruktion des medialen patellofemorale Ligaments. *Arthroskopie*, 23, (3), S. 184-190.
- Higuchi, T.; Arai, Y.; Takamiya, H.; Miyamoto, T.; Tokunaga, D.; Kubo, T.** (2010): An analysis of the medial patellofemoral ligament length change pattern using open-MRI. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 18, (11), S. 1470-1475.
- Hinterwimmer, S.; Rosenstiel, N.; Lenich, A.; Waldt, S.; Imhoff, A. B.** (2012): [Femoral osteotomy for patellofemoral instability]. *Unfallchirurg*, 115, (5), S. 410-416.
- Howells, N. R.; Barnett, A. J.; Ahearn, N.; Ansari, A.; Eldridge, J. D.** (2012): Medial patellofemoral ligament reconstruction: a prospective outcome assessment of a large single centre series. *J Bone Joint Surg Br*, 94, (9), S. 1202-1208.
- Imhoff, A.; Linke, R.; Baumgartner, R.** (2011): Checkliste Orthopädie, *Stuttgart*, Georg Thieme Verlag.

- Iranpour, F.; Merican, A. M.; Baena, F. R.; Cobb, J. P.; Amis, A. A.** (2010): Patellofemoral joint kinematics: the circular path of the patella around the trochlear axis. *J Orthop Res*, 28, (5), S. 589-594.
- Irrgang, J. J.; Anderson, A. F.; Boland, A. L.; Harner, C. D.; Kurosaka, M.; Neyret, P.; Richmond, J. C.; Shelborne, K. D.** (2001): Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med*, 29, (5), S. 600-613.
- Kang, H. J.; Wang, F.; Chen, B. C.; Su, Y. L.; Zhang, Z. C.; Yan, C. B.** (2010): Functional bundles of the medial patellofemoral ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 18, (11), S. 1511-1516.
- Katchburian, M. V.; Bull, A. M.; Shih, Y. F.; Heatley, F. W.; Amis, A. A.** (2003): Measurement of patellar tracking: assessment and analysis of the literature. *Clin Orthop Relat Res.*, (412), S. 241-259.
- Kita, K.; Tanaka, Y.; Toritsuka, Y.; Yonetani, Y.; Kanamoto, T.; Amano, H.; Nakamura, N.; Horibe, S.** (2014): Patellofemoral chondral status after medial patellofemoral ligament reconstruction using second-look arthroscopy in patients with recurrent patellar dislocation. *J Orthop Sci*, 19, (6), S. 925-932.
- Koeter, S.; Pakvis, D.; van Loon, C. J.; van Kampen, A.** (2007): Trochlear osteotomy for patellar instability: satisfactory minimum 2-year results in patients with dysplasia of the trochlea. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 15, (3), S. 228-232.
- Kolowich, P. A.; Paulos, L. E.; Rosenberg, T. D.; Farnsworth, S.** (1990): Lateral release of the patella--indications and contraindications. *Am J Sports Med*, 18, (4), S. 359-365.
- Kujala, U. M.; Jaakkola, L. H.; Koskinen, S. K.; Taimela, S.; Hurme, M.; Nelimarkka, O.** (1993): Scoring of Patellofemoral Disorders. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic and Related Surgery*, 9, (2), S. 159-163.
- LaPrade, R. F.; Engebretsen, A. H.; Ly, T. V.; Johansen, S.; Wentorf, F. A.; Engebretsen, L.** (2007): The anatomy of the medial part of the knee. *J Bone Joint Surg Am*, 89, (9), S. 2000-2010.
- Lattermann, C.; Toth, J.; Bach, B. R., Jr.** (2007): The role of lateral retinacular release in the treatment of patellar instability. *Sports Med Arthrosc.*, 15, (2), S. 57-60.
- Lind, M.; Jakobsen, B. W.; Lund, B.; Christiansen, S. E.** (2008): Reconstruction of the medial patellofemoral ligament for treatment of patellar instability. *Acta Orthop*, 79, (3), S. 354-360.
- Lippacher, S.; Dejour, D.; Elsharkawi, M.; Dornacher, D.; Ring, C.; Dreyhaupt, J.; Reichel, H.; Nelitz, M.** (2012): Observer agreement on the Dejour trochlear dysplasia classification: a comparison of true lateral radiographs and axial magnetic resonance images. *Am J Sports Med*, 40, (4), S. 837-843.
- Maenpaa, H.; Lehto, M. U.** (1995): Surgery in acute patellar dislocation--evaluation of the effect of injury mechanism and family occurrence on the outcome of treatment. *Br J Sports Med*, 29, (4), S. 239-241.
- Mäenpää, H.; Lehto, M. U. K.** (1997): Patellar dislocation. The long-term results of nonoperative management in 100 patients. *Am J Sports Med*, 25, (2), S. 213-217.
- Matic, G. T.; Magnussen, R. A.; Kolovich, G. P.; Flanigan, D. C.** (2014): Return to activity after medial patellofemoral ligament repair or reconstruction. *Arthroscopy*, 30, (8), S. 1018-1025.
- Merican, A. M.; Amis, A. A.** (2008): Anatomy of the lateral retinaculum of the knee. *J Bone Joint Surg Br*, 90, (4), S. 527-534.
- Merican, A. M.; Sanghavi, S.; Iranpour, F.; Amis, A. A.** (2009): The structural properties of the lateral retinaculum and capsular complex of the knee. *J Biomech.*, 42, (14), S. 2323-2329.
- Mountney, J.; Senavongse, W.; Amis, A.; Thomas, N. P.** (2005): Tensile strength of the medial patellofemoral ligament before and after repair or reconstruction. *J Bone Joint Surg Br*, 87-B, (1), S. 36-40.
- Münch, M. C.** (2011/2012): Klinische Ergebnisse nach Rekonstruktion des Ligamentum patellofemorale mediale zur Behandlung der patellofemorale Instabilität -eine prospektive Studie (Dissertation). *Technischen Universität München*.
- Nakagawa, K.; Wada, Y.; Minamide, M.; Tsuchiya, M.; Moriya, H.** (2002): Deterioration of long-term clinical results after the Elmslie-Trillat procedure for dislocation of the patella. *J Bone Joint Surg Br*, 84-B, (6), S. 861-864.
- Nelitz, M.; Dreyhaupt, J.; Lippacher, S.** (2013): Combined Trochleoplasty and Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction for Recurrent Patellar Dislocations in Severe Trochlear Dysplasia: A Minimum 2-Year Follow-up Study. *Am J Sports Med*, 41, (5), S. 1005-1012.
- Nomura, E.** (1999): Classification of lesions of the medial patello-femoral ligament in patellar dislocation. *International Orthopaedics*, 23, (5), S. 260-263.
- Nomura E; Horiuchi Y; M., K.** (2000): A mid-term follow-up of medial patellofemoral ligament reconstruction using an artificial ligament for recurrent patellar dislocation. *The Knee*, 7, (4), S. 211-215.
- Nomura, E.; Inoue, M.** (2004): Cartilage Lesions of the Patella in Recurrent Patellar Dislocation. *American Journal of Sports Medicine*, 32, (2), S. 498-502.
- Nomura, E.; Inoue, M.** (2006): Hybrid medial patellofemoral ligament reconstruction using the semitendinous tendon for recurrent patellar dislocation: minimum 3 years' follow-up. *Arthroscopy*, 22, (7), S. 787-793.

F Literaturverzeichnis

- Nomura, E.; Inoue, M.; Kobayashi, S.** (2007): Long-term follow-up and knee osteoarthritis change after medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocation. *Am J Sports Med*, 35, (11), S. 1851-1858.
- Nomura, E.; Inoue, M.; Kurimura, M.** (2003): Chondral and osteochondral injuries associated with acute patellar dislocation. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, 19, (7), S. 717-721.
- Nomura, E.; Inoue, M.; Osada, N.** (2005): Anatomical analysis of the medial patellofemoral ligament of the knee, especially the femoral attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 13, (7), S. 510-515.
- Oestern, S.; Varoga, D.; Lippross, S.; Kaschwich, M.; Finn, J.; Buddrus, B.; Seekamp, A.** (2011): [Patella dislocation]. *Unfallchirurg*, 114, (4), S. 345-358.
- Olk, A.; Hennig, F. F.** (2002): Anatomische Voraussetzungen der Patellaluxation. *Trauma Berufskrankh*, 4, (3), S. 201-205.
- Ostermeier, S.; Holst, M.; Hurschler, C.; Windhagen, H.; Stukenborg-Colsman, C.** (2007): Dynamic measurement of patellofemoral kinematics and contact pressure after lateral retinacular release: an in vitro study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 15, (5), S. 547-554.
- Paakkala, A.; Sillanpaa, P.; Huhtala, H.; Paakkala, T.; Maenpaa, H.** (2010): Bone bruise in acute traumatic patellar dislocation: volumetric magnetic resonance imaging analysis with follow-up mean of 12 months. *Skeletal Radiol*, 39, (7), S. 675-682.
- Pagenstert, G. I.; Bachmann, M.** (2008): [Clinical examination for patellofemoral problems]. *Orthopade*, 37, (9), S. 890-895, 897-903.
- Palmu, S.; Kallio, P. E.; Donell, S. T.; Helenius, I.; Nietosvaara, Y.** (2008): Acute patellar dislocation in children and adolescents: a randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am*, 90, (3), S. 463-470.
- Panagopoulos, A.; van Niekerk, L.; Triantafilopoulos, I. K.** (2008): MPFL reconstruction for recurrent patella dislocation: a new surgical technique and review of the literature. *Int J Sports Med*, 29, (5), S. 359-365.
- Panni, A. S.; Vasso, M.; Cerciello, S.** (2013): Acute patellar dislocation. What to do? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 21, (2), S. 275-278.
- Parikh, S. N.; Wall, E. J.** (2011): Patellar fracture after medial patellofemoral ligament surgery: a report of five cases. *J Bone Joint Surg Am*, 93, (17), S. e97(91-98).
- Petersen, W.; Forkel, P.; Achtnich, A.** (2012): [Chronic patellofemoral instability]. *Unfallchirurg*, 115, (5), S. 397-409.
- Petri, M.; Liidakis, E.; Hofmeister, M.; Despang, F. J.; Maier, M.; Balcarek, P.; Voigt, C.; Haasper, C.; Zeichen, J.; Stengel, D.; Krettek, C.; Frosch, K. H.; Lill, H.; Jagodzinski, M.** (2013): Operative vs conservative treatment of traumatic patellar dislocation: results of a prospective randomized controlled clinical trial. *Arch Orthop Trauma Surg*, 133, (2), S. 209-213.
- Philippot, R.; Chouteau, J.; Wegzyn, J.; Testa, R.; Fessy, M. H.; Moyen, B.** (2009): Medial patellofemoral ligament anatomy: implications for its surgical reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 17, (5), S. 475-479.
- Phillips, C. L.; Silver, D. A. T.; Schranz, P. J.; Mandalia, V.** (2010): The measurement of patellar height a review of the methods of imaging. *J Bone Joint Surg Br*, 92-B, (8), S. 1045-1053.
- Redziniak, D. E.; Diduch, D. R.; Mihalko, W. M.; Fulkerson, J. P.; Novicoff, W. M.; Sheibani-Rad, S.; Saleh, K. J.** (2009): Patellar instability. *J Bone Joint Surg Am*, 91, (9), S. 2264-2275.
- Rhee, S. J.; Pavlou, G.; Oakley, J.; Barlow, D.; Haddad, F.** (2012): Modern management of patellar instability. *Int Orthop*, 36, (12), S. 2447-2456.
- Ricchetti, E. T.; Mehta, S.; Sennett, B. J.; Huffman, G. R.** (2007): Comparison of lateral release versus lateral release with medial soft-tissue realignment for the treatment of recurrent patellar instability: a systematic review. *Arthroscopy*, 23, (5), S. 463-468.
- Ronga, M.; Oliva, F.; Longo, U. G.; Testa, V.; Capasso, G.; Maffulli, N.** (2009): Isolated medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocation. *Am J Sports Med*, 37, (9), S. 1735-1742.
- Rosslenbroich, S.; Raschke, M.; Petersen, W.** (2012): [Acute osteochondral lesions after patella dislocation]. *Unfallchirurg*, 115, (5), S. 392-396.
- Salzmann, G. M.; Weber, T. S.; Spang, J. T.; Imhoff, A. B.; Schöttle, P. B.** (2010): Comparison of native axial radiographs with axial MR imaging for determination of the trochlear morphology in patients with trochlear dysplasia. *Arch Orthop Trauma Surg*, 130, (3), S. 335-340.
- Schmeling, A.** (2010): Aktuelle Aspekte der patellofemorale Instabilität. *SFA- Stiftung zur Förderung der Arthroscopie*, (23), S. 4-27.
- Schöttle, P.; Beitzel, K.; Imhoff, A.** (2009): Die kindliche Patellaluxation. *Arthroscopie*, 22, (1), S. 51-59.
- Schöttle, P. B.** (2007): Minimalinvasive anatomische Rekonstruktion des Lig. patellofemorale mediale. *Arthroscopie*, 20, (4), S. 313-316.
- Schöttle, P. B.; Hensler, D.** (2008a): Revisionseingriffe zur Patellastabilisierung nach erfolgloser Operation am Streckapparat. *Arthroscopie*, 21, (3), S. 145-152.

F Literaturverzeichnis

- Schöttle, P. B.; Hensler, D.; Imhoff, A. B. (2008b): Die direkte anatomische Rekonstruktion des Lig. patellofemorale mediale in Double-bundle-Technik - „aperture fixation“. *Arthroscopie*, 21, (3), S. 192-195.
- Schottle, P. B.; Schmeling, A.; Rosenstiel, N.; Weiler, A. (2007): Radiographic landmarks for femoral tunnel placement in medial patellofemoral ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 35, (5), S. 801-804.
- Schöttle, P. B.; Zanetti, M.; Seifert, B.; Pfirrmann, C. W.; Fucentese, S. F.; Romero, J. (2006): The tibial tuberosity-trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. *The Knee*, 13, (1), S. 26-31.
- Schuttler, K. F.; Struwer, J.; Roessler, P. P.; Gesslein, M.; Rominger, M. B.; Ziring, E.; Efe, T. (2014): Patellofemoral osteoarthritis after Insall's proximal realignment for recurrent patellar dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 22, (11), S. 2623-2628.
- Seebacher, J. R.; Inglis, A. E.; Marshall, J. L.; Warren, R. F. (1982): The structure of the posterolateral aspect of the knee. *J Bone Joint Surg Am*, 64, (4), S. 536-541.
- Seitlinger, G.; Beitzel, K.; Scheurecker, G.; Imhoff, A.; Hofmann, S. (2011): [The painful patellofemoral joint. Biomechanics, diagnosis and therapy]. *Orthopäde*, 40, (4), S. 353-368.
- Seitlinger, G.; Scheurecker, G.; Högl, R.; Kramer, J.; Hofmann, S. (2010): Bildgebende Diagnostik des Patellofemoralgelenks. *Arthroscopie*, 23, (3), S. 176-183.
- Shah, J. N.; Howard, J. S.; Flanigan, D. C.; Brophy, R. H.; Carey, J. L.; Lattermann, C. (2012): A systematic review of complications and failures associated with medial patellofemoral ligament reconstruction for recurrent patellar dislocation. *Am J Sports Med*, 40, (8), S. 1916-1923.
- Sheehan, F. T.; Derasari, A.; Fine, K. M.; Brindle, T. J.; Alter, K. E. (2010): Q-angle and J-sign: indicative of maltracking subgroups in patellofemoral pain. *Clin Orthop Relat Res.*, 468, (1), S. 266-275.
- Shih, Y. F.; Bull, A. M.; Amis, A. A. (2004): The cartilaginous and osseous geometry of the femoral trochlear groove. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 12, (4), S. 300-306.
- Sillanpaa, P.; Mattila, V. M.; Visuri, T.; Maenpaa, H.; Pihlajamaki, H. (2008a): Ligament reconstruction versus distal realignment for patellar dislocation. *Clin Orthop Relat Res.*, 466, (6), S. 1475-1484.
- Sillanpaa, P. J.; Maenpaa, H. M.; Mattila, V. M.; Visuri, T.; Pihlajamaki, H. (2008b): 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*, 36, (12), S. 2301-2309.
- Sillanpaa, P. J.; Maenpaa, H. M.; Mattila, V. M.; Visuri, T.; Pihlajamaki, H. (2009): A mini-invasive adductor magnus tendon transfer technique for medial patellofemoral ligament reconstruction: a technical note. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 17, (5), S. 508-512.
- Sillanpaa, P. J.; Mattila, V. M.; Visuri, T.; Maenpaa, H.; Pihlajamaki, H. (2011): Patellofemoral osteoarthritis in patients with operative treatment for patellar dislocation: a magnetic resonance-based analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 19, (2), S. 230-235.
- Smirk, C.; Morris, H. (2003): The anatomy and reconstruction of the medial patellofemoral ligament. *The Knee*, 10, (3), S. 221-227.
- Stäubli, H.-U.; Dürrenmatt, U.; Porcellini, B.; Rauschnig, W. (1999): Anatomy and surface geometry of the patellofemoral joint in the axial plane. *J Bone Joint Surg [Br]*, 81, (3), S. 452-458.
- Steensen, R. N.; Dopirak, R. M.; Maurus, P. B. (2005): A simple technique for reconstruction of the medial patellofemoral ligament using a quadriceps tendon graft. *Arthroscopy*, 21, (3), S. 365-370.
- Steensen, R. N.; Dopirak, R. M.; McDonald, W. G., 3rd (2004): The anatomy and isometry of the medial patellofemoral ligament: implications for reconstruction. *Am J Sports Med*, 32, (6), S. 1509-1513.
- Stephen, J. M.; Lumpaopong, P.; Deehan, D. J.; Kader, D.; Amis, A. A. (2012): The medial patellofemoral ligament: location of femoral attachment and length change patterns resulting from anatomic and nonanatomic attachments. *Am J Sports Med*, 40, (8), S. 1871-1879.
- Strobl, W.; Grill, F. (1998): Die Patellaluxation. *Orthopäde*, 27, (3), S. 197-205.
- Tecklenburg, K.; Dejour, D.; Hoser, C.; Fink, C. (2006): Bony and cartilaginous anatomy of the patellofemoral joint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14, (3), S. 235-240.
- Tecklenburg, K.; Feller, J. A.; Whitehead, T. S.; Webster, K. E.; Elzarka, A. (2010): Outcome of surgery for recurrent patellar dislocation based on the distance of the tibial tuberosity to the trochlear groove. *J Bone Joint Surg Br*, 92, (10), S. 1376-1380.
- Tegner, Y.; Lysholm, J. (1985): Rating Systems in the Evaluation of Knee Ligament Injuries. *Clin Orthop Relat Res.*, (198), S. 43-49.
- Tuxoe, J. I.; Teir, M.; Winge, S.; Nielsen, P. L. (2002): The medial patellofemoral ligament: a dissection study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 10, (3), S. 138-140.
- Victor, J.; Wong, P.; Witvrouw, E.; Sloten, J. V.; Bellemans, J. (2009): How isometric are the medial patellofemoral, superficial medial collateral, and lateral collateral ligaments of the knee? *Am J Sports Med*, 37, (10), S. 2028-2036.

F Literaturverzeichnis

- Vieira, E. L.; Vieira, E. A.; da Silva, R. T.; Berlfein, P. A.; Abdalla, R. J.; Cohen, M.** (2007): An anatomic study of the iliotibial tract. *Arthroscopy*, 23, (3), S. 269-274.
- Warren, L. F.; Marshall, J. L.** (1979): The Supporting Structures and Layers on the Medial Side of the Knee an anatomical analysis. *J Bone Joint Surg Am.*, 61, (1), S. 56-62.
- White, B. J.; Sherman, O. H.** (2009): Patellofemoral instability. *Bull NYU Hosp Jt Dis.*, 67, (1), S. 22-29.
- Wirth, T.** (2011): [Dislocations of the patella]. *Unfallchirurg*, 114, (5), S. 388-395.

G Anhang

<p style="text-align: center;">Sportorthopädie München</p> <p style="text-align: right;">Seite 1/2</p> <h3 style="text-align: center;">Klinische Untersuchung</h3> <p>Name: _____ Vorname: _____</p> <p>Geburtsdatum: _____ Untersuchungsdatum: _____</p> <p>Körpergröße: _____ Körpergewicht: _____</p> <p>Termin:</p> <p><input type="checkbox"/> Präoperativ</p> <p><input type="checkbox"/> 6 Wochen postoperativ</p> <p><input type="checkbox"/> 3 Monate postoperativ</p> <p><input type="checkbox"/> 12 Monate postoperativ</p> <p><input type="checkbox"/> 24 Monate postoperativ</p> <p>Beinachse:</p> <p><input type="checkbox"/> Gerade</p> <p><input type="checkbox"/> Genu valgum</p> <p><input type="checkbox"/> Genu varum</p> <p><input type="checkbox"/> Genu recurvatum</p> <p>Beinlängendifferenz: _____</p> <p>Infoeing:</p> <p><input type="checkbox"/> Stark</p> <p><input type="checkbox"/> Leicht</p> <p><input type="checkbox"/> Nicht ausgeprägt</p> <p>Muskulatur: <input type="checkbox"/> Atrophie <input type="checkbox"/> O.p.B</p> <p>Derma / Narbe: _____</p> <p>DMS: _____</p> <p>Entzündungszeichen: <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p> <p>Schwellung: <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p> <p>ROM FIE: _____ °</p> <p>Schmerzbedingtes Flexionsdefizit: <input type="checkbox"/> Ja (ab _____°) <input type="checkbox"/> Nein</p>	<p style="text-align: center;">Sportorthopädie München</p> <p style="text-align: right;">Seite 2/2</p> <p>Crepitationen: <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p> <p>Erguss: <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p> <p>Druckschmerzpunkte: _____</p> <p>Mediale softness: <input type="checkbox"/> Positiv <input type="checkbox"/> Negativ</p> <p>Laterale softness: <input type="checkbox"/> Positiv <input type="checkbox"/> Negativ</p> <p>Kompressionsschmerz: <input type="checkbox"/> Positiv <input type="checkbox"/> Negativ</p> <p>Schottle-Test: <input type="checkbox"/> Positiv <input type="checkbox"/> Negativ</p> <p>Facettendruckschmerz: <input type="checkbox"/> Medial <input type="checkbox"/> Lateral <input type="checkbox"/> Negativ</p> <p>Patellaverschieblichkeit (schmerzhaft?): <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p> <p>Hypermobilität der Patella: <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein</p> <p>Apprehension: Positiv <input type="checkbox"/> 0-20° <input type="checkbox"/> Negativ</p> <p style="margin-left: 20px;"><input type="checkbox"/> 20-40°</p> <p style="margin-left: 20px;"><input type="checkbox"/> 0-60°</p> <p style="margin-left: 20px;"><input type="checkbox"/> >60°</p> <p><input type="checkbox"/></p> <p>J-sign: <input type="checkbox"/> Positiv <input type="checkbox"/> Negativ</p> <p>Collateral- / Kreuzbänder: <input type="checkbox"/> Stabil <input type="checkbox"/> Instabil</p> <p>Allgemeine Bandlaxizität: <input type="checkbox"/> Positiv <input type="checkbox"/> Negativ</p> <p>Meniskuszeichen: <input type="checkbox"/> Lateral <input type="checkbox"/> Medial <input type="checkbox"/> Negativ</p>
--	---

Patientenfragebogen postoperativ

Name: _____ Vorname: _____

Geburtsdatum: _____ Beruf: _____

Untersuchungsdatum: _____

- Termin:**
- 6 Wochen nach der Operation
 - 3 Monate nach der Operation
 - 6 Monate nach der Operation
 - 12 Monate nach der Operation
 - 24 Monate nach der Operation

Ist Ihnen seit der Operation die Kniescheibe wieder herausgesprungen?

- Ja
- Nein

Wie ist es passiert?

- Traumatisch (z.B. Unfall)
- Atraumatisch (z.B. Alltagsbewegung)

Wie oft ist die Kniescheibe seither herausgesprungen?

Traumatisch: _____ Atraumatisch: _____

Können Sie die Kniescheibe selbstständig an die urspr. Lage zurückführen?

- Ja
- Nein

Wann treten die Beschwerden auf? (Mehrfachantwort möglich)

- In Ruhe
- Nachts
- Bei Belastung (bei welcher): Treppen hinaufsteigen
- Treppen hinabsteigen

Nehmen Sie deswegen schmerzlindernde Medikamente ein?

- Immer
- Regelmäßig
- Selten
- Nie

Wann haben Sie erstmals nach der Operation Ihren Sport wieder ausgeübt?

- Innerhalb 4 Wochen
- Innerhalb 8 Wochen
- Nach 2-3 Monaten
- Nach 3-6 Monaten
- Mehr als 6 Monate danach

Weiche Sportart(en) betreiben Sie aktuell?

Leistungssport (___ x ___ h/Woche): _____
 (___ x ___ h/Woche): _____
 Freizeitsport (___ x ___ h/Woche): _____
 (___ x ___ h/Woche): _____

Müssen Sie schmerzlindernde Medikamente zur Durchführung sportlicher Aktivitäten nehmen?

- Immer
- Gelegentlich
- Nie

Haben Sie während oder nach dem Sport Schmerzen in dem betroffenen Knie?

- Starke Schmerzen
- Mäßige Schmerzen
- Leichte Schmerzen
- Keine Schmerzen

Wie ist Ihr subjektives Befinden während des Sports?

- Sehr gut, keine Probleme
- Angst- und Unsicherheitsgefühl
- Bewegungseinschränkungen
- Sonstiges: _____

Wie hat sich die Operation auf Ihre Sportfähigkeit ausgewirkt?

- Verbesserung: _____
- Keine Auswirkung
- Verschlechterung: _____

Haben Sie sich an die Anweisungen der Ärzte, sowie der Physiotherapeuten gehalten?

- Ja
- Zum Teil
- Nein, weil _____

Wie sind Sie mit dem bisherigen Therapieverlauf zufrieden?

- Sehr zufrieden
- Zufrieden
- Nicht zufrieden
- Überhaupt nicht zufrieden

Würden Sie diese Operation rückblickend nochmals durchführen lassen?

- Ja
- Nein, weil _____

Subjektives Befinden (Welche Beschwerden liegen vor?)

Bei welchen Bewegungen tritt ein Unsicherheitsgefühl (Luxationsangst) auf?

Tegner Aktivitätsscore

Welches ist die anspruchsvollste Tätigkeit die Sie ohne Schmerzen ausüben können?

- Wegen Kniebeschwerden arbeitsunfähig oder bereit	0
- Arbeit in sitzendem Zustand	1
- Gehen auf ebener Fläche	2
- Leichte körperliche Arbeit	2
- Gehen auf unebener Fläche (im Wald aber noch nicht möglich)	2
- Leichte körperliche Arbeit (z.B. Krankenschwester)	3
- Wettkampf- und Freizeitsport (Schwimmen, Gehen auf unebener Fläche inkl. Waldspaziergänge)	3
- Mittelschwere körperliche Arbeit (z.B. LKW-Fahrer, schwere Haushaltsarbeit)	4
- Freizeitsport (Radfahren, Langlauf, Joggen auf unebener Fläche mind. 2x die Woche)	4
- Schwere körperliche Arbeit (z.B. Bauarbeiter)	5
- Freizeitsport (Radfahren, Langlauf, Joggen auf unebener Fläche mind. 2x die Woche)	5
- Freizeitsport (Tennis, Badminton, Handball, Basketball, Turnen, Abfahrtski, Joggen mind. 5x die Woche, Leichtathletik (mit Laufdisziplinen))	6
- Freizeitsport (Tennis, Leichtathletik (mit Sprungdisziplinen), Fußball, Eishockey)	7
- Wettkampfsport (Squash, Badminton, Leichtathletik (mit Sprungdisziplinen), Abfahrtski, Eishockey, Hallen- und Ballsportarten ohne Gegnerkontakt)	8
- Wettkampfsport: - Regional (Fußball, Hallen- und Ballsportarten mit Gegnerkontakt, Turnen, Wrestling, Eishockey)	9
- International (Abfahrtski, Hallen- und Ballsportarten ohne Gegnerkontakt)	9
- Wettkampfsport (nationale und internationale Turniere: Fußball, Hallensport mit Gegnerkontakt)	10

Alternierender Kujala Knie Score

1. Wie oft hinken Sie?
 Nie 5
 Gelegentlich 3
 Ständig 0
2. Wie halten Sie **Belastung** stand?
 Volle Belastung ohne Schmerzen 5
 Schmerzhaft 3
 Nicht möglich 0
3. Wie weit können Sie ohne Schmerzen **gehen**?
 Uneingeschränkt 5
 Mehr als 2 km 3
 1-2 km 2
 Unmöglich 0
4. Haben Sie beim **Treppensteigen** Probleme?
 Keine Probleme 10
 Schmerzen beim Treppen hinabgehen 8
 Schmerzen beim Treppenhinauf- und -abgehen 5
 Nur mit Geländer möglich 0
5. Wie funktioniert die **Kniebeugung**?
 Keine Probleme 5
 Wiederholte Beugung schmerzhaft 4
 Immer schmerzhaft 3
 Nur mit Teilbelastung möglich 2
 Nicht möglich 0
6. Wie ist Ihre Schmerzempfindung beim **Joggen**?
 Keine Probleme 10
 Schmerzen nach >2km 8
 Leichte Schmerzen von Beginn 6
 Starke Schmerzen 3
 Joggen ist unmöglich 0

Zwischensumme: _____

7. Wie ist Ihre Schmerzempfindung beim **Springen**?
 Keine Probleme 10
 Leichte Probleme 7
 Ständig Schmerzen 2
 Springen ist unmöglich 0
8. Wie hält Ihr Knie einem **Kinobesuch** stand?
 Keine Probleme 10
 Konstante Schmerzen 6
 Knie immer wieder strecken 4
 Unmöglich 0
9. Wann haben Sie **Schmerzen**?
 Keine 10
 Leicht und gelegentlich 8
 Treten auch in der Nacht auf 6
 Gelegentlich invalidisierend 3
 Ständig invalidisierend 0
10. Treten **Schwellungen** auf?
 Nein 10
 Nach sportlicher Aktivität 8
 Nach täglicher Beanspruchung 6
 Jeden Morgen 4
 Ständig 0
11. Wann tritt ein **Unsicherheitsgefühl** bei Ihrem Knie auf?
 Nie 10
 Gelegentlich bei Sport 6
 Gelegentlich im Alltag 4
 Immer 0
12. **Atrophie** des VMO? (Wird vom betreuenden Arzt ausgefüllt)
 Nein 5
 Leicht 3
 Deutlich 0
13. **Flexionsdefizit** (Wird vom betreuenden Arzt ausgefüllt)
 > 130 5
 100-130 3
 < 100 0

Summe: _____

IKDC Score

Symptome:

Wählen Sie zur Beurteilung der Symptome die höchste Aktivitätsstufe, die Sie Ihrer Meinung nach ohne erhebliche Symptome ausüben könnten, selbst wenn Sie auf dieser Stufe keine Aktivitäten ausüben.

- 1. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche Schmerzen im Knie ausüben können?**
- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
 - Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
 - Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
 - Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
 - Ich kann aufgrund meiner Schmerzen im Knie keine der oben genannten Aktivitäten ausführen

- 2. Wie oft hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung Schmerzen?**

Kreuzen Sie eines der Kästchen in der nachfolgenden Skala an. Die Skala beginnt mit 0 (keine Schmerzen) und geht im zunehmenden Maß von der Skala von 0 bis zu 10 (ständig Schmerzen).

- Nie 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ständig Schmerzen

- 3. Wie stark sind Ihre Schmerzen?**

Kreuzen Sie eines der Kästchen in der nachfolgenden Skala an. Die Skala beginnt mit 0 (keine Schmerzen) und geht im zunehmenden Maß von der Skala von 0 bis zu 10 (ständig Schmerzen).

- Nie 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ständig Schmerzen

- 4. Wie steif oder geschwollen war ihr Knie während der vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung?**

- Überhaupt nicht
- Etwas
- Ziemlich
- Sehr
- Extrem

- 5. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliches Anschwellen des Knies ausüben können?**

- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
- Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- Ich kann aufgrund meiner Schmerzen im Knie keine der oben genannten Aktivitäten ausführen

- 6. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen oder seit dem Auftreten Ihrer Verletzung ein gesperrtes Knie oder ist ihr Knie aus- und wieder eingeschmolzt?**

- Ja
- Nein

- 7. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, die Sie ohne erhebliche durch Knieschwäche verursachte Gangunsicherheit einhalten können?**

- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
- Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- Ich kann aufgrund meiner Schmerzen im Knie keine der oben genannten Aktivitäten ausführen

Sportliche Betätigung:

- 8. Was ist die höchste Aktivitätsstufe, an der Sie regelmäßig teilnehmen können?**

- Sehr anstrengende Aktivitäten wie Springen oder Drehbewegungen bei einseitiger Fußbelastung (Basketball oder Fußball)
- Anstrengende Aktivitäten wie schwere körperliche Arbeit, Skilaufen oder Tennis
- Mäßig anstrengende Aktivitäten wie mäßige körperliche Arbeit, Laufen oder Joggen
- Leichte Aktivitäten wie Gehen, Haus- oder Gartenarbeit
- Ich kann aufgrund meiner Schmerzen im Knie keine der oben genannten Aktivitäten ausführen

9. Wie schwierig sind aufgrund Ihres Knies die folgenden Aktivitäten für Sie?

	Überhaupt nicht schwierig	minimal schwierig	ziemlich schwierig	extrem schwierig	unmöglich
a) Treppensteigen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b) Treppen hinuntergehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c) auf dem vorderen Knie gehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d) Hockstellung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e) normal sitzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f) vom Stuhl aufstehen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g) Geradeaus laufen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h) Hochspringen und auf dem betroffenen Bein landen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
i) beim Gehen (bzw. Laufen, wenn Sie Sportlerin sind) schnell anhalten und starten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Funktion:

10. Wie würden Sie die Funktionsfähigkeit Ihres Knies auf einer Skala von 0 bis 10 beurteilen, wobei 10 eine normale und ausgezeichnete Funktionsfähigkeit bezeichnet und 0 die Unfähigkeit, irgendeine Ihrer normalen taglichen Aktivitäten, darunter möglicherweise auch Sport, auszuführen?

Funktionsfähigkeit vor der Knieverletzung:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Derzeitige Funktionsfähigkeit Ihres Knies:

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

_____ %

H Danksagung

H Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Andreas B. Imhoff dafür bedanken, dass ich diese Studie in der Abteilung für Sportorthopädie des Klinikums rechts der Isar der Technischen Universität München durchführen und mich wissenschaftlich mit einer komplexen klinischen Fragestellung auseinandersetzen durfte. Die Zeit als Doktorand in der Abteilung für Sportorthopädie hat mich nachhaltig geprägt.

Ganz herzlich möchte ich meinen Dank gegenüber Herrn PD Dr. med. Philip B. Schöttle ausdrücken, der mir dieses hochinteressante Thema ermöglichte und anvertraute. Insbesondere darf ich mich für die detaillierte Einführung in das Themengebiet mit Vermittlung der Prinzipien des eigenständigen wissenschaftlichen Arbeitens und für den gewährten Freiraum zur Durchführung dieser Studie bedanken. Die freundliche und konstruktive Mitbetreuung durch Herrn PD Dr. med. Knut Beitzel wusste ich sehr zu schätzen.

Zudem möchte ich mich bei allen teilnehmenden Patienten bedanken, die diese Studie erst möglich gemacht haben.

Auch dem gesamten Team der Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie gilt für die freundliche Zusammenarbeit mein Dank.

An dieser Stelle möchte ich meine tiefe Dankbarkeit und Anerkennung gegenüber meinen Eltern zum Ausdruck bringen. Sie waren stets für mich da und ihre kontinuierliche Unterstützung ermöglichte mir meinen Werdegang.