

Aus der Klinik für Orthopädie
der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Rüdiger Krauspe

Eine experimentelle Studie zur Beurteilung der Position der Patella im
Verhältnis zur Gelenklinie mit Hilfe des COR-Index (Center of rotation).
Validierung der Messmethode und Vergleich mit etablierten Patella-
Indices.

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

vorgelegt von

Herrn Julius Steegmann

2019

Als Inauguraldissertation gedruckt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
gez.:

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Nikolaj Klöcker

Erstgutachter: PD Dr. med. Jörn Kircher

Zweitgutachter: PD Dr. med. Jan-Peter Grassmann

Zusammenfassung

Die seitliche Röntgenaufnahme des Kniegelenks hat sich als geeignete Methode zur Beurteilung von pathologischen Veränderungen etabliert. Eine veränderte Höhe der Patella kann mit zahlreichen Kniepathologien einhergehen. Zur Bestimmung der Patellahöhe existieren verschiedene Methoden, die sich an unterschiedlichen Punkten und somit unterschiedlichen Längenverhältnissen orientieren. Die häufigste Anwendung finden die Methoden nach Caton-Deschamps, Blackburne-Peel, Insall-Salvati und dem modifizierten Insall-Salvati. Die Methoden werden als indirekt bezeichnet, da sie sich nicht auf patello-femorale, sondern auf patello-tibiale Referenzpunkte beziehen. Je nach ermitteltem Wert, kann die Patellahöhe als "norma" (normale Höhe), "infera" (tiefstehend) oder "alta" (hochstehend) klassifiziert werden.

Von entscheidender Bedeutung für die Bestimmung der Patellahöhe ist allerdings die Lagebeziehung zum femoralen Bezugspunkt. Veränderungen der Biomechanik im patello-femoralen Gelenk haben sich als schädlich erwiesen. Die zunehmende klinische Bedeutung des patello-femoralen Gelenks (z.B. bei Knieschmerzen, Knieinstabilität oder Gonarthrose) unterstützt die Notwendigkeit einen Index zur Bestimmung der Patellahöhe mit femoralen Bezugspunkt zu etablieren. Zusätzlich sollte dieser sowohl prä- als auch postoperativ messbar sein, um eine Verlaufskontrolle zu ermöglichen.

Die COR-Methode ("center of rotation") orientiert sich an der dorsalen Femurkondyle als Referenzpunkt zur Patella und spiegelt somit das wahre Verhältnis des patello-femoralen Gelenks wieder. Es wird durch den Bezug zur Mitte des größten diagonalen Durchmessers der Patella gewährleistet, dass auch postoperativ der gleiche Referenzpunkt gegeben ist.

Ziel dieser Arbeit ist die Validierung dieser Messmethode und der Vergleich mit den bereits etablierten Patella-Indices. Dazu wurden elf verschiedene Indices bei insgesamt 429 Knie-Röntgenaufnahmen bestimmt. In dem Kollektiv befanden sich 109 Patienten mit Gonarthrose, bei denen im Verlauf eine totale Kniearthroplastie (TKA) durchgeführt wurde. Diese Patienten wurden präoperativ von einem weiteren Untersucher radiologisch vermessen und ausgewertet. Gleichzeitig erfolgte auch eine zweite zeitlich getrennte und verblindete Messung, um auch die Intraobserver-Reproduzierbarkeit der Indices zu analysieren. Alle Patienten wurden randomisiert und nach Alter, Geschlecht, Knieseite sowie Röntgen-Indikation kategorisiert und ausgewertet. Im Rahmen der Auswertung erfolgte auch eine altersspezifische Einteilung der Patienten, um die Entwicklung der Strecken und Indices im Verlauf beurteilen zu können.

Die COR-Methode stellt eine neue und einfache Methode zur Auswertung der Patellahöhe dar. Der Mittelpunkt der dorsalen Femurkondyle erfüllt das Kriterium, dass sich die Patellahöhe auf den Femur beziehen sollte. Die Normwerte für den von uns empfohlenen COR2-Index liegen bei 0,38 (SD \pm 0,1). Zur genauen Definition klinisch relevanter Bereiche bedarf es allerdings noch weiterer Untersuchungen mit großen, homogenen Patientenkollektiven. Für den COR2-Index zeigte sich ein sehr guter Intra- und Inter-Observer-Vergleich mit 0,715 bzw. 0,702. Damit erreicht der COR2-Index ähnlich gute Werte im Vergleich zu den gut untersuchten bereits etablierten Indices. Ob die Reproduzierbarkeit der Werte auch nach operativen Eingriffen, wie einer TKA, gegeben ist, muss noch überprüft werden. Neben der Anwendung zur Verlaufskontrolle und der Diagnostik von Kniepathologien bietet die COR-Methode eine gute Möglichkeit die Patellahöhe nach operativen Eingriffen beurteilen zu können.

Abstract:

The lateral radiograph of the knee joint has established itself as a suitable method for the assessment of pathological changes. An altered height of the patella can be associated with various knee pathologies. For height determination, there are numerous methods that are based on different points and thus different length ratios. The most common use is found in the methods of Caton-Deschamps, Blackburne-Peel, Insall-Salvati and modified Insal-Salvati. The methods are described as indirect, as they rather refer to patello-tibial than to patello-femoral reference points. Depending on the determined values, the patellar height can be classified as "norma" (normal height), "infera" (low height) or "alta" (high height). Of crucial importance for the determination of the patellar height, however, is the positional relationship to the femoral reference point. Changes in biomechanics in the patello-femoral joint were proved to be harmful. The increasing clinical significance of the patello-femoral joint (e.g. knee pain, knee instability or gonarthrosis) supports the need to establish an index for determining patella height with a femoral point of reference. In addition, this should also be measurable pre- and postoperatively.

The COR method ("center of rotation") is based on the dorsal femoral condyle as a reference point to the patella and thus reflects the true relationship of the patello-femoral joint. By referring to the center of the largest diagonal diameter of the patella it is ensured that the same reference point can be found postoperatively. The aim of this work is the validation of this measurement method and the comparison with the already established patella indices. For this purpose, 11 different indices were determined in a total of 429 knee x-rays. The group included 109 patients with gonarthrosis who underwent total knee arthroplasty (TKA). These patients were radiologically measured and evaluated preoperatively by another examiner. At the same time, a second time-separated and blinded measurement was carried out to analyze the intraobserver reproducibility of the indices. All patients were randomized, categorized and evaluated by age, gender, knee-side and x-ray indication. The evaluation also included an age-specific classification of the patients in order to assess the development of the distances and indices during the course of evaluation.

The COR method provides a new and simple method for evaluating the patellar height. The midpoint of the dorsal femoral condyle fulfills the criteria that the patellar height should refer to the femur. The standard values for the recommended COR2 index are 0.38 (SD \pm 0.1). To define the areas of clinical relevance, however, further investigations are needed with large, homogeneous patient populations. The COR2 index showed a very good intra- and inter-observer comparison with 0.715 and 0.702, respectively. As a result, the COR2 index achieves similarly good values compared to the already well-established indices. Whether the reproducibility of the values even after surgical interventions, such as a TKA, is given, must still be checked. In addition to the follow-up procedure and the diagnosis of knee pathologies, the COR method offers a good opportunity to evaluate the patellar height after surgical procedures.

Abkürzungsverzeichnis

BPI	Blackburne-Peel-Index
CDI	Caton-Deschamps-Index
COR	Center of rotation
COR I	COR-Index I
COR II	COR-Index II
HTO	Hohe tibiale Osteotomie
ISI	Insall-Salvati-Index
J.	Jahre
lat.	Lateral
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
MI	Miura-Index
MISI	Modifizierter Insall-Salvati-Index
MMI I	Modifizierter Miura-Index I
MMI II	Modifizierter Miura-Index II
MMI III	Modifizierter Miura-Index III
MRT	Magnetresonanztomographie
n	Anzahl
Pat.	Patient
SD	Standardabweichung
TKA	Totale Kniearthroplastie
vs.	Versus

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	I/II
Abkürzungsverzeichnis.....	III
Inhaltsverzeichnis.....	IV
1 Einleitung.....	1
1.1 Anatomie.....	2
1.2 Diagnostik von pathologischen Veränderungen im Kniegelenk.....	4
1.3 Diagnostik der Gonarthrose.....	5
1.4 Die Stellung und Funktion der Patella.....	7
1.5 Methodik zur Bestimmung der Patellahöhe.....	9
1.6 Indices.....	10
1.7 Ziele der Arbeit.....	18
2 Material und Methoden.....	18
2.1 Bildgebende Verfahren.....	20
2.2 Datenverarbeitung/-erhebung.....	21
3 Ergebnisse.....	22
3.1 Intra- und Inter-Observer-Vergleich.....	22
3.2 Ergebnisse Gesamtkollektiv.....	23
3.3 Vergleich Frauen vs. Männer.....	24
3.4 Vergleich rechtes vs. linkes Knie.....	25
3.5 Vergleich der Patienten vor TKA vs. Restkollektiv.....	26
3.6 Vergleich der Altersgruppen.....	28
4 Diskussion.....	31
4.1 Diskussion des Patientengutes.....	40
4.2 Diskussion der Methodik.....	41
4.3 Diskussion der Indices.....	44
4.4 Diskussion der Ergebnisse.....	42
5 Schlussfolgerung.....	44
6 Ausblick.....	50
7 Bildverzeichnis.....	52
8 Tabellenverzeichnis.....	51
9 Literaturverzeichnis.....	52

1. Einleitung

Pathologische Veränderungen am Kniegelenk wie Instabilitäten, degenerative Abnutzungserscheinungen oder Knieschmerzen zeigen eine zunehmende Prävalenz. Dies stellt eine große medizinische, aber auch wirtschaftliche Herausforderung dar.

Um Patienten individuell einer adäquaten und kosteneffektiven Therapie zuführen zu können, bedarf es daher gezielter Diagnostik, um schnellstmöglich eine individuelle Lösung zu finden. Die drei Säulen der Basisdiagnostik bestehen aus Anamnese, klinischer Untersuchung und bildgebender Verfahren.

Das bildgebende Verfahren der ersten Wahl bei vielen Krankheitsbildern sind konventionelle Röntgenbilder in zwei Ebenen. Dreidimensionale Verfahren haben zum einen aktuell keine flächendeckende Verfügbarkeit und sind zum anderen im Rahmen der Strahlenhygiene nicht bei jedem Patienten als Screening-Maßnahme indiziert. Zusätzlich spielen die deutlich größeren finanziellen und zeitlichen Aspekte, die auch im Rahmen einer MRT-Diagnostik zu berücksichtigen sind, im Zeitalter zunehmender Ressourcenknappheit eine wichtige Rolle.

Daher ist aktuell die konventionelle Röntgenaufnahme Mittel der Wahl in der Basisdiagnostik bei unklaren Kniepathologien (DIETRICH et al. 2016).

Die Stellung der Patella hat eine große Bedeutung für das Kniegelenk. Die Höhe der Patella hat entscheidenden Einfluss auf die Biomechanik und wird je nach Stellung als "norma" (normale Höhe), "infera" (tiefstehend) oder "alta" (hochstehend) klassifiziert (SEIL et al. 2000).

Dass diese Einteilung hohe klinische Relevanz besitzt, zeigen zahlreiche Studien, die je nach Stellung der Patella Korrelationen zum anterioren Knieschmerz, arthrotischen Veränderungen und anderen Pathologien belegen (APARICIO et al. 1997, CATON & DEJOUR 2010, FROSCH et al. 2011). Es gibt zahlreiche Indices zur Beurteilung der Patellahöhe, ohne dass eine Methode als Goldstandard definiert werden kann.

Das Problem der am häufigsten verwendeten Methoden (Insall-Salvati-Index, modifizierter Insall-Salvati-Index, Blackburne-Peel-Index, Caton-Deschamps-Index und Miura-Index) ist, dass alle nur indirekt das Verhältnis der Patella zum Tibio-femoral-Gelenk abbilden (INSALL & SALVATI 1971, GRELSAMER & MEADOWS 1992, BLACKBURNE, J. S., AND T. E. PEEL. 1977, CATON et al. 1982, MIURA et al. 1997). Aus biomechanischer Sicht bezieht sich die Stellung der Patella allerdings auf das Drehzentrum des Kniegelenks. Die Versuche einen geeigneten Index zu etablieren, der das wahre Verhältnis der Patella zum Tibio-femoral-Gelenk darstellt, waren bisher ohne Erfolg.

Die meisten Versuche zur Bestimmung der Patellahöhe mit dem Femur als Referenz, haben sich als zu komplex oder neuartig erwiesen, um regelmäßig angewendet zu werden (NARKBUNNAM & CHAREANCHOLVANICH 2015).

Zusätzlich können weder der Blackburne-Peel-Index, noch der Caton-Deschamps-Index als Methode zur Verlaufskontrolle nach einer totalen Kniearthroplastie (TKA) oder nach hoher tibialer Osteotomie (HTO) verwendet werden, da postoperativ die Referenzpunkte, die für die Bestimmung der Indices notwendig sind, nicht mehr vorhanden sind.

Daher wurde eine neue Messmethode entwickelt, bei der sich die Patellahöhe auf das Zentrum der dorsalen Femurkondyle bezieht. Diese Methode hat zwei wesentliche Vorteile. Zum einen bezieht sich die Patella auf einen Referenzpunkt, der durch das Femur definiert wird und ist daher biomechanisch schlüssig und sinnvoll. Zum anderen verändert sich das "center of rotation" (COR) der Femurkondyle postoperativ nicht und kann somit auch zur Verlaufskontrolle z.B. nach TKA oder HTO eingesetzt werden.

1.1 Anatomie

Um Bewegungen des menschlichen Körpers zu ermöglichen, werden Gelenke als Verbindungen zwischen den Knochen benötigt. Sie dienen als Auffang-, Abschwäch- und Verteilungsinstrument von Druckstößen und Zugkräften sowie zur Übertragung von Krafteinwirkungen auf andere Skelettbestandteile (ZERVOS-KOPP 2013). Das Kniegelenk (Articulatio genus) ist das größte Gelenk des menschlichen Körpers und weist einen komplexen Aufbau mit kräftigen Bändern und der Biomechanik einer Roll-Gleitbewegung auf (ENGELHARDT & ALBRECHT 2009). Am Kniegelenk sind drei Knochen (Femur, Tibia und Patella) mit sechs Gelenkflächen beteiligt. Das distale Ende des Femur weist drei Gelenkflächen auf. Zwei für die Tibia auf dem Condylus medialis und lateralis und eine für die Kniescheibe (Facies patellaris). Um Knochenabreibungen bei Bewegungen zu verhindern, sind die Knochenenden mit hyalinem Knorpel überzogen. Der Knorpel besteht zu 95 % aus Knorpelmatrix und zu 5 % aus Knorpelzellen (Chondrozyten) (HÜTER-BECKER & KLEIN 2005). Der glatte Knorpel gleicht Unregelmäßigkeiten der Knochenstruktur aus und wirkt als elastisches, stoßdämpfendes Polster, das Krafteinwirkungen abfedern bzw. gleichmäßig über das Gelenk verteilen kann (ZERVOS-KOPP 2013, AIGNER & MCKENNA 2002)(KORF & SCHIEBLER 2007) (SÖDER & AIGNER 2011).

Die beiden walzenförmigen Kondylen sind nicht kreisförmig, sondern spiralig gekrümmt. Der größere Radius liegt vorn, das heißt, dass die Krümmung nach hinten-oben immer stärker

zunimmt. Zwischen den beiden Kondylen ist dorsal der Knochen zu einer tiefen Grube (Fossa intercondylaris) ausgespart, welche die Kreuzbänder aufnimmt. Etwa im Krümmungsmittelpunkt der Kondylen springen Knochenhöcker vor (Epicondylus medialis und lateralis), die dem Ursprung der Seitenbänder dienen.

Am proximalen Ende der Tibia stehen den beiden Femurkondylen recht flache Gelenkflächen (Condylus medialis und lateralis) der Tibia gegenüber. Zwischen den beiden Tibiakondylen bleiben Befestigungsstellen für die kräftigen Kreuzbänder („Kreuzbandhöcker“) frei von Gelenkknorpel. Sie bilden den Zentralpfeiler des Kniegelenks (ENGELHARDT & ALBRECHT 2009).

Die Kniescheibe (Patella) ist das größte Sesambein des menschlichen Körpers und ist in die Sehne des M. quadriceps femoris eingelagert, die zwischen Patella und Tibia als Kniescheibenband (Lig. patellae) bezeichnet wird. Oben ist die Patella rund (Basis patellae), unten läuft sie mit angedeuteter Spitze aus (Apex patellae). Ihre überknorpelte keilförmige Dorsalseite gleitet in der Führungsrinne des Femur. Die Patella hat drei Hauptaufgaben. Sie mindert wegen des Knorpelüberzugs die Reibung zwischen Sehne und Knochen. Gleichzeitig führt sie die Sehne und verhindert (zusammen mit den Haltebändern) deren seitliches Abgleiten. Zusätzlich hebt sie die Sehne von der Unterlage ab, so dass das Drehmoment des M. quadriceps femoris erhöht wird. Zwischen Patella und ihrer Führungsrinne im Femur befindet sich das Femoropatellargelenk (LIPPERT 2011).

Um ein Rotieren im Knie zu ermöglichen, befinden sich die Menisken als bewegliche Pfannen zwischen Femur und Tibia. Diese bestehen aus Faserknorpel-Halbringen (lat. Meniscus = Halbmond), die mit kräftigen Bändern in der Mitte zwischen den beiden Gelenkflächen verankert und auf der Seite mit der Gelenkkapsel verwachsen sind. Die Menisken sind im Querschnitt keilförmig. Die hohe Kante liegt außen, die niedrige innen. Die Femurkondylen ruhen jeweils in der Mitte direkt auf den Gelenkflächen der Tibia, peripher auf den Menisken und tragen daher einen wesentlichen Teil der Last. Beim Bewegen des Kniegelenks schieben die Femurkondylen die Menisken vor sich her. Beim Beugen rollen die Kondylen zurück und drängen die Menisken nach hinten. Wenn das Kniegelenk wieder in Streckung gebracht wird, gelangen sie wieder nach vorn. Bei der Außenrotation des Unterschenkels wird der laterale Meniskus auf der Tibia nach vorn geschoben und der mediale Meniskus zurückgezogen. Bei der Innenrotation ist es genau umgekehrt (ENGELHARDT & ALBRECHT 2009).

Femur und Tibia haben nur kleine Kontaktflächen. Die Kollateralbänder stabilisieren das Gelenk gegen Varus- und Valgusstress, wobei das mediale Kollateralband mehrschichtig in die mediale Kapsel integriert ist und vom Epicondylus femoris medialis zur medialen Tibia zieht, während das laterale Kollateralband extrakapsulär vom Epicondylus lateralis femoris zur

Fibulaspitze verläuft (ENGELHARDT & ALBRECHT 2009). Zusätzlich verstärken das vordere und das hintere Kreuzband das Kniegelenk. Das Lig. Cruciatum anterius (vorderes Kreuzband) zieht in der Fossa intercondylaris von hinten lateral oben zur Area intercondylaris anterior zwischen den Femurkondylen. Das Lig. Cruciatum posterius (hinteres Kreuzband) ist in etwa rechtwinklig zum vorderen Kreuzband und zieht von oben vorne medial nach unten hinten lateral zur Area intercondylaris posterior.

Das Kniegelenk wird von einer gemeinsamen Gelenkkapsel umhüllt, die wegen der Doppelkonstruktion der Gelenkkörper und des großen Bewegungsumfangs sehr weit ist. Die Gelenkhöhle wird durch die Gelenkkapsel begrenzt, die aus einer äußeren Bindegewebsschicht sowie einer elastischen, stark durchbluteten Innenhaut besteht. Chondrozyten bilden den einzigen Zelltyp des Gewebes und sind gleichzeitig für den Auf- und Abbau der Knorpelmatrix zuständig (LOESER 2004).

Die Gelenkkapsel umschließt notwendigerweise alle sechs Gelenkflächen des Kniegelenks (einschließlich Patella). Zur Minderung der Reibung ist die Hinterseite der Sehne mit der glatten Gelenkinnenhaut überzogen. Der Gelenkraum des Kniegelenks erstreckt sich deshalb bis weit oberhalb der Patella (bei gestrecktem Kniegelenk bis etwa 5 cm über den Oberrand der Kniescheibe). Diese Ausbuchtung des Gelenkraums übernimmt die Aufgaben eines Schleimbeutels (Bursa) und wird daher so genannt (LIPPERT 2011).

1.2 Diagnostik von pathologischen Veränderungen im Kniegelenk

Die Diagnostik von pathologischen Veränderungen im Bereich der Kniegelenke ist komplex und setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen (GIWNEWER et al. 2016). Da einzelne diagnostische Maßnahmen für sich allein keine gesicherten Schlüsse zulassen, wird eine Kombination aus Anamnese, klinischer Untersuchung und bildgebenden Verfahren eingesetzt, die ggf. um Arthroscopien und Laboruntersuchungen ergänzt werden. Je früher und genauer pathologische Prozesse im Kniegelenk diagnostiziert werden, desto besser können diese behandelt werden (RABENBERG 2013). Bei den meisten Patienten mit akuten Kniebeschwerden handelt es sich um Verletzungen, die keiner chirurgischen Intervention bedürfen. Der Meniskusschaden, die Verletzung der Kreuz- oder Seitenbänder und die Patellainstabilität sind die vier Hauptdiagnosen einer akuten Knieverletzung (SMITH & GREEN 1995). Häufig sind auch bei größeren Verletzungen die Anamnese, die klinische Untersuchung und Röntgenbilder zur

Diagnosestellung ausreichend. Dies gilt auch für einfache Meniskus- und Bandverletzungen, während bei komplexen oder zweifelhaften Fällen eine Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) hilfreich ist (ORLANDO JÚNIOR et al. 2015) (JACKSON et al. 2003). Dies gilt speziell für Fragestellungen zur Beurteilung von Bändern, Sehnen, Menisken und Knorpeldefekten (KARRASCH & GALLO 2014).

Als Entscheidungshilfe für die Indikationsstellung einer konventionellen Röntgenaufnahme bilden die “Ottawa knee rules” eine gute Orientierung. Hiernach gibt es bei Patienten mit akuten Knieschmerzen folgende fünf Indikationen für eine konventionelle Röntgenaufnahme (STIELL et al. 1997) (JACKSON et al. 2003):

1. Alter: > 55 Jahre
2. Erhöhte Knochenempfindlichkeit am Fibulaköpfchen
3. Erhöhte Knochenempfindlichkeit an der Patella
4. Beugefähigkeit auf weniger als 90° limitiert
5. Das Körpergewicht kann lediglich weniger als 4 Schritte gehalten werden

1.3 Diagnostik der Gonarthrose

Sollten sich die Knieschmerzen schon über einen längeren Zeitraum hinziehen und der Verdacht auf arthrotische Veränderungen im Kniegelenk bestehen, empfiehlt das ACR (American College of Rheumatology) die Anwendung folgender Check-Liste (GIWNEWER et al. 2016):

- Chronische Knieschmerzen (länger als sechs Wochen) und drei der folgenden Kriterien:
 - Alter: > 50 Jahre
 - Morgensteifigkeit für bis zu 30 Minuten
 - Krepitation bei aktiver Bewegung
 - Erhöhte Sensibilität bei knöcherner Palpation
 - Verdickung oder Knochenwachstum
 - Keine lokale Erwärmung bei Palpation

Zusätzlich dienen bildgebende Verfahren der objektiven Sicherung der Diagnose einer Arthrose. Es kann der Schweregrad festgestellt und der Krankheitsverlauf beurteilt werden. Auch zur Fehleranalyse nach einer TKA stellen bildgebende Verfahren ein wichtiges diagnostisches Werkzeug dar (HOFMANN et al. 2011). Den Goldstandard zur initialen

Diagnostik bei arthrotischen Veränderungen stellt die konventionelle Röntgenuntersuchung dar (DIETRICH et al. 2016).

Als typische Zeichen, die im Röntgenbild auf eine Arthrose schließen lassen, können die Verdichtung des Knochens (subchondrale Sklerosierung) und die Verschmälerung des Gelenkspalts angeführt werden. Da Knorpelgewebe eine geringere Dichte als Knochen aufweist und somit nicht auf Röntgenaufnahmen zu erkennen ist, wird die Breite des Gelenkspalts als indirekter Indikator für den Abrieb des Knorpels herangezogen. Je enger der Spalt auf dem Röntgenbild erscheint, desto mehr Knorpelgewebe ist bereits abgetragen. Als weitere Arthrose-typische Anzeichen können im Röntgenbild ungleichmäßige Gelenkflächen, Osteophyten und Geröllzysten sowie Veränderungen der Gelenkstellung bzw. Deformationen des Gelenks befundet werden (ZACHER & GURSCHE 2001) (MALGHEM et al. 2008). Solche Veränderungen können bereits bei 1 % der Personen im Alter von 25-34 Jahren nachgewiesen werden. Im Alter von 75 Jahren und älter können bei ca. 50 % der untersuchten Personen, entsprechende Arthrose-typische Zeichen festgestellt werden (LITWIC et al. 2013). Klinische Symptome werden ab dem mittleren Alter zunehmend beobachtet (ENGLUND 2010). Entsprechend der zugrundeliegenden Kriterien zur Beurteilung einer Arthrose bestehen teilweise deutliche Diskrepanzen in der Prävalenz (CULVENOR et al. 2015) (BOESEN et al. 2017). Die Arthrose selbst gilt weltweit als die häufigste Gelenkerkrankung des erwachsenen Menschen (LITWIC et al. 2013). Da sie vornehmlich im höheren Lebensalter auftritt, ist angesichts des demografischen Wandels und des damit einhergehenden wachsenden Anteils an alten und sehr alten Menschen in den nächsten Jahrzehnten mit einem Anstieg des Vorkommens zu rechnen (RABENBERG 2013). Für die Beurteilung des Arthrosegrades im Kniegelenk ist derzeit die Schweregradeinteilung nach Kellgren und Lawrence der Goldstandard (KELLGREN 1956)(GUNTER SPAHN ET AL. 2016).

Eine zunehmende Bedeutung wird, neben der tibio-femorale Arthrose, auch der, in der Prävalenz steigenden patello-femorale Degeneration zugesprochen. In einer Studie zur Untersuchung der Arthrose-Prävalenz im Patello-femoral-Gelenk konnten Hart et al. 2017 zeigen, dass bei 43 % der Patienten, die Knieschmerzen oder ein symptomatisches Knie hatten, Arthrose-typische Veränderungen in der Röntgenaufnahme festgestellt werden konnten (HART et al. 2017). Entsprechend intensiv sind die Forschungsbemühungen, um die Bereiche der Prävention, Diagnostik und Therapie zu verbessern (KOBAYASHI et al. 2016).

Anderweitige bildgebende Verfahren wie die Magnetresonanztomographie, Computertomographie, Szintigraphie oder Sonographie werden seltener eingesetzt. Die Indikation für eine erweiterte Bildgebung bilden Gelenkbeschwerden, deren Ursache nach Anamnese sowie klinischer und radiologischer Untersuchung noch unklar sind bzw. eine Besserung bei eingeleiteter Standardtherapie ausgeblieben ist (RABENBERG 2013). Der Zustand

des Gelenkknorpels und der Gelenkinnenhaut kann darüber hinaus mittels Gelenkspiegelung, der Arthroskopie, beurteilt werden. Da bei diesem operativen Eingriff Komplikationen wie Blutungen oder Entzündungen hervorgerufen werden können, sollte sie in aller Regel erst nach Durchführung aller anderweitigen diagnostischen Möglichkeiten und vor allem als Therapeutikum eingesetzt werden. Blutwerte, die für eine Arthrose typisch sind und eine Verlaufskontrolle ermöglichen würden, gibt es zum aktuellen Zeitpunkt nicht (GIWNEWER et al. 2016). So dient die Blutuntersuchung vor allem dem Ausschluss anderer Erkrankungen mit ähnlichen Beschwerdebildern, wie rheumatoider Arthritis oder Gicht. Auch die Gelenkflüssigkeit kann labortechnisch untersucht werden, vor allem um eine entzündlich-rheumatische Erkrankung oder Infekte auszuschließen (ZACHER & GURSCHE 2001)(HACKENBROCH MH 2002) (RABENBERG 2013).

1.4 Die Stellung und Funktion der Patella

Das patello-femorale Gelenk spielt eine wichtige Rolle im Knie-Streckmechanismus. Die Patella wirkt dabei wie ein Hebelarm bei der Streckbewegung und verbessert so die Quadrizepsstärke um 30-50 % (KREVOLIN et al. 2004). Dabei beeinflusst die Höhe der Patella entscheidend die Kraftwirkung auf das patello-femorale Gelenk. Die Stellung der Patella wird durch die Länge des Lig. Patellae und die Lokalisation der Tuberositas tibiae bestimmt. Eine Patella alta beschreibt eine Situation, in der die Position der Patella als hoch gilt. Dies kann mit einem geringeren patello-femoralem Kontakt einhergehen, der zu Schmerzen oder Instabilität führen kann (CATON & DEJOUR 2010) (GRANA & KRIEGSHAUSER 1985) (INSALL & SALVATI 1971, DIETRICH et al. 2016). Eine Patella infera hingegen ist eine tiefsitzende Kniescheibe, die mit einem begrenzten Bewegungsumfang (ROM=“ range of motion“) assoziiert sein kann und gehäuft mit dem Morbus Osgood-Schlatter und patello-femoraler Arthritis vergesellschaftet ist (s. Abb. 1) (APARICIO et al. 1997).

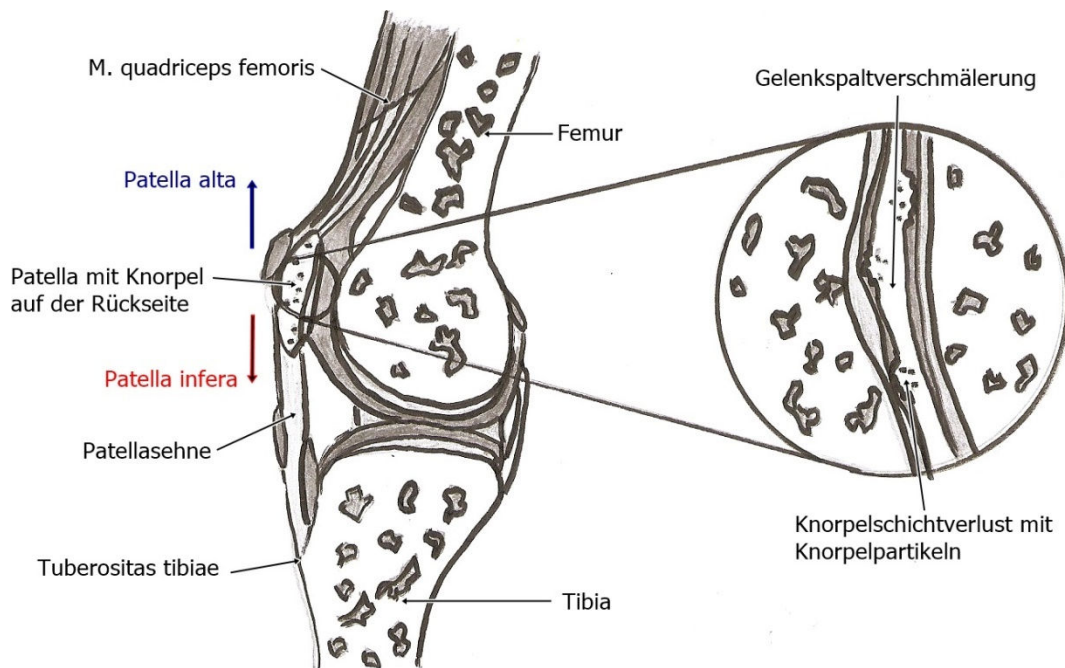


Abbildung 1 - Das Kniegelenk in sagittaler Projektion (eigene Skizze modifiziert nach v. Lanz u. Wachsmuth 1972)

Daher wird zum Erreichen einer günstigen Gelenkbelastung und dem Erhalt bzw. der Wiederherstellung des patello-femorales Gelenks der biomechanischen Funktion eine wichtige Rolle zugesprochen (SHARMA et al. 2008). Dies spiegelt sich auch in Untersuchungen nach TKA wieder. Es hat sich gezeigt, dass die patelläre Symptomatik ein zuverlässiger Parameter für den Erfolg oder Misserfolg eines totalen Knieersatzes ist. Patienten, die keine peripatellären Symptome oder Patella-Komplikationen erleben, haben in der Regel ein erfolgreiches Ergebnis. Umgekehrt reflektieren peripatelläre Symptome oder Komplikationen in der Regel ein zugrunde liegendes Problem mit der chirurgischen Technik, dem Implantatdesign oder beidem (BARRACK & BURAK 2001). Ob bei Prothesenimplantation primär ein Retropatellarersatz durchgeführt werden sollte, wird kontrovers diskutiert. Eine einheitliche Empfehlung existiert bislang nicht (WATERS & BENTLEY 2003)(CATON & DEJOUR 2010)(BADHE et al. 2001)(CHEN et al. 2013). Es ist daher davon auszugehen, dass die Wiederherstellung der Funktion des Patellofemoralgelenks entscheidend zum Erfolg des Gelenkersatzes am Knie beiträgt.

Welchen Kräften das Gelenk während Alltagsaktivitäten unterliegt, wurde anhand eines muskuloskelettalen Modells von Heller et al. untersucht (HELLER et al. 2003). Die maximale Belastung des patello-femorales Gelenks trat beim Treppensteigen bei ca. 55° Flexion auf. Die Berechnungen zeigten, dass nicht nur das tibio-femorale, sondern auch das patello-femorale Gelenk während dynamischer Alltagsaktivitäten erheblichen mechanischen Belastungen unterliegt.

Eine operative Veränderung der Kniescheibe kann zu erheblichen Problemen für Patienten führen. So berichteten Star et al., dass patello-femorales Overstuffing durch ein überdimensioniertes Femurschild oder durch eine Überhöhung der Patelladicke bei Retropatellarersatz zu anterioren Knieschmerzen führen und eine Revisionsoperation notwendig machen kann (STAR et al. 1996). Die Überhöhung der Patelladicke führt zu einer starken Zunahme der Scher- und Kompressionskräfte. Schon bei einer Überhöhung von 2 mm bzw. einer Zunahme der Patelladicke von 10 % treten signifikant erhöhte Kräfte auf (STAR et al. 1996)(OISHI et al. 1996). Als Folge kann eine verminderte Beugefähigkeit oder ein, durch die Belastung, erhöhter Prothesenabrieb auftreten, der ein frühzeitiges Implantatversagen bedeuten kann (DUDA et al.). Die Stellung der Patella hat auch großen Einfluss auf Patellainstabilitäten. Die damit häufig verbundene Patellaluxation kann zu erheblichen Einschränkungen der Aktivität und langfristig zur Arthrose führen (KOH & STEWART 2015). Entscheidend zum Verständnis zur Entstehung von Patellaluxationen ist die Biomechanik des Patellofemoralgelenks. Es handelt sich um ein komplexes System aus statischen, aktiven und passiven Stabilisierungsfaktoren. Neuere Studien haben gezeigt, dass das mediale patello-femorale Ligament der wichtigste passive Stabilisator der Patella ist (FROSCHE et al. 2011). Neben der Patella alta gilt auch ein großer Abstand zwischen Tuberositas tibiae und Trochlearrolle als Risikofaktor für eine Patellainstabilität (LESIC et al. 2010, FROSCHE et al. 2011). Ein erstmaliges Auftreten einer Patellaluxation ohne hohes Rezidivrisiko sollte konservativ durch Stärkung der Quadrizeps-Muskulatur therapiert werden. Die operative Behandlung konzentriert sich zunehmend auf die Pathomorphologie der Luxation (LESIC et al. 2010, FROSCHE et al. 2011, KOH & STEWART 2014). Eine Kombination unterschiedlicher operativer Verfahren kann notwendig sein, um die vielfältigen Faktoren, die zu Schmerzen, Funktionsverlust und zu einem erhöhten Rezidivrisiko führen, vollständig zu behandeln (KOH & STEWART 2014).

1.5 Methodik zur Bestimmung der Patellahöhe

Von entscheidender Bedeutung für die Bestimmung der Patellahöhe ist die laterale Projektion, in der die Patella in ihrer Lagebeziehung zu Femur und Tibia zu analysieren ist. Zur Höhenbestimmung existieren zahlreiche Methoden, die sich an unterschiedlichen Punkten und somit verschiedenen Längenverhältnissen orientieren. Die häufigste Anwendung finden die Methoden nach Caton-Deschamps, Blackburne-Peel, Insall-Salvati und dem modifizierten Insall-Salvati. Je nach ermitteltem Wert kann die Patellahöhe als "norma" (normale Höhe),

“infera“ (tiefstehend) oder “alta“ (hochstehend) klassifiziert werden. Bei der Methode nach Caton-Deschamps (CATON et al. 2016) wird das Längenverhältnis zwischen der Länge der patellaren Gelenkfläche zum kürzesten Abstand vom unteren Patellapol und der Tibiavorderkante bestimmt. Bei Werten von 0,5 handelt es sich um einen Normalwert, während Werte größer als 1 einer Patella alta und Werte kleiner als 0,4 einer Patella infera entsprechen. Die Methode von Insall – Salvati (ISI) bedient sich hingegen des größten kraniokaudalen Patelladurchmessers und dem Abstand des kaudalen Patellapols zur Tuberositas tibiae (INSALL & SALVATI 1971). Bei gespannter Patellarsehne beträgt dieses Verhältnis ungefähr 1,0. Das Verhältnis der Länge zwischen kaudalem Pol der patellaren Gelenkfläche und der Tuberositas tibiae zur Länge der patellaren Gelenkfläche (GRELSAMER & MEADOWS 1992) wird als modifizierter Insall-Salvati-Index (MISI) bezeichnet. Normwerte für die Patellahöhe liegen bei 1,5 [1,2-2,0]. Ein Wert >2,0 spricht für eine Patella alta und ein Wert <1,2 für eine Patella infera. Die Methode nach Blackburne-Peel ist unabhängig von der distalen Insertionsstelle der Patellarsehne und der Form der Patella und misst das Verhältnis zwischen der Länge der patellaren Gelenkfläche und dem Abstand zwischen kaudalem Pol der patellaren Gelenkfläche und dem anterioren Punkt des Tibiaplateaus (BLACKBURNE, J. S., AND T. E. PEEL. 1977). Der Mittelwert dieses Verhältnisses liegt bei 0,8 [0,5-1].

1.6 Indices

1. Insall-Salvati-Index

Der *Insall-Salvati-Index (ISI)* (INSALL & SALVATI 1971) wird in einer seitlichen Röntgenaufnahme in 30° Beugung berechnet. Dabei wird die Länge des Lig. patellae (*A*) und die größte diagonale Länge der Patella ausgemessen (*B*) und der Quotient aus diesen Messwerten gebildet (Abb. 2) (KUMAR et al. 2014) (ANAGNOSTAKOS et al. 2011). Der Insall-Salvati-Index bleibt vom „tibial slope“ unbeeinflusst (SCHRÖTER et al. 2012a). Normwerte für die Patellahöhe beim ISI liegen bei $1 \pm 0,2$ SD (BERG et al. 1996).

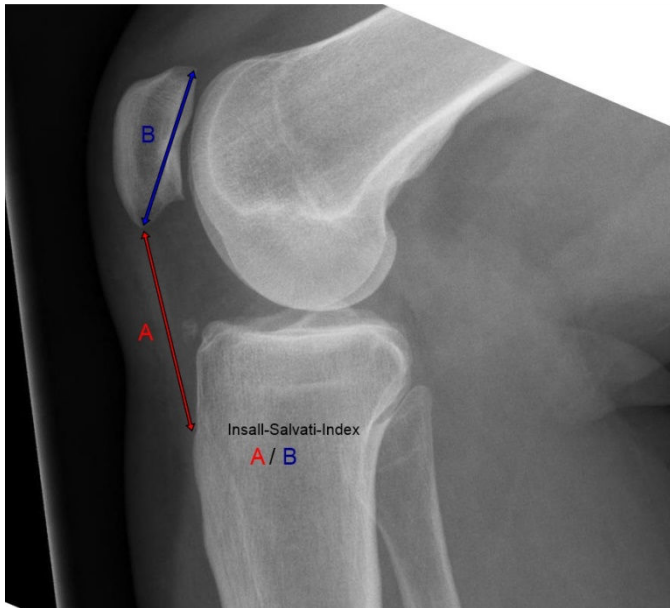


Abbildung 2 – Insall-Salvati-Index

2. Modifizierter Insall-Salvati-Index

Der modifizierte *Insall-Salvati-Index (MISI)* wird in einer seitlichen Röntgenaufnahme in 30° Beugung berechnet. Dabei wird der Quotient aus dem Abstand zwischen dem kaudalen Ende der Patellagelenkfläche und der Insertionsstelle der Patellarsehne (*A*) durch die Länge der Patellarrückfläche (*B*) gebildet (Abb. 3). Normwerte für die Patellahöhe liegen bei 1,5 [1,2-2,0]. Ein Wert $>2,0$ spricht für eine Patella alta und $<1,2$ für eine Patella infera (GRELSAMER & MEADOWS 1992).

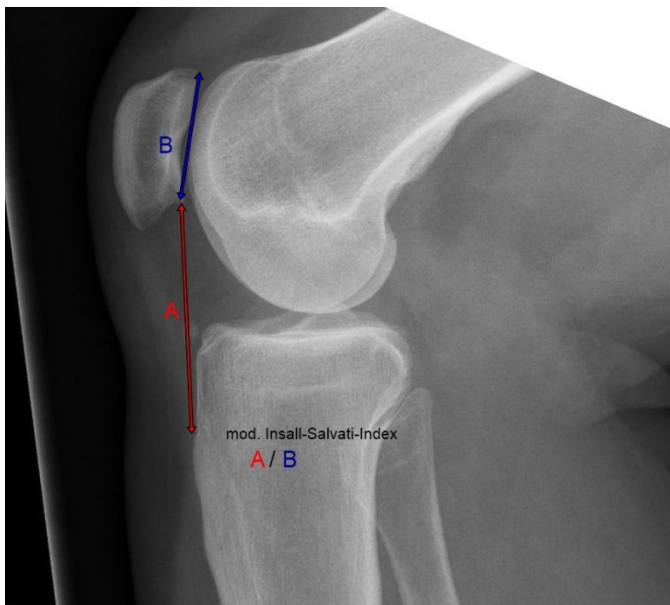


Abbildung 3 – modifizierter Insall-Salvati-Index

3. Caton-Deschamps-Index

Der *Caton-Deschamps-Index (CDI)* (CATON et al. 1982) wird an der seitlichen Röntgenaufnahme in 30° Beugung ausgemessen. Dabei wird der Quotient aus dem Abstand zwischen dem kaudalen Ende der Patellagelenkfläche und dem ventralen Tibiaplateau (*A*) durch die Länge der Patellarückfläche (*B*) gebildet (Abb. 4). Durch eine Veränderung des „tibial slope“ kann eine Verminderung oder Vergrößerung des Abstands der Patella zum ventralen Tibiaplateau resultieren (SCHRÖTER et al. 2012a). Normwerte für die Patellahöhe beim CDI liegen bei 0,97 [1,3-0,06] (BERG et al. 1996).

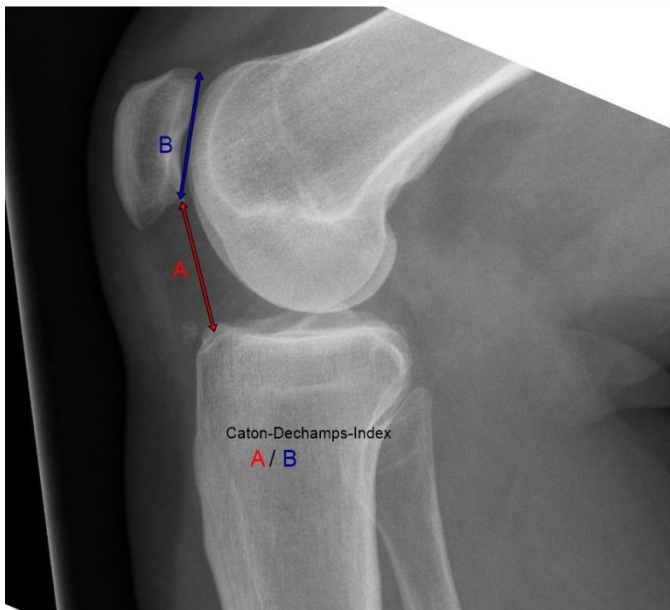


Abbildung 4 – Caton-Deschamps-Index

4. Blackburne-Peel-Index

Der *Blackburne-Peel-Index (BPI)* wird in der seitlichen Röntgenaufnahme in 30° Beugung bestimmt (BLACKBURNE, J. S., AND T. E. PEEL. 1977). Dabei wird an das Tibiaplateau eine Tangente gelegt und die Senkrechte als Verbindung zur kaudalen Begrenzung der Patellagelenkfläche gebildet. Anschließend wird die Distanz der Senkrechten zwischen kaudaler Begrenzung der Patellagelenkfläche und der Tangente gemessen (*A*) und durch die Länge der Patellagelenkfläche (*B*) geteilt (Abb. 5). Der Index wird durch den „tibial slope“ beeinflusst. Eine Veränderung kann zur Vergrößerung oder Verminderung der Distanz *A* führen (SCHRÖTER et al. 2012b). Normwerte für die Patellahöhe liegen bei 0,6 [1-0,5] (BERG et al. 1996).

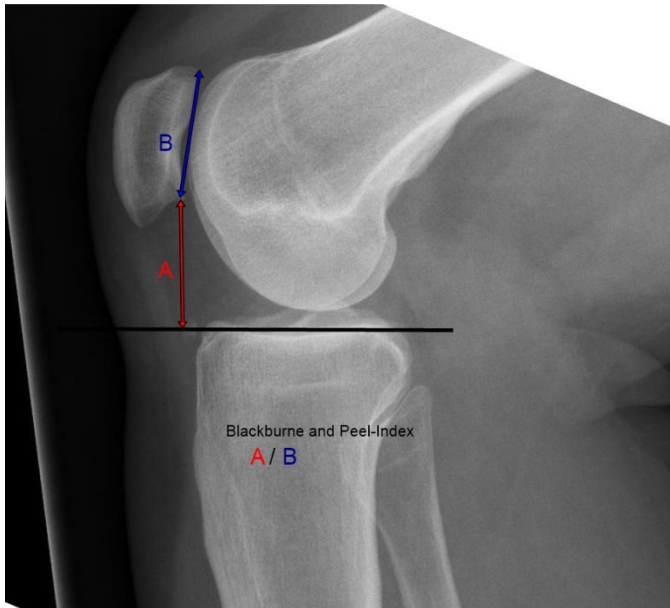


Abbildung 5 – Blackburne and Peel-Index

5. Miura-Index

Der *Miura-Index (MI)* wird in der seitlichen Röntgenaufnahme in 30° Beugung bestimmt. Dabei wird eine Senkrechte parallel zur Tibia gelegt und am kaudalen Pol der Femurkondyle eine Tangente gebildet. Anschließend wird von dieser Tangente im rechten Winkel eine Verbindung zum kaudalen Ende der Patellagelenkfläche (A) gebildet (Abb. 6). Diese Distanz wird durch die Länge der Patellagelenkfläche (B) geteilt (MIURA et al. 1997).

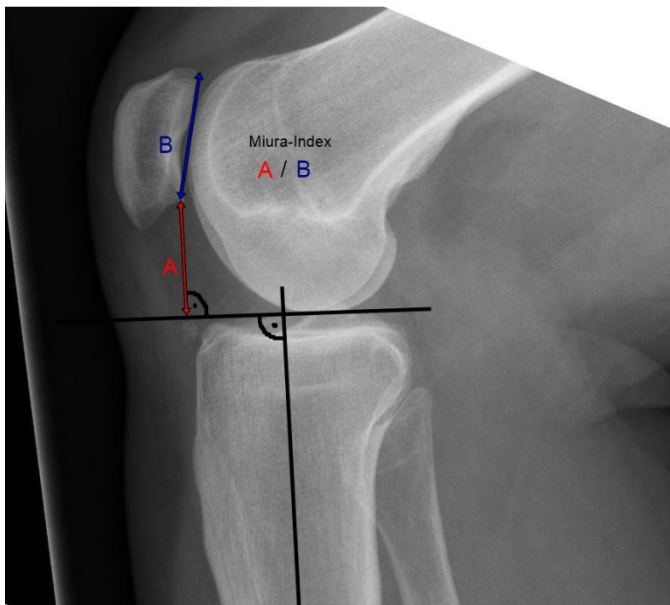


Abbildung 6 – Miura-Index

6. Modifizierter Miura Index I

Der *modifizierte Miura-Index I (MMI I)* (LAPRADE et al. 2010) wird in der seitlichen Röntgenaufnahme in 30° Beugung bestimmt. Dabei wird am kaudalen Pol der Femurkondyle eine zum Tibiaplateau parallele Linie gebildet. Anschließend wird die Strecke in der Verlängerung der Patellarückseite vom kaudalen Pol der Patellagelenkfläche (A) gemessen und dann durch die Länge der Patellagelenkfläche (B) geteilt (Abb. 7).

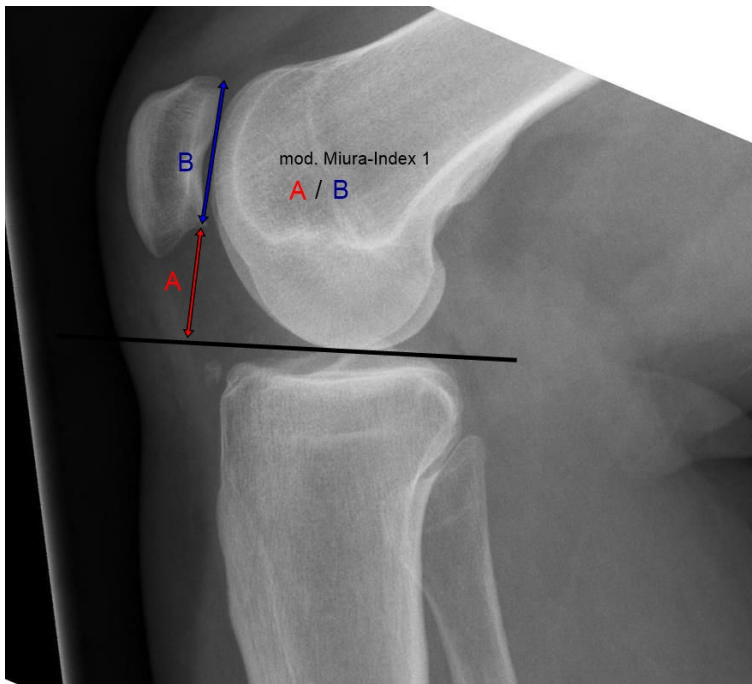


Abbildung 7 – modifizierter Miura-Index I

7. Modifizierter Miura Index II

Der *modifizierte Miura-Index II (MMI II)* (LAPRADE et al. 2010) wird in der seitlichen Röntgenaufnahme in 30° Beugung bestimmt. Dazu wird am kaudalen Pol der Femurkondyle eine zum Tibiaplateau parallele Linie gebildet. Anschließend wird von dieser Linie im rechten Winkel eine Verbindung zum kaudalen Ende der Patellagelenkfläche (A) gebildet. Diese Distanz wird durch die Länge der Patellagelenkfläche (B) geteilt (Abb. 8).

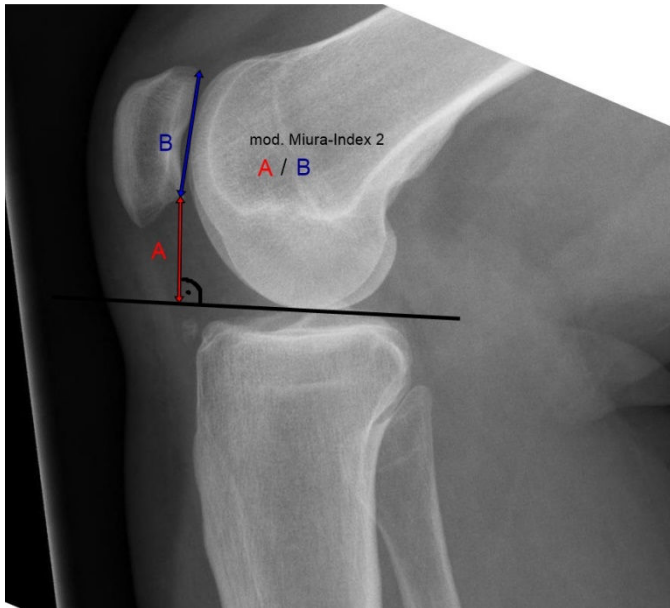


Abbildung 8 - modifizierter Miura-Index II

8. Modifizierter Miura Index III

Der *modifizierte Miura-Index III (MMI III)* (LAPRADE et al. 2010) wird in der seitlichen Röntgenaufnahme in 30° Beugung bestimmt. Dabei wird am kaudalen Pol der Femurkondyle eine zum Tibiaplateau parallele Linie gebildet. Anschließend wird von dieser Linie parallel zur Patellarsehne eine Verbindung zum distalen Ende der Patellagelenkfläche (A) gebildet. Diese Distanz wird durch die Länge der Patellagelenkfläche (B) geteilt (Abb. 9).

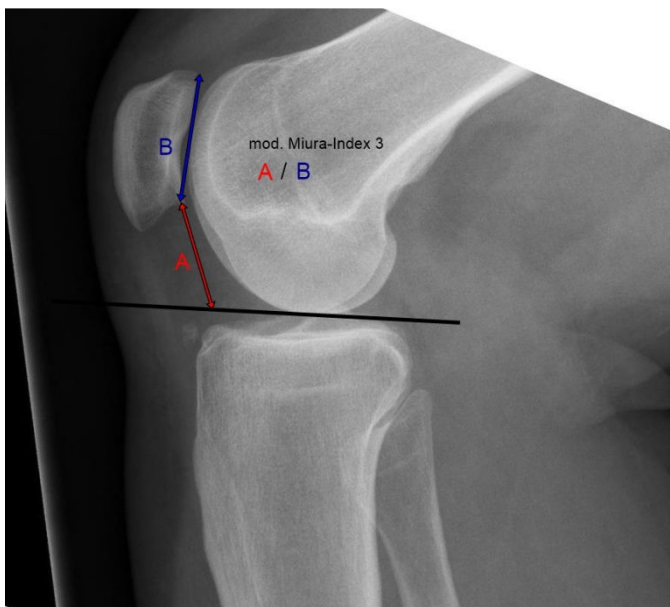


Abbildung 9 - modifizierter Miura-Index III

9. COR-Index

Der *COR-Index (COR)* wird in der seitlichen Röntgenaufnahme in 30° Beugung bestimmt. Es wird der konstante Rotationsmittelpunkt der dorsalen Kondyle bestimmt (SIEBOLD et al. 2010). Anschließend wird der Schnittpunkt im rechten Winkel aus der Linie vom Rotationsmittelpunkt zur verlängerten Patellagelenkfläche gebildet. Die Strecke von diesem Schnittpunkt zum kaudalen Ende der Patellagelenkfläche (A) wird nun durch die Länge der Patellagelenkfläche (B) geteilt (Abb. 10)(KIRCHER 2011). Der Normwert für den COR-Index ist 0,12 (SD $\pm 0,14$).

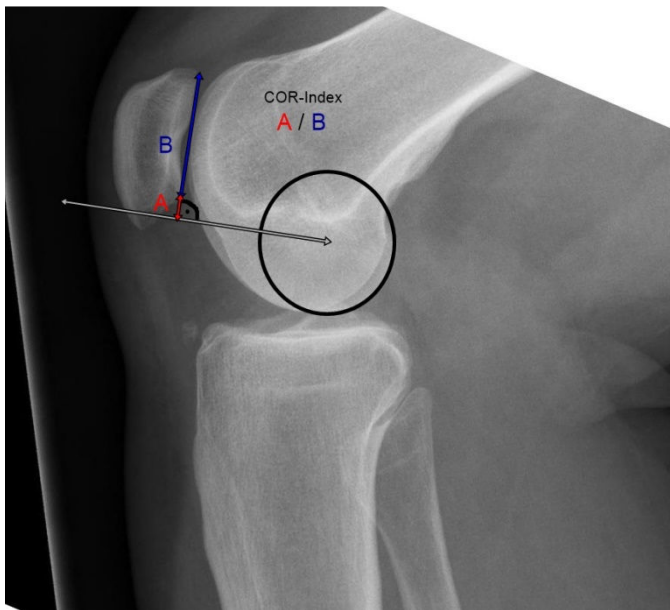


Abbildung 10 – COR-Index

10. COR-Index I

Der *COR-Index I (COR I)* wird in der seitlichen Röntgenaufnahme in 30° Beugung bestimmt. Es wird der konstante Rotationsmittelpunkt der dorsalen Kondylen bestimmt (Siebold et al. 2010). Anschließend wird der Schnittpunkt im rechten Winkel aus der Linie vom Rotationsmittelpunkt zur verlängerten Patellagelenkfläche gebildet. Die Strecke von diesem Schnittpunkt bis zur Mitte der Patellagelenkfläche (A) wird nun durch die Länge der Patellagelenkfläche (B) geteilt (Abb. 11) (KIRCHER 2011). Der Normwert für den COR1-Index beträgt 0,62 (SD $\pm 0,14$).

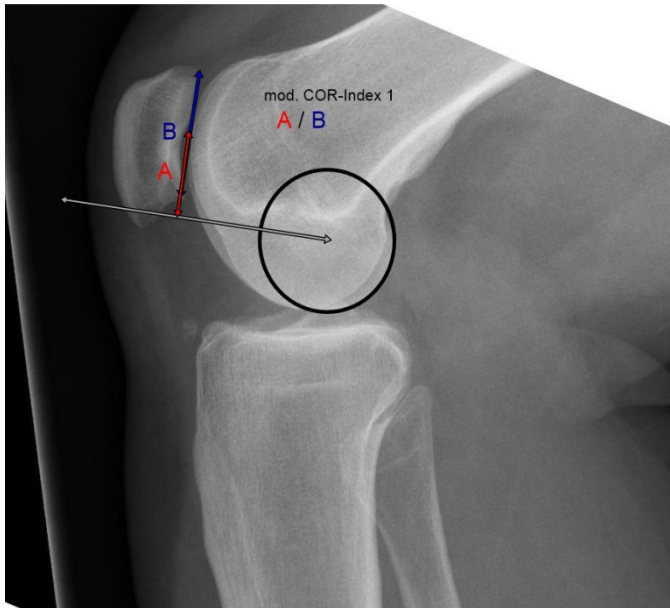


Abbildung 11 – COR-Index I

11. COR-Index II

Der *COR-Index II* (*COR II*) wird in der seitlichen Röntgenaufnahme in 30° Beugung bestimmt. Es wird der konstante Rotationsmittelpunkt der dorsalen Kondylen bestimmt (SIEBOLD et al. 2010). Anschließend wird der Schnittpunkt im rechten Winkel aus der Linie vom Rotationsmittelpunkt zur verlängerten Patellagelenkfläche gebildet. Die Strecke von diesem Schnittpunkt bis zur Mitte der größten diagonalen Länge der Patella (A) wird nun durch die Länge der Patellagelenkfläche (B) geteilt (Abb. 12) (KIRCHER 2011). Der Normwert für den COR2-Index beträgt 0,38 (SD ±0,1).

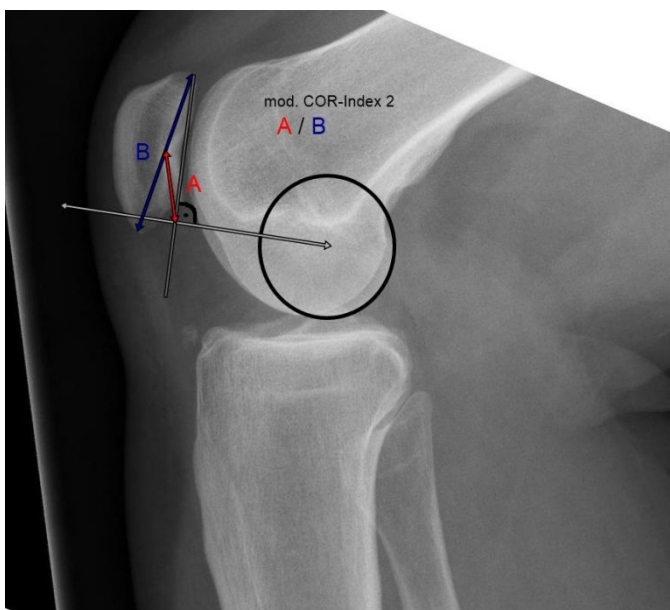


Abbildung 12 - COR-Index II

1.7 Ziele der Arbeit

Ziel dieser Studie war die radiologische Bestimmung der bekannten Indices zur Beurteilung der Patellaposition und die Validierung der neuen COR-Methode. Neben dem Vergleich der Indices sollte auch die Reproduzierbarkeit der Messstrecken durch einen Intra- und Interobserververgleich erfolgen. Gleichzeitig wurde eine Normwerttabelle für den COR-Index erstellt. Hierzu erfolgte die retrospektive Auswertung von insgesamt 429 Knie-Röntgen-Aufnahmen im seitlichen Röntgenbild. In dem Patientenkollektiv wurden 109 Patienten mit Gonarthrose vor totaler Kniearthroplastie vermessen und mit der Gesamtpopulation verglichen.

Hypothesen:

- Die COR-Methode ist geeignet für die Bestimmung der Position der Patella in Bezug zur Gelenklinie auf dem seitlichen Röntgenbild.
- Die COR-Methode ist im Vergleich mit den etablierten Messverfahren genauer und verlässlicher.
- Der COR-Index ist gut reproduzierbar und zur Verlaufskontrolle geeignet.
- Anhand der Messwerte kann eine Normwerttabelle für Normalbefunde für die COR-Methode erstellt werden.
- Die Position der Patella in Bezug zur Gelenklinie auf dem seitlichen Röntgenbild hat einen signifikanten Einfluss auf die Kniefunktion.

2 Material und Methoden

In dieser retrospektiven Untersuchung wurde anhand einer umfangreichen Literaturrecherche und eigener Forschungsergebnisse das Konzept der radiologischen Bestimmung der Patellahöhe in Bezug zur Gelenkebene evaluiert und die vorhandene klinische Evidenz erläutert. Es wurden insgesamt 489 Röntgenbilder vom Knie in Seitenaufnahme von 461 verschiedenen Patienten, die in einem Zeitraum von Januar 2006 bis September 2013 (ein Patient 2003) in der orthopädischen Klinik der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf radiologisch und klinisch untersucht wurden, in diese Studie inkludiert. Ein positives Ethikvotum zur Durchführung dieser Studie liegt vor (Studiennummer: 6189R; Registrierungs-ID: 2017114489).

Voraussetzungen für den Einschluss in die Studie waren, dass es sich um erwachsene Patienten handelt, bei denen radiologisch keine Epiphysenfuge mehr nachweisbar war und ein Alter von mehr als 18 Jahren erreicht hatten. Zusätzlich wurden Patienten mit relevanten Voroperationen wie z.B. Frakturen, TKA oder HTO ausgeschlossen. Bei extremer Knieangulation wurden die Röntgenbilder ebenfalls nicht in die Studie inkludiert. Somit wurden 60 Patienten, bei denen die Epiphysenfuge noch messbar war oder das 18. Lebensjahr zum Zeitpunkt der Untersuchung noch nicht vollendet war, von der Teilnahme dieser Studie ausgeschlossen.

Diese Kriterien wurden gestellt, um das Patientenkollektiv zu vereinheitlichen und somit eine Vergleichbarkeit mit den bisher etablierten Indices zur radiologischen Analyse von seitlichen Röntgenaufnahmen zu ermöglichen.

Ein- und Ausschlusskriterien für die untersuchten Patienten:

<ul style="list-style-type: none"> • Einschlusskriterien:
<ul style="list-style-type: none"> ○ Alter: >18 Jahre ○ Epiphysenfuge nicht mehr erkennbar ○ Röntgenbild beurteilbar
<ul style="list-style-type: none"> • Ausschlusskriterien:
<ul style="list-style-type: none"> ○ Knie-Prothesen jeglicher Art ○ Röntgenbild nicht beurteilbar ○ Extreme Angulation ○ Relevante Voroperationen (z.B. HTO, Frakturen)

Bei den Patienten wurden folgende Parameter erfasst:

<ul style="list-style-type: none"> • Alter • Geschlecht • Knieseite • Röntgen-Indikation
--

Innerhalb des Patientenkollektivs von 429 Patienten befanden sich 109 Patienten mit Gonarthrose, bei denen im Verlauf eine TKA durchgeführt wurde. Diese Patienten wurden präoperativ von einem weiteren Untersucher radiologisch vermessen und ausgewertet. Gleichzeitig erfolgte auch eine zweite zeitlich getrennte und verblindete Messung, um auch die Intraobserver-Reproduzierbarkeit der Indices zu analysieren. Alle Patienten wurden randomisiert und nach Alter, Geschlecht, Knieseite sowie Röntgen-Indikation kategorisiert und ausgewertet. Im Rahmen der Auswertung erfolgte auch eine altersspezifische Einteilung der

Patienten, um die Entwicklung der Strecken und Indices im Verlauf beurteilen zu können. Die statistische Analyse erfolgte mit SPSS 17.0. Hier wurden folgende Analysen durchgeführt:

- U-Test nach Mann-Whitney für unabhängige Stichproben
- T-Test für abhängige Stichproben
- Bonferroni-Test
- Intraclass Korrelationskoeffizient (ICC)

2.1 Bildgebende Verfahren

Die, mit dem Multix Top Röntgengerät der Firma Siemens, erzeugten digitalen Bilder konnten im Unterschied zum klassischen Röntgenfilm problemlos nachbearbeitet werden z.B. durch Kantenschärfungen oder Aufhellungen. Unter Zuhilfenahme des Picture Archiving and Communication System (PACS), welches ein Bildarchivierungs- und Kommunikationssystem auf der Basis digitaler Rechner und Netzwerke darstellt, können entsprechende Strecken eingezeichnet und Winkel vermessen werden. Vorteil des PACS ist, dass u.a. die Identität des Patienten, Untersuchungsdatum und Uhrzeit, klinische Fragestellung, Art, Typ und Hersteller des verwendeten Gerätes, aber auch Name und Adresse der untersuchenden Institution miterfasst und gespeichert werden. Durch die digitale Speicherung bleibt die Qualität der Aufnahmen (Genauigkeit 0,1 mm) auch über viele Jahre unverändert. Bei projektionsradiographischen Verfahren ermöglicht die digitale Erfassung einen höheren Kontrastumfang. Aufnahmen sind somit informativer, Wiederholungsaufnahmen nach Fehlexpositionen seltener als bei der Filmradiographie.

Bei allen Patienten wurde eine Röntgenaufnahme des Kniegelenks im seitlichen Strahlengang vorgenommen. Es wurden Standardröntgenbilder des Kniegelenks erzeugt. Der Zentralstrahl ist dabei auf die Gelenkspaltmitte ausgerichtet, der Fokus – Film – Abstand beträgt 100 cm und das Aufnahmeformat 18 x 24 cm. Die Röntgenbilder wurden hinsichtlich pathologischer Veränderungen befundet.

Die Röntgen-Untersuchungen wurden unabhängig von der Studie durchgeführt und die Daten wurden retrospektiv unter Zuhilfenahme der Krankenakten erfasst. Die Befundung der Röntgenbilder erfolgte mit dem PACS. Folgende etablierte Indices sowie die neue COR-Messmethode wurden erhoben und anschließend miteinander verglichen:

1. Insall-Salvati-Index
2. modifizierter Insall-Salvati-Index

3. Blackburne-Peel-Index
4. Caton-Deschamps-Index
5. Miura-Index
6. modifizierte Miura-Index I
7. modifizierte Miura-Index II
8. modifizierte Miura-Index III
9. COR-Index
10. COR-Index I
11. COR-Index II

Somit wurden insgesamt 5379 Indices bestimmt und ausgewertet.

2.2 Datenverarbeitung/-erhebung

Die Datenerhebung für die vorliegende Arbeit erfolgte anhand der Krankenakten, Vermessung und Auswertung der Röntgenbilder im PACS und Sichtung der Daten des Computerbetriebssystems „Medico“. 489 seitliche Röntgenaufnahmen wurden in dem Zeitraum von Januar 2006 bis September 2013 (ein Patient 2003) mit entsprechender klinischer Fragestellung angefertigt (s. Tabelle 1).

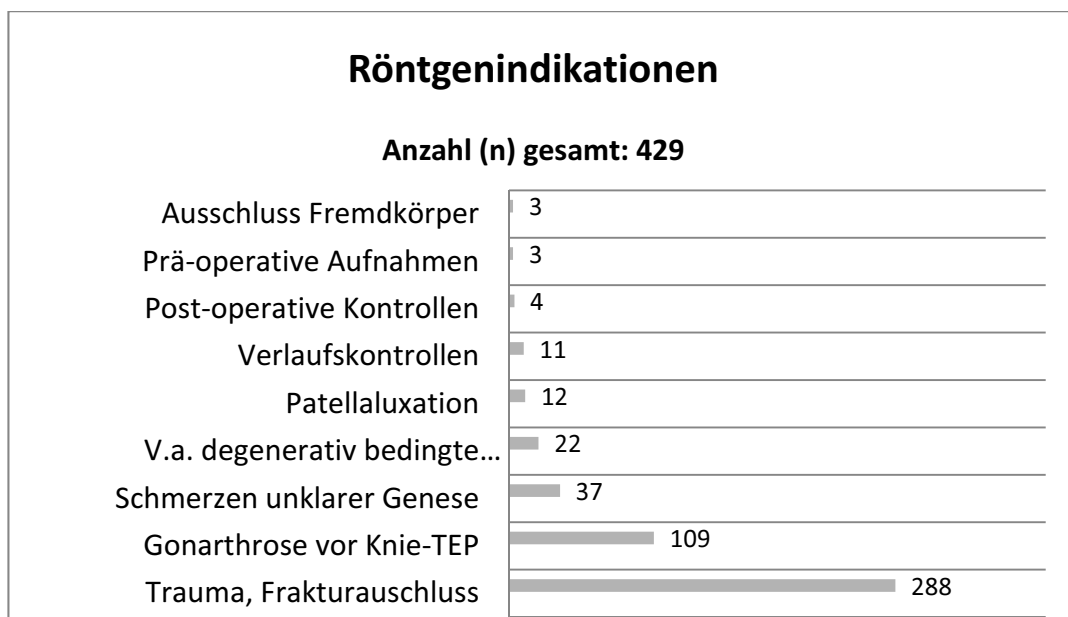


Tabelle 1 - Fragestellung vor Röntgenaufnahme

Die Ergebnisse wurden zunächst in Excel-Tabellen dokumentiert. Die mathematische Bearbeitung und statistische Berechnung der Daten, wie deskriptive Statistiken und Signifikanzbestimmung, wurde mit Hilfe des Datenbearbeitungsprogramms SPSS Version 17 durchgeführt.

Zur Überprüfung des Signifikanzniveaus wurde der T-Test für abhängige Stichproben eingesetzt. Das Signifikanzniveau wurde mit $p < 0,05$ festgelegt. Bei Berechnung der einzelnen Scoreparameter, bei denen es sich um unabhängige Stichproben handelte, wurde zur Bestimmung der Signifikanz der Ergebnisse der U-Test von Mann-Whitney verwendet.

Im Rahmen der multiplen Vergleiche der einzelnen Altersgruppen erfolgte die Auswertung mit dem Bonferroni-Test. Das Signifikanzniveau wurde hier ebenfalls mit $p < 0,05$ festgelegt.

3 Ergebnisse

Allgemeine Daten:

In dieser Studie wurden insgesamt 429 Patienten inkludiert. Es handelt sich insgesamt um 190 männliche und 239 weibliche Patienten, bei denen 197 rechte Knie- und 232 linke Kniegelenke erfasst wurden. Der Altersdurchschnitt bei Aufnahme des Röntgenbildes betrug für das Gesamtkollektiv 53,9 Jahre (SD $\pm 21,1$). Bei den weiblichen Patienten lag das Durchschnittsalter bei 56,7 Jahren (SD $\pm 21,5$) und bei den männlichen Patienten bei 50,3 Jahren (SD $\pm 20,1$). Die Patienten mit anschließender Insertion einer Knie-TEP wiesen ein Durchschnittsalter bei Aufnahme des Röntgenbildes von 68,9 Jahre (SD $\pm 10,9$) auf.

3.1 Intra- und Inter-Observer-Vergleich

Zwei unabhängige Beobachter (Beobachter 1 und Beobachter 2) haben unter identischen Bedingungen jeweils insgesamt 1188 Indices vermessen und bestimmt. Eine erneute Vermessung der Strecken zur Berechnung der 1188 Indices erfolgte durch Beobachter 1, um auch den Intra-Observer-Vergleich durchführen zu können. Die statistische Analyse, die sowohl

Beobachter, als auch Verhältnisse vergleicht, wurde unter Verwendung des Intraclass-Korrelationskoeffizienten durchgeführt.

Die Inter- und Intra-Observer-Zuverlässigkeit war verglichen mit den, in der Literatur für die vier klassischen Methoden (IS, mIS, CD, BP) beschriebenen, Werten hoch.

Von den etablierten Indices zeigte der Insall-Salvati-Index (ISI) die beste Reproduzierbarkeit (Intra-Observer: 0,919 und Inter-Observer: 0,915). Auch der modifizierte Insall-Salvati-Index (MISI) hatte eine hohe Reproduzierbarkeit (Intra-Observer: 0,723 und Inter-Observer: 0,768). Eine etwas geringere, aber dennoch gute Reproduzierbarkeit besaßen der Caton-Deschamps-Index (Intra-Observer: 0,533 und Inter-Observer: 0,768), der Blackburne-Peel-Index (Intra-Observer: 0,631 und Inter-Observer: 0,578), der Miura-Index (Intra-Observer: 0,672 und Inter-Observer: 0,739) und der modifizierte Miura-Index I (Intra-Observer: 0,672 und Inter-Observer: 0,777).

Auch für die Werte der neuen COR-Methode konnte eine gute Reproduzierbarkeit festgestellt werden. So zeigte sich für den COR1-Index die beste Reproduzierbarkeit der drei Varianten. Hier lag die Intra-Observer-Reproduzierbarkeit bei 0,803 und die Inter-Observer-Reproduzierbarkeit bei 0,655. Die Messungen für den COR-Index (Intra-Observer: 0,676 und Inter-Observer: 0,544) und den COR2-Index (Intra-Observer: 0,715 und Inter-Observer: 0,702) können im Vergleich auch als gut eingestuft werden.

Für die Berechnung der Indices zeigte sich also insgesamt eine gute Intra- und Inter-Observer-Reproduzierbarkeit (s. Tabelle 2).

Intra- und Inter-Observer-Reproduzierbarkeit									
	IS	mIS	BP	CD	M	M1	COR	COR1	COR2
Intra-Observer	0.919	0.723	0.631	0.533	0.672	0.672	0.676	0.803	0.715
Inter-Observer	0.915	0.768	0.578	0.768	0.739	0.777	0.544	0.655	0.702

Tabelle 2 - Intra- und Inter-Observer-Reproduzierbarkeit

3.2 Ergebnisse Gesamtkollektiv

Alle gemessenen Indices liegen in den, in der Literatur beschriebenen, Normbereichen (INSALL & SALVATI 1971)(CATON et al. 1982)(GRELSAMER & MEADOWS 1992)(BLACKBURNE, J. S., AND T. E. PEEL. 1977). Die Werte des Insall-Salvati-Index liegen bei der Auswertung der Gesamtpopulation am oberen Maximum mit einem Mittelwert von 1,18 (SD ±0,2). Vergleicht

man die Gesamtpopulation mit der Gruppe der Patienten ohne Gonarthrose (Restkollektiv), so liegt der Insall-Salvati-Index mit 1,16 (SD \pm 0,2) noch etwas niedriger und somit näher an dem beschriebenen Normbereich (s. Tabelle 7).

Mittelwerte und Standardabweichungen des Gesamtkollektivs				
	Anzahl (n)	Durchschnittsalter	Mittelwert	Standardabweichung
IS	429	53,8	1,18	0,2
mIS	429	53,8	1,78	0,24
BP	429	53,8	0,87	0,16
CD	429	53,8	0,94	0,16
Miura	429	53,8	0,89	0,17
Mod. Miura I	429	53,8	0,76	0,17
Mod. Miura II	429	53,8	0,75	0,16
Mod. Miura III	429	53,8	0,6	0,13
COR	429	53,8	0,12	0,14
COR I	429	53,8	0,62	0,14
COR II	429	53,8	0,38	0,1

Tabelle 3 – Vergleich aller Indices am Gesamtkollektiv

3.3 Vergleich Frauen vs. Männer

Der Altersdurchschnitt bei Aufnahme des Röntgenbildes betrug für die Gesamtpopulation 53,8 Jahre (SD \pm 21,1; 18 – <99 J.). Bei den weiblichen Patienten lag das Durchschnittsalter bei 56,7 Jahren (SD \pm 21,5) und bei den männlichen Patienten bei 50,3 Jahren (SD \pm 20,1).

Bei allen Strecken waren die gemessenen Strecken bei männlichen Patienten signifikant größer. Der Insall-Salvati-Index war bei den Männern signifikant kleiner ($p < 0,05$). Gleichzeitig zeigten sich der größte diagonale Durchmesser (B1) sowie die Länge der Patellarsehne (A2) bei den Männern wesentlich größer im Vergleich zu den Frauen ($p < 0,001$).

Alle anderen Indices waren nicht signifikant unterschiedlich.

Vergleich Frauen vs. Männer				
	Patienten (gesamt)	Frauen	Männer	p-Wert
Anzahl (n)	429	239	190	
Alter	53,9	56,7	50,3	
IS	1,18	1,2	1,15	0,003
Mod. IS	1,78	1,78	1,79	0,712
CD	0,94	0,94	0,95	0,423
BP	0,87	0,87	0,87	0,801
Miura	0,89	0,89	0,89	0,731
Mod. Miura I	0,76	0,76	0,75	0,733
Mod. Miura II	0,75	0,75	0,74	0,797
Mod. Miura III	0,6	0,61	0,59	0,066
COR	0,12	0,11	0,14	0,071
COR I	0,62	0,61	0,63	0,055
COR II	0,38	0,38	0,37	0,669

Tabelle 4 – Vergleich der Indices von Frauen vs. Männer

3.4 Vergleich rechtes vs. linkes Knie

Beim Vergleich der Knieseite konnten weder für einzelne Strecken noch für die Indices signifikante Unterschiede festgestellt werden.

Vergleich rechtes Knie vs. linkes Knie				
	Knie (gesamt)	rechts	links	p-Wert
Anzahl (n)	429	197	232	
IS	1,18	1,18	1,17	0,636
Mod. IS	1,78	1,78	1,78	0,710
CD	0,94	0,94	0,94	0,973
BP	0,87	0,87	0,87	0,831
Miura	0,89	0,89	0,89	0,996
Mod. Miura I	0,76	0,75	0,76	0,860
Mod. Miura II	0,75	0,75	0,75	0,976

Mod. Miura III	0,6	0,60	0,60	0,767
COR	0,12	0,12	0,12	0,645
COR I	0,62	0,61	0,62	0,373
COR II	0,38	0,38	0,38	0,928

Tabelle 5 – Seitenvergleich rechtes vs. linkes Knie

3.5 Vergleich der Patienten vor TKA vs. Restkollektiv

Der Insall-Salvati-Index und der modifizierte Insall-Salvati-Index zeigten beide signifikante ($p < 0,001$) Unterschiede mit größeren Indices bei den Patienten, die im Verlauf mit einer TKA versorgt wurden. Gleichzeitig waren sowohl die längste Diagonale der Patella (B1) und die Patellagelenkfläche (B2) signifikant ($p < 0,001$) größer bei der Gesamtpopulation im Vergleich zu den Patienten vor TKA (s. Tabelle 6).

Gruppenstatistik

Vergleich Patienten vor TKA vs. Restkollektiv

	1=Pat. vor TKA 2=Restkollektiv	n	Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes
Alter bei Röntgen-Bild:	1	109	68,95	10,5	1
	2	320	48,75	21,39	1,2
A1	1	109	60,37	8,57	,82
	2	320	60,04	6,98	,39
A2	1	109	53,12	8,78	,84
	2	320	52,71	7,09	,39

B1	1	109	43,21	4,79	,45
	2	320	46,02	5,21	,29
B2	1	109	32,57	3,51	,33
	2	320	34,49	3,74	,20
G1	1	109	27,75	5,06	,48
	2	320	30,11	5,53	,30
C1	1	109	29,45	5,35	,51
	2	320	32,83	5,45	,30
T1	1	109	29,22	4,87	,46
	2	320	30,40	6,22	,34
T2a	1	109	24,74	5,26	,50
	2	320	25,87	5,84	,32
T2b	1	109	24,413	5,09	,48
	2	320	25,553	5,80	,32
T2c	1	109	25,93	5,07	,48
	2	320	27,43	5,79	,32
D1	1	109	15,74	4,25	,40
	2	320	17,29	4,72	,26
D2	1	109	19,47	4,13	,39
	2	320	21,35	5,02	,28
D3	1	109	3,28	4,61	,44
	2	320	4,25	4,83	,27

Tabelle 6 - Vergleich der Strecken der Patienten vor TKA vs. Restkollektiv

Der Caton-Deschamps-Index war bei den Patienten vor TKA signifikant kleiner ($p < 0,05$) als bei der Gesamtpopulation. Gleichzeitig zeigte sich im Vergleich der Kollektive, dass die Distanz zwischen dem distalen Pol der Patellagelenkfläche und dem Tibiaplateau (C1) bei den Patienten vor TKA deutlich ($p < 0,001$) reduziert. Auch die Strecken D1 (Abstand vom Schnittpunkt COR und der Verlängerung der Patellagelenkfläche und der Mitte der größten diagonalen Ausdehnung der Patella (s. Abb. 11 $\rightarrow A=D1$)) und D2 (Abstand vom Schnittpunkt COR mit der Verlängerung der Patellagelenkfläche zur Mitte der Patellagelenkfläche – s. Abb. 10 $\rightarrow A=D2$), die zur Berechnung des COR1- und COR2-Index notwendig sind, zeigten im Vergleich signifikant niedrigere Werte bei den Patienten vor TKA.

Vergleich Pat. vor TKA vs. Restkollektiv				
	Patienten (gesamt)	TKA-Kollektiv	Restkollektiv	p-Wert
Anzahl (n)	429	109	320	
Alter	53,9	68,9	48,7	<0,001
IS	1,18	1,24	1,16	0,001
Mod. IS	1,78	1,87	1,75	<0,001
CD	0,94	0,91	0,96	0,005
BP	0,87	0,86	0,88	0,218
Miura	0,89	0,9	0,89	0,369
Mod. Miura I	0,76	0,76	0,75	0,641
Mod. Miura II	0,75	0,75	0,74	0,676
Mod. Miura III	0,6	0,61	0,6	0,674
COR	0,12	0,11	0,13	0,228
COR I	0,62	0,6	0,62	0,270
COR II	0,38	0,37	0,38	0,457

Tabelle 7 – Vergleich der Indices bei Patienten vor TKA vs. Restkollektiv

3.6 Vergleich der Altersgruppen

Wie in Tabelle 8 aufgeführt, erfolgte eine Subgruppierung der Gesamtpopulation anhand definierter Altersspannen. Die meisten Indices (ISI, MISI, BPI, MI1, MI2, MI3) wiesen zwischen den einzelnen Altersgruppen keine signifikanten Unterschiede auf.

Der Caton-Deschamps-Index war allerdings bei dem Vergleich der Subgruppe 1 (18-30 Jahre) signifikant größer als die Subgruppe 4 (60-70 Jahre) ($p < 0,05$) und Subgruppe 5 (>70 Jahre) ($p < 0,001$) (s. Tabelle 8 und Abb. 13). Die Distanz zwischen dem kaudalen Pol der Patellagelenkfläche und dem Tibiaplateau (C1) veränderte sich zwischen der Subgruppe 1 und den Subgruppen 4+5 jeweils ($p < 0,001$) signifikant. Die Gelenkfläche der Patella veränderte sich hingegen bei den Subgruppen nicht maßgeblich.

Gleichzeitig konnten wir in unseren Untersuchungen feststellen, dass der Caton-Deschamps-Index als einziger Index eine kontinuierliche Abnahme im Altersverlauf beschrieb (s. Abb. 13).

Während sich bei dem COR1-Index ($p < 0,05$) und COR2-Index ($p < 0,001$) signifikant unterschiedliche Werte zwischen der Altersgruppe 2 (30-50 Jahre) und 3 (60-70 Jahre) zeigten, ließ sich bei allen anderen Indices (ISI, MISI, BPI, MI, MI1, MI2, MI3, COR) lediglich ein leichter, nicht-signifikanter Anstieg verzeichnen (s. Tabelle 8).

Nur der COR 2-Index wies einen signifikant höheren Wert ($p < 0,05$) bei der Subgruppe 1 (18-30 Jahre) im Vergleich zu allen anderen Subgruppen 2-5 (>30 Jahre) auf (s. Abb. 14).

Sub- gruppe	Alter (Jahre)	Anzahl (n)	IS	Mod. IS	BP	CD	Miura	COR	COR I	COR II
1	18-30	79	1,22	1,78	0,90	0,99	0,93	0,17	0,67	0,43
2	30-50	93	1,13	1,75	0,88	0,96	0,88	0,12	0,61	0,36
3	50-60	62	1,18	1,81	0,89	0,95	0,91	0,13	0,63	0,38
4	60-70	44	1,12	1,77	0,85	0,91	0,88	0,14	0,63	0,37
5	>70	121	1,22	1,79	0,84	0,90	0,85	0,07	0,57	0,35

Tabelle 8 – Verteilung der Indices in verschiedenen Altersgruppen

Der Miura Index ($p < 0,05$), COR-Index ($p < 0,001$) und COR I-Index ($p < 0,001$) waren ebenfalls größer bei der Subgruppe 1 im Vergleich zur Subgruppe 5. Bei dem Vergleich der einzelnen Strecken gab es weder für die Strecke der Patellarsehne (A2), der Strecke zwischen dem kaudalen Pol der Patellagelenkfläche und der Tuberositas tibiae (A1), noch für die Distanz der Patellagelenkfläche (B2) oder die größte kranio-kaudale Ausdehnung der Patella (B1) signifikante Unterschiede im Altersverlauf.

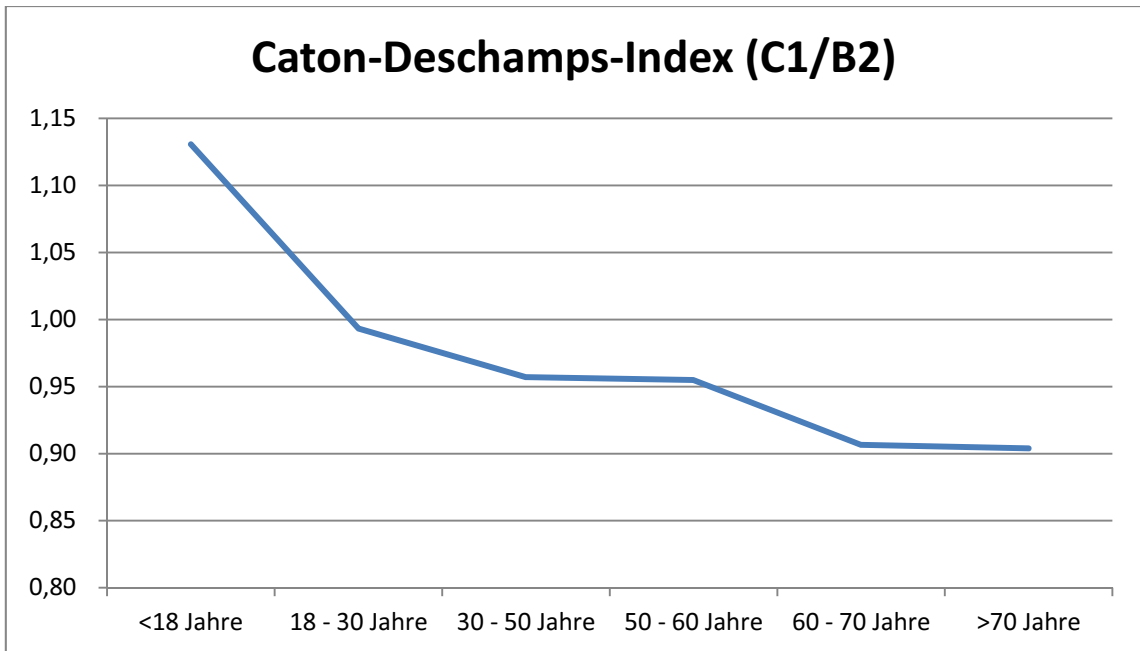


Abbildung 13 – Der Caton-Deschamps-Index im Altersverlauf

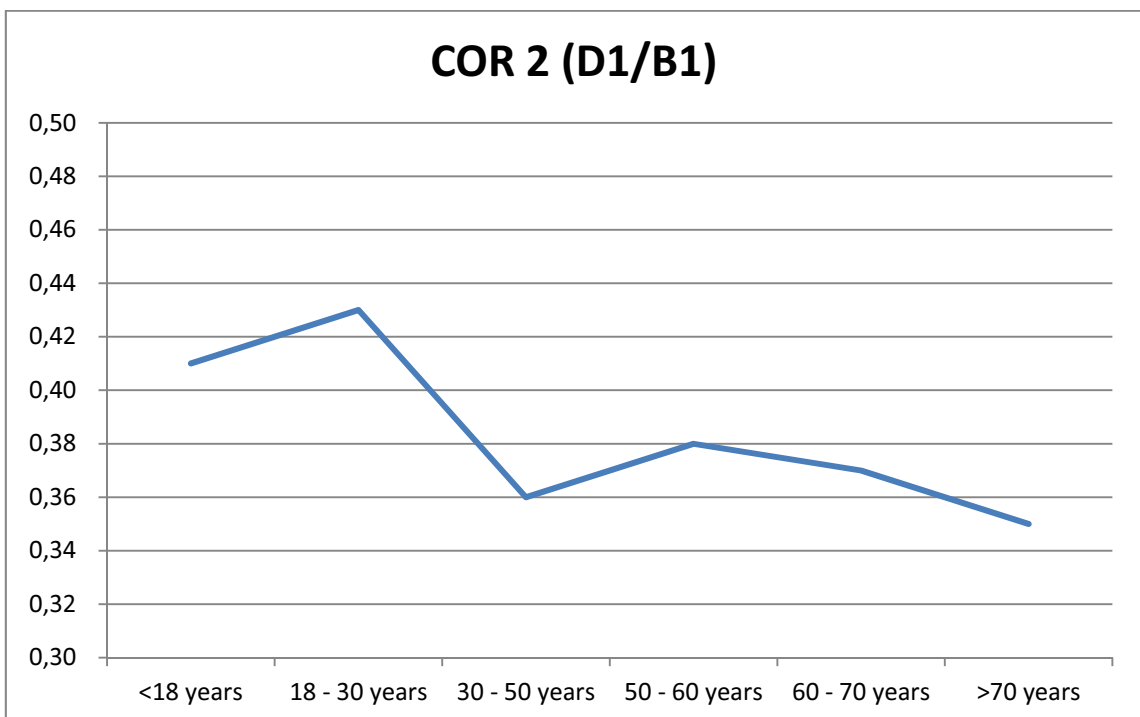


Abbildung 14 – Der COR2-Index im Altersverlauf

4 Diskussion

Viele Studien haben mit unterschiedlichen Ansätzen versucht, eine allgemeingültige und klinisch-anwendbare Lösung zur Bestimmung der Höhe der Patella zu entwickeln. Bereits im Jahr 1938 beschrieb Blumensaat die erste praktikable Technik zur radiologischen Bestimmung der Patellahöhe (BLUMENSAAT C. 1938). Phillips et al. befasste sich im Jahr 2010 in einer Meta-Analyse mit den Methoden zur Bestimmung der Patellahöhe.

In dieser Analyse wurde ebenfalls beschrieben, dass seit der Erstbeschreibung viele weitere Versuche unternommen wurden, um eine einfache, zuverlässige und reproduzierbare Methode zur Beurteilung der Patellahöhe auf konventionellen Röntgenbildern zu entwickeln. Die Techniken zur Messung der Patellahöhe und Studien haben sich nicht nur in der Anzahl, sondern auch in ihrer Komplexität erhöht. Trotz der Fortschreitung von einfachen radiographischen Messungen bis hin zu den modernsten biomechanischen und bildgebenden Technologien bleibt die Definition der Patellahöhe und ihre kausale Beziehung zu den häufig mit Knieschmerzen verbundenen Umständen umstritten. Philipps et al. konnten keine Methode identifizieren, die alle notwendigen Kriterien aufwies, um genaue strukturelle Informationen für den Einsatz in einer klinischen Umgebung zu ermöglichen (PHILLIPS et al. 2010).

Generell werden indirekte von direkten Methoden unterschieden. Von entscheidender Bedeutung für die Bestimmung der Patellahöhe ist die laterale Projektion, in der die Patella in ihrer Lagebeziehung zu Femur und Tibia zu analysieren ist. Zur Höhenbestimmung existieren zahlreiche Methoden, die sich an unterschiedlichen Punkten und somit verschiedenen Längenverhältnissen orientieren. Die Methoden beziehen sich entweder auf die Position der Patella zum Femur (direkte Methode) oder beziehen sich auf die Position der Patella zur Tibia (indirekte Methode).

Bei den indirekten Methoden wird durch die Indices immer der Bezug auf die Stellung der Patella zum Tibiaplateau bzw. der Tuberositas tibiae genommen. Der relevante Bezugspunkt der Trochlea bleibt hierbei stets unberücksichtigt (SCHRÖTER et al. 2012a). Trotzdem sind die am weitesten verbreiteten radiographischen Techniken, die zur Messung der Patellahöhe verwendet werden, indirekte Methoden. Es wird angenommen, dass dies von der Pioniermethode von Insall und Salvati beeinflusst wurde, die 1971 mit der Entwicklung eines einfachen Verhältnisses zwischen der Länge der Patellarsehne und der Patella entstanden ist. Die einfach durchführbare Messmethode auf lateralen Röntgenaufnahmen und die leicht zu merkenden Normwerte von 1,0 (SD 0,8 bis 1,2) haben den IS-Index zur populärsten Methode gemacht, auch wenn die knöchernen Landmarken nicht immer leicht zu identifizieren sind

(GRELSAMER et al. 1994). In Bezug auf die weit verbreiteten indirekten Bewertungsmethoden gibt es allerdings keinen Konsens darüber, welche Methode routinemäßig zur Beurteilung der Patellahöhe verwendet werden sollte. Die häufigste Anwendung finden die Methoden nach Caton-Deschamps, Blackburne-Peel, Insall-Salvati und dem modifizierten Insall-Salvati. Je nach ermitteltem Wert kann die Patellahöhe als "norma" (normale Höhe), "infera" (tiefstehend) oder "alta" (hochstehend) klassifiziert werden (s. Abb. 1).

Methoden mit direktem Bezug zwischen Patella und Femur haben sich wiederum als zu komplex oder neuartig erwiesen, um regelmäßig angewendet zu werden (NARKBUNNAM & CHAREANCHOLVANICH 2015). Es wird angenommen, dass am ehesten die chronologische Entwicklung zur Akzeptanz der gängigsten Methoden zur Messung der Patellahöhe geführt hat. Es gibt nur wenig konkrete Hinweise, um die Genauigkeit und Gültigkeit dieser Methoden zu unterstützen, aber keiner hat sich für eine universelle Anwendung als geeignet erwiesen. Zusätzlich wird darauf hingewiesen, dass bei den meisten etablierten Methoden (Insall-Salvati, Blackburne-Peel, Caton-Deschamps und modifizierter Insall-Salvati), bis auf den Caton-Deschamps-Index, Röntgenbilder von Knien mit Meniskus- oder Kreuzbandpathologien als Grundlage für die Entwicklung der Indices benutzt wurden. Weiterhin wurde angenommen, dass die Weichgewebsproblematik keinen Einfluss auf das patello-femorale Gelenk hat. Dies hat sich allerdings als unrichtig erwiesen (IWANO et al. 1990) und jede vorgeschlagene Methode sollte idealerweise nur Patienten mit klinisch und radiologisch unauffälligen Knien untersuchen, bevor sie auf Patienten mit Kniepathologien angewendet werden. Zusätzlich zeigten Studien, dass es signifikante anatomische Unterschiede zwischen Europäern, Arabern, Afrikanern, Chinesen und Nicht-Europäern gibt (KARADIMAS et al. 1981)(LEUNG et al. 1996). Auch die Genauigkeit der Bestimmung der einzelnen Strecken scheint ein Problem zu sein. Es konnten nur wenige Studien identifiziert werden, welche die Inter- und Intra-Observer-Fehler der am häufigsten verwendeten Methoden betrachten und vergleichen. In der Übersichtsarbeit von Narkbunnam und Chareancholvanich konnten nur drei Publikationen identifiziert werden, die den Insall-Salvati-Index, den modifizierten Insall-Salvati-Index, den Blackburne-Peel- und den Caton-Deschamps-Index miteinander verglichen. Zusätzlich wurden in diesen Studien abnorme Knie als Grundlage analysiert (SEIL et al. 2000)(BERG et al. 1996)(ROGERS et al. 2006). Welcher der vier gängigsten Indices die beste Genauigkeit und Reproduzierbarkeit besitzt, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Narkbunnam und Chareancholvanich beschrieben 2015, dass der Blackburne-Peel-Index und Caton-Deschamps-Index eine bessere Genauigkeit und Reproduzierbarkeit aufweisen, aber dies bei Anwendung auf abnorme Knie kritisch betrachtet werden muss. Auch die Quadriceps-Spannung hat einen erheblichen Einfluss auf die Bestimmung der Indices. So wurde in der Studie von Yiannakopoulos et al. 2008 gezeigt, dass sich die Höhe der Patella bei Knien ohne pathologische Veränderungen signifikant durch die

Wirkung der Quadrizeps-Kontraktion ändert, unabhängig davon, welcher der vier häufigsten Indices verwendet wird (YIANNAKOPOULOS et al. 2008)(NARKBUNNAM & CHAREANCHOLVANICH 2015). Die Abweichung des Grades der Kniebeugung ergab hingegen keine klinisch wichtigen Effekte in einer der vier Patellahöhenmessmethoden (Insall-Salvati, modifizierter Insall-Salvati, Caton-Deschamps, Blackburne-Peel) (NARKBUNNAM & CHAREANCHOLVANICH 2015). In der erst kürzlich erschienen Studie von Van Duijvenbode et al. zur Reproduzierbarkeit der vier gängigsten Methoden (Insall-Salvati (ISI), modifizierter Insall-Salvati (MISI), Caton-Deschamps (CDI), Blackburne-Peel (BPI)) konnte hingegen gezeigt werden, dass der Insall-Salvati-Index die beste Zuverlässigkeit aller Methoden aufweist. Der modifizierte Insall-Salvati-Index zeigte die zweitbeste Zuverlässigkeit und wurde als moderat bis ausgezeichnet beschrieben. Der kraniale und kaudale Patellapol, wie er vom IS-Index verwendet wird, lässt sich leicht auf konventionellen Röntgenaufnahmen erkennen. Dies wird als Erklärung für die hohe Zuverlässigkeit des ISI angenommen. Das kaudale Ende der patellaren Gelenkfläche, wie er von MISI, BPI und CDI verwendet wird, ist weniger leicht zu bestimmen als der kaudale Patellapol (PHILLIPS et al. 2010). Es ist nicht immer eindeutig, wo die Gelenkfläche beginnt und endet. Es ist besonders schwierig die kaudale Gelenkgrenze zu identifizieren, wenn das Röntgenbild nicht perfekt erstellt wurde. Die tibiale Tuberositas, wie sie vom ISI und MISI verwendet wird, ist leicht zu bestimmen, weil die Patellarsehne gewöhnlich bei zeitgenössischen Röntgenaufnahmen gut sichtbar ist. Allerdings kann die Form der Tibia-Tuberositas und der Patellarsehnen-Morphologie bei der Osgood-Schlatter-Krankheit verändert sein (VISURI et al. 2007). Die horizontale Linie, die im BP-Verhältnis von dem Tibiaplateau nach anterior projiziert wird (s. Abb. 4), ist hingegen weniger leicht zu bestimmen. Wenn das Röntgenbild nicht in einer exakt seitlichen Ansicht erstellt wird, wird das mediale und das laterale Plateau nicht auf dem Bild parallel abgebildet und die Linie für das Tibiaplateau ist schwierig zu bestimmen. Der anterior-superiore Tibiarand im CD-Verhältnis ist ebenfalls nicht immer leicht zu identifizieren und konnte in 10 % der Fälle in der Studie von Grelsamer et al. nicht exakt bestimmt werden (GRELSAMER et al. 1994). Auch hier ist die Identifizierung dieser Landmarke in hohem Maße von der Qualität des Röntgenbildes abhängig. In Anbetracht der obigen Argumente haben Van Duijvenbode et al. angenommen, dass die anatomischen Landmarken des IS-Verhältnisses am einfachsten in einer Patella ohne patellofemorale Pathologie zu bestimmen sind. Portner et al. beobachteten ebenfalls, dass eine höhere Inter-Observer- und Intra-Observer-Zuverlässigkeit für den IS-Index im Vergleich zu den BP- und CD-Index besteht (PORTNER & PAKZAD 2011). Dies konnten wir in unserer Studie ebenfalls feststellen. Von den etablierten Indices zeigte der Insall-Salvati-Index die beste Reproduzierbarkeit (Intra-Observer: 0,919 und Inter-Observer: 0,915), gefolgt von dem modifizierten Insall-Salvati-Index, der ebenfalls eine gute Reproduzierbarkeit aufwies (Intra-Observer: 0,723 und Inter-Observer: 0,768). Für die neue COR-Methode zeigte der COR1-

Index die beste Reproduzierbarkeit der drei Varianten. Hier liegt die Intra-Observer-Reproduzierbarkeit bei 0,803 und die Inter-Observer-Reproduzierbarkeit bei 0,655. In der Studie von Van Duijvenbode et al. wie auch in der Studie von Phillips et al. wird ein femoraler Bezugspunkt als ideal zur optimalen Bestimmung der Patellahöhe angesehen, um die wahre patello-femorale Artikulation darzustellen. Allerdings beziehen sich alle bewerteten Verhältnisse der Patellahöhe in der Studie von Van Duijvenbode et al. auf einen tibialen Bezugspunkt. Da der IS-Index den kaudalen Pol der größten diagonalen Länge der Patella als anatomische Landmarke verwendet, bildet dieser Index nicht die Position der Patellagelenkfläche gegenüber der Trochlea ab und besitzt daher nur eingeschränkt Gültigkeit zur Beurteilung des Kniegelenks, besonders bei Patienten mit patello-femorale Symptomatik.

Der BP-Index orientiert sich am Tibia-Plateau. Die Neigung des Tibia-Plateaus variiert allerdings individuell erheblich und dies beeinflusst die "horizontale Linie" (MATSUDA et al. 1999). Kleine Fehler bei der Bestimmung der horizontalen Linie über dem Tibiaplateau oder Unterschiede in der Neigung der "horizontalen Linie" führen zu signifikanten Unterschieden für den Punkt, an dem sich die horizontale Linie und die vertikale Linie zur Bestimmung des BP-Index treffen. Dies beeinflusst die Länge der vertikalen Linie vom kaudalen Pol der Patellagelenkfläche auf die horizontale Linie über dem Tibiaplateau und somit auch das Verhältnis. Auch wenn der BP-Index als sehr zuverlässig beschrieben wird, macht die Variation der Tibia-Plateau-Neigung die Gültigkeit fragwürdig. Die Gültigkeit der Patellahöhenverhältnisse hängt auch von der Verwendung geeigneter Referenzwerte ab. Diese Referenzwerte sollten auf asymptomatischen Knien beruhen, da Kniesymptome auf Anomalien der patello-femorale Beziehung zurückzuführen sind (PHILLIPS et al. 2010). Nur der CD-Index hat Referenzwerte, die auf einer gesunden Population beruhen (PHILLIPS et al. 2010)(INSALL & SALVATI 1971)(GRELSAMER & MEADOWS 1992)(BLACKBURNE, J. S., AND T. E. PEEL. 1977)(CATON et al. 1982). Neue Referenzwerte können aus der Studie Chareancholvanich et al. entnommen werden, da sie nur nicht-symptomatische Freiwillige für die Berechnung der Normalwerte für die ISI, MISI, BPI und CDI nutzten (CHAREANCHOLVANICH & NARKBUNNAM 2012). Die Röntgenaufnahmen erfolgten allerdings ohne Gewichtsbelastung und somit nicht unter Quadriceps-Spannung. Dass dies allerdings Veränderungen der Patellahöhe zur Folge hat, konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden (YIANNAKOPOULOS et al. 2008)(NARKBUNNAM & CHAREANCHOLVANICH 2015).

Es ist auch wichtig, dass die Verhältnisse die Genauigkeit in unterschiedlichem Ausmaß der Kniebeugung beibehalten. Chareancholvanich et al. zeigten, dass Kniewinkel zwischen 0° und 60° Flexion die Messung der vier Patellahöhenverhältnisse bei gesunden Probanden nicht beeinflussen (CHAREANCHOLVANICH & NARKBUNNAM 2012). Von Van Duijvenbode et al. wurde empfohlen, dass das laterale Knie-Röntgenbild in einem gewissen

Grad an Flexion und in einer gewichttragenden Position durchzuführen ist, um eine gespannte Patellarsehne zu garantieren (VAN DUIJVENBODE et al. 2016).

Noch nicht vollständig verstanden und ausreichend geklärt, ist die klinische Bedeutung der Patellahöhe. In der Literatur finden sich viele Untersuchungen, die die klinische Relevanz der Stellung der Patella beschreiben. Lu et al. haben 2016 gezeigt, dass eine veränderte Patellahöhe signifikant mit chondralen Läsionen korreliert und als potentieller diagnostischer Marker verwendet werden kann. In der Studie wurde festgestellt, dass Patienten mit Patella-Knorpel-Läsionen eine erhöhte Sehnenlänge / Patella-Längen-Verhältnis haben (LU et al. 2016). Veränderungen der Patellahöhe gehen mit einem erhöhten Risiko für verschiedene Pathologien einher.

So kann eine Patella alta mit einem geringeren patello-femorale Kontakt einhergehen, der zu Schmerzen oder Instabilität führen kann (CATON & DEJOUR 2010) (GRANA & KRIEGSHAUSER 1985) (INSALL & SALVATI 1971)(DIETRICH et al. 2016). Eine Patella infera hingegen ist eine tiefsitzende Kniescheibe, die mit einem begrenzten Bewegungsumfang (ROM="range of motion") assoziiert sein kann. Auch eine gehäufte Korrelation mit dem Morbus Osgood-Schlatter und patello-femorale Arthrose konnte beobachtet werden (APARICIO et al. 1997). Lin et al. zeigten in Untersuchungen, dass anteriore Kreuzbandrupturen häufiger bei tiefsitzenden Kniescheiben auftreten (LIN et al. 2005).

Neben Bewegungseinschränkungen kann eine Patella infera mit chronischen Knieschmerzen durch eine Quadrizeps-Insuffizienz oder auch mit anterioren Knieschmerzen einhergehen (BRUHIN et al. 2016)(VAN BUSSEL et al. 2014). Ursache der Knieschmerzen stellt häufig ein stärkerer retropatellarer Anpressdruck dar. Dieser wird durch die Patellastellung maßgeblich beeinflusst (SCHRÖTER et al. 2012a). In der Übersichtsarbeit von Narkbunnam und Chareancholvanich aus dem Jahr 2015 über die Einflussfaktoren zur Bestimmung der Patellahöhe an konventionellen Röntgen-Aufnahmen wiesen die Autoren darauf hin, dass das patello-femorale Gelenk einen wichtigsten Aspekt zur Entwicklung von anterioren Knieschmerzen darstellt (NARKBUNNAM & CHAREANCHOLVANICH 2015). Die häufig unterschiedlichen Ergebnisse zwischen den verschiedenen radiologischen Verhältnissen, die die Patellahöhe als "alta", "norma" oder "infera" klassifizieren, hängen stark von dem gewählten Index ab (SEIL et al. 2000).

Diese Problematik wirft die Frage nach Kriterien für einen optimalen Index auf. Trotz zahlreicher Vorschläge gibt es allerdings noch keine Methode, die die wahre Patellahöhe in Bezug auf das Tibiofemoralgelenk präzise beschreibt, eine hohe Reliabilität und Reproduzierbarkeit mit einer geringen Inter- und Intraobserver-Variabilität besitzt (ANAGNOSTAKOS et al. 2011).

Anhand der Studienlage lassen sich folgende Kriterien für einen optimalen Index formulieren:

- einfache, zuverlässige und reproduzierbare Methode ohne Einfluss durch den Grad der Angulation
- einfache Normwerte, erstellt unter physiologischen Belastungsbedingungen an symptomfreien Knien
- femoraler Referenzpunkt mit Landmarken, die auch postoperativ (z.B. nach TKA oder HTO) noch vorhanden sind und somit eine Verlaufskontrolle ermöglichen

Die COR-Methode stellt eine neue und einfache Methode zur Auswertung der Patellahöhe dar. Der Mittelpunkt der dorsalen Femurkondyle erfüllt das Kriterium, dass sich die Patellahöhe auf den Femur beziehen sollte.

Die Normwerte für die Bestimmung der Patellahöhe nach den COR-Methoden betragen für den COR-Index 0,12 (SD \pm 0,14), den COR1-Index 0,62 (SD \pm 0,14) und den COR2-Index 0,38 (SD \pm 0,1). Um die Bereiche von klinischer Relevanz zu definieren, bedarf es allerdings noch weitere Untersuchungen mit großen, homogenen Patientenkollektiven. Für alle drei Varianten der COR-Methode zeigten sich ähnlich gute Werte bei der Reproduzierbarkeit. Für den COR-Index lag der Intra- und Inter-Observer-Vergleich bei 0,676 und 0,544, bei dem COR1-Index bei 0,803 und 0,655 und bei dem COR2-Index bei 0,715 und 0,702.

Ob die Reproduzierbarkeit der Werte auch nach operativen Eingriffen, wie einer TKA oder HTO, gegeben ist, muss noch überprüft werden, doch gerade der COR2-Index hat hier ein großes Potential, da sich weder der Mittelpunkt der dorsalen Kondyle (COR), noch die Mitte des größten diagonalen Durchmessers der Patella verändern. Neben der Diagnostik von Kniepathologien und der Verlaufskontrolle, stellt die COR-Methode eine gute Möglichkeit zur Beurteilung der Patellahöhe nach einer TKA dar.

Führende Ursache für einen Kniegelenksersatz stellt die Gonarthrose mit Einschränkung der Mobilität und Lebensqualität dar. Nicht nur das Alter, sondern auch die zunehmende Fettleibigkeit der Bevölkerung haben großen Einfluss auf die Entwicklung von degenerativen Veränderungen. Der demographische Wandel und veränderte Gewohnheiten haben die Prävalenz deutlich steigen lassen (HERRERO-BEAUMONT et al. 2017) (JOHNSON & HUNTER 2014) (ZHANG & JORDAN 2008) (GIWNEWER et al. 2016). Das komplexe Zusammenwirken der Risikofaktoren lassen sich in personenbezogene Faktoren wie Alter, Geschlecht, Fettleibigkeit, Genetik, Rasse / Ethnizität und Ernährung sowie Gelenkfaktoren wie Verletzungen, Fehlstellungen oder abnorme Belastungen der Gelenke unterteilen (JOHNSON & HUNTER 2014). Wenn konservative Behandlungsmethoden die typischen Krankheitssymptome nicht mehr ausreichend therapieren können, stellen operative Methoden eine Option dar, um den Patienten die Aktivitäten des täglichen Lebens weitestgehend wieder ermöglichen zu können, ohne sich dabei eingeschränkt zu fühlen (HACKENBROCH MH 2002).

Ein häufig eingesetztes und erfolgreiches Verfahren bietet dazu die totale Kniearthroplastie. Entsprechend nimmt auch die Anzahl der Patienten mit Kniegelenkersatz zu. Allerdings stellten Calliess et al. 2015 fest, dass aktuell noch 20 % der Patienten nach einer TKA unzufrieden sind. Dies lässt sich nur teilweise durch die steigenden Patientenerwartungen erklären (CALLIESS et al. 2015)(HOFMANN et al. 2011). Einen wichtigen, aber bisher noch nicht vollständig verstandenen Aspekt, nimmt das patello-femorale Gelenk und die Höhe der Patella ein. Die biomechanisch relevante Position der Patella in Bezug zum Drehzentrum des Kniegelenks stellt als echtes Sesambein das Hypomochlion für die Kraftübertragung des M. Quadrizeps dar. Somit wird über die Höhe und Dicke der Patella der Anpressdruck auf den Femur maßgeblich beeinträchtigt. Um eine möglichst individuell-optimale Lösung für Patienten mit Gonarthrose zu entwickeln, bedarf es daher sorgfältiger Planung. Auch Schröter et al. stellten 2012 fest, dass die Stellung der Patella einen entscheidenden Punkt für ein erfolgreiches Ergebnis der TKA darstellt. Welche Bedeutung die Patellastellung bzgl. der Langzeitergebnisse nach TKA einnimmt, ist allerdings noch nicht geklärt und muss noch weiter erforscht werden (SCHRÖTER et al. 2012a). Trotzdem sollte allein aufgrund des biomechanischen Verständnisses des Kniegelenks eine möglichst exakte präoperative Diagnostik für ein gutes klinisches outcome betrieben werden. Einen Teil dieser Diagnostik besteht aus der prä- und postoperativen Beurteilung der Patellahöhe. Dies wird auch in verschiedenen Studien gefordert. Barrack & Burak machten bereits 2001 Beobachtungen, dass die Patella ein zuverlässiger Parameter für den Erfolg oder Misserfolg eines totalen Kniegelenkersatzes ist. Sie stellten fest, dass Patienten, die keine peripatellären Symptome oder Patella-Komplikationen erlebten, in der Regel ein erfolgreiches Ergebnis hatten. Umgekehrt reflektieren peripatelläre Symptome oder Komplikationen in der Regel ein zugrunde liegendes Problem mit der chirurgischen Technik, dem prothetischen Material oder beidem. Sie beschrieben weiter, dass das Implantatdesign und die chirurgischen Techniken die patello-femorale Artikulation zu einem großen Teil beeinflussen (BARRACK & BURAK 2001).

Die Wahl eines geeigneten, klinisch praktikablen Index zur Verlaufskontrolle nach TKA ist, aufgrund der veränderten anatomischen Landmarken, erschwert. Wie bereits erläutert ist die Beurteilung der Patellahöhe aber vor und nach einer TKA sehr wichtig, da die Patella-Position bei der Betrachtung der Biomechanik des Knies von großer Bedeutung ist. Hierbei gilt, dass eine tiefer stehende Patella eine größere Kraftentwicklung, als eine hoch stehende Patella hat (CATON et al. 2016). Auch die Arbeitsgruppe um Caton hat 2016 erkannt, dass der eigene Index nicht zur Beurteilung nach einer TKA geeignet ist und es wurde versucht dieses Problem durch eine Modifizierung zu umgehen. Die ursprüngliche Methode bildet den Quotienten aus dem Abstand zwischen distalem Ende der Patellagelenkfläche und ventralem Tibiaplateau geteilt durch die Länge der Patellarückfläche. Nach einer TKA ist der anterior-superiore Punkt

am Tibiaplateau allerdings nicht mehr verfügbar, so dass ein neuer Schnittpunkt definiert wurde. Der neue Referenzpunkt auf der Tibia liegt weiter kaudal auf Höhe der Fibula am anterioren Cortex der Tibia und ist somit auch postoperativ als Referenz anwendbar und soll so den Vergleich der Patellahöhe vor und nach TKA ermöglichen. In dieser Studie wurde die Intraklassenkorrelation als gut und vergleichbar mit denen, die zuvor für den CD-, BP- und mIS-Index veröffentlicht wurden, beschrieben. Trotz dieser Modifizierung und dem Versuch den Index auch nach operativer Veränderung der knöchernen Landmarken anwendbar zu machen, bleibt, wie bei den meisten etablierten Indices, das Hauptproblem des fehlenden Bezuges der Patella zum Femur bestehen.

Deutliche Veränderungen der Patellahöhe werden auch im Rahmen eines Patellaersatzes vorgenommen. In den Anfängen der TKA wurde meist noch kein Patellaersatz simultan implantiert. Patienten dieser Gruppe zeigten allerdings häufiger einen anterioren Knieschmerz, so dass im Verlauf häufiger ein sog. Patella-Resurfing durchgeführt wurde. Dies führte zwar zu weniger Schmerzen, aber es traten neue Komplikationen wie Komponentenversagen, Instabilitäten, Frakturen, Sehnenrisse und Weichgewebeschädigungen auf. Solche Komplikationen wurden auf minderwertiges Implantatdesign und unsachgemäße chirurgische Techniken zurückgeführt. Es gibt Autoren, die ein Routine-Resurfacing empfehlen, andere lehnen dies wiederum ab und eine dritte Gruppe unterstützt das Konzept eines selektiven Resurfacing. Die Entscheidung, ob ein Patella-Resurfing während der totalen Kniearthroplastie simultan erfolgen soll, bleibt ebenfalls umstritten (BOURNE & BURNETT, R STEPHEN J 2004). Die Auswahl geeigneter Implantate und die Einhaltung der richtigen chirurgischen Technik sind die Grundprinzipien für den Erfolg einer TKA. Das Patella-Resurfacing während einer TKA wird dann empfohlen, wenn eine entzündliche Arthritis, eine destruierte Gelenkoberfläche oder patello-femorales Maltracking vorhanden sind. Die konservative Behandlung der Patella wird bei normaler Gelenkfläche und normalem Patella-Tracking empfohlen. Im Langzeit-Follow-up zeigten 60 % der nicht operierten Patellae auch nach TKA eine unauffällige Klinik. Die richtige Wahl der Patellakomponentengröße sowie die Implantatgestaltung, die mediale Platzierung der Patellakomponente und ,wenn nötig die laterale Retinakulumfreisetzung, sollte bei der Durchführung eines Patella-Resurfacing während der TKA eingehalten werden (HSU 2006). Um eine noch bessere Vorhersagbarkeit der Erfolgsrate eines Patella-Resurfing zu ermöglichen, sind Vergleichsstudien unterschiedlicher Patientengruppen notwendig. Auch hier ist ein Index zwingend erforderlich, der zum einen das Verhältnis zwischen Patella und dem Tibio-Femoralgelenk richtig abbildet und gleichzeitig bei hoher Reliabilität vor und nach operativer Veränderung einsetzbar ist. Ob die neue COR-Methode diese Anforderungen erfüllen kann und sich signifikante, klinisch relevante Veränderungen nachweisen lassen, muss in weiteren Studien überprüft werden. Jawahr et al. zeigten 2014, dass nach TKA und einem Jahr follow-up

die Patellahöhe, gemessen mit dem Insall-Salvati-Index, dem modifizierten Insall-Salvati-Index und dem Miura-Index, bei einer signifikanten Anzahl an Kniegelenken sich jeweils um mehr als 10 % veränderte (JAWHAR et al. 2014). Dass ein diagnostischer Index zur Erfassung der Patellahöhe nach Patellaersatz allerdings dringend erforderlich ist, zeigt die klinische Bedeutung einer Patella alta oder infera. Eine Über-Resektion der Patella und eine Überfüllung des Patellaachsgelenks sollten vermieden werden (CLARKE & SPANGHEHL 2014). Die vorhandenen Studien zeigen, dass ein Patella-Resurfacing das Risiko einer Reoperation nach totaler Kniearthroplastie reduzieren kann. Auch die Option die Patella nicht simultan zu operieren, wird als eine vernünftige Möglichkeit angesehen werden, aber die Patienten müssen das erhöhte Risiko der Re-Operation akzeptieren (FU et al. 2011). Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um zu analysieren, warum und wie eine TKA die Patellahöhe verändern kann.

Auch nach hoher tibialer Osteotomie konnte beobachtet werden, dass die Patellaposition sich nach kaudal verschiebt. Wie bereits beschrieben, besteht auch hier die Problematik, dass bei Anwendung der am häufigsten verwendeten Methoden zur Bestimmung der Patellahöhe (MIS-, IS- CD- und BP-Methode) der Referenzpunkt auf der Tibia selbst liegt. Postoperativ fehlt allerdings dieser Bezugspunkt und dadurch verändern sich die Indices (MIURA et al. 1997). Die MRT wird ebenfalls in der Beurteilung der Patellahöhe verwendet und hat zweifellos ein großes Potenzial für den klinischen Einsatz in der Zukunft. Neben der begrenzten Verfügbarkeit von Magnetresonanztomographen ist auch der finanzielle und zeitliche Aspekt limitierend, um einen flächendeckenden Einsatz des MRT zum aktuellen Zeitpunkt gewährleisten zu können. Während eine konventionelle Röntgenaufnahme im Verhältnis zu einer MRT nur einen Bruchteil der Zeit in Anspruch nimmt, bedarf es zusätzlich auch spezieller Fertigkeiten, um die dreidimensionalen Aufnahmen effektiv auswerten zu können. Idealerweise sollte das Bild in der Lage sein, die patello-femorale Beziehung unter physiologischen Belastungsbedingungen im symptomatischen Knie zu demonstrieren. Bis die dynamischen bildgebenden Verfahren standardisiert und routinemäßig verfügbar sind, muss eine möglichst optimale Methode zur Messung der Patellahöhe mit den verfügbaren Bildgebungen identifiziert werden. Aus den oben beschriebenen Einschränkungen besteht ein deutlicher Spielraum für die Verbesserung der bisherigen Methoden (NARKBUNNAM & CHAREANCHOLVANICH 2015).

4.1 Diskussion des Patientengutes

Die hohe Anzahl an Röntgenbildern von Knien in Seitenaufnahme (n=429) und die gleichmäßige Verteilung von rechter (n=197) bzw. linker Knieseite (n=232), sowie das Verhältnis von Männern (n=190) gegenüber Frauen (n=239) ist Grundlage für die repräsentativen Ergebnisse dieser Studie. Im Vergleich zu anderen Studien, die sich mit der Bestimmung der Patellahöhe befassen, sind die in dieser Studie erhobenen Indices nahezu deckungsgleich mit den Normwerten der etablierten Indices. Nur bei dem Insall-Salvati-Index zeigen die Normwerte und Standardabweichungen in unserem Patientenkollektiv einen etwas größeren Wert und Standardabweichung mit 1,18 (SD \pm 0,2). In der Literatur ist der Wert für den ISI mit 1 (SD \pm 0,2) angegeben (BERG et al. 1996).

Die hohe Anzahl an gemessenen Werten im Patientenkollektiv ermöglichte zusätzlich die Einteilung in bestimmte Altersgruppen, so dass der Einfluss des Alters ebenfalls bei der Bestimmung der Indices berücksichtigt werden konnte. Da auch ein hoher Body Mass Index (BMI) und /oder Übergewicht mit pathologischen Veränderungen im Kniegelenk, wie Knieschmerzen oder degenerativen Veränderungen verbunden sein können, wäre eine zusätzliche Erfassung dieser Daten in dieser Studie wünschenswert gewesen, um auch diesen Parameter einbeziehen zu können. Antony et al. fanden 2016 heraus, dass Übergewicht bei Kindern mit Knieschmerzen und Arthrose im späteren Leben verbunden sind (ANTONY et al. 2016). Zusätzlich wäre eine standardisierte Erfassung klinischer Parameter zum Zeitpunkt der Röntgenaufnahme und im Verlauf für die Bestimmung der klinischen Relevanz bedeutsam gewesen. In dieser Studie wurde die klinische Fragestellung vor Röntgenaufnahme erfasst und ein Vergleich verschiedener Röntgenindikationen vorgenommen. Entscheidend ist der Vergleich der Patienten vor TKA (n=109) mit dem Restkollektiv (n=320). Es konnten die Werte der Indices für diese spezielle Gruppe mit degenerativen Veränderungen im Knie gesondert analysiert werden. Auch das standardisierte Erfassen relevanter Nebendiagnosen, wie z.B. Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises, sowie die Art und Häufigkeit der Arbeit, sportlicher Aktivität und bereits erlittene Traumata sind nicht mit in die Analyse einbezogen. Dies könnte weitere Erkenntnisse für eine ganzheitliche Ursachenzuordnung sowie für Zusammenhänge zwischen Röntgendiagnostik und Klinik ermöglichen. Abschließend kann man resümieren, dass auch in dieser Studie nicht nur freiwillige, symptomfreie Patienten eingeschlossen wurden. Somit kann man nicht ausschließen, dass alle Patienten eine Quadriceps-Spannung (z.B. schmerzbedingt) während der Röntgenaufnahme durchführten.

4.2 Diskussion der Methodik

Im Rahmen dieser Studie erfolgte die Vermessung des Verhältnisses zwischen Patella und Femur. Bei dem aktuell unzureichend erforschten und unbekanntem Einfluss der Stellung der Patella auf Kniepathologien, sowie nach operativen Korrekturen der Patellahöhe oder – dicke, ist es schwierig, Normbereiche von pathologischen Bereichen abzugrenzen.

Das patello-femorale Gelenk wird aus biomechanischer Sicht durch die direkte Beziehung zwischen Patella und Trochlea besser abgebildet, als es bei den indirekten Methoden, die sich auf die Tibia beziehen, getan wird. Die unterschiedlichen Indices anhand der gleichen Röntgenbilder auszuwerten, bietet einen guten Vergleich bezüglich der einzelnen Methoden untereinander und auch zwischen den direkten und indirekten Methoden. Zusätzlich konnten alle Methoden anhand zweier unterschiedlicher Patientenkollektive (Pat. vor TKA vs. Restkollektiv – s. Tabelle 6 und 7) hinsichtlich Veränderungen des Indices bei Degeneration im Kniegelenk verglichen werden. Dies wird gerade durch das große Patientenkollektiv und die Messungen elf unterschiedlicher Indices unterstützt. Wie von Portner und Pakzad 2011 gefordert, sollte der Vergleich von Indices unter gleichen Bedingungen erfolgen, um diese vergleichbar zu machen (PORTNER & PAKZAD 2011).

Die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit aller Indices konnte im Vergleich und durch eine Intra- und Inter-Observer-Messung analysiert werden.

Eine zusätzliche Erfassung arthrotischer Veränderungen, wie im Kellgren-Lawrence-Index beschrieben, erfolgte nicht. Daher ist ein Vergleich mit dem Fokus auf arthrotische Veränderungen der beiden Patientenkollektive (Pat. vor TKA vs. Restkollektiv) nicht uneingeschränkt möglich.

Alle untersuchten Patienten wurden in Deutschland erfasst und es erfolgte keine Differenzierung ethnischer Herkunft. Aufgrund der, von Karadimas et al. und Leung et al. beschriebenen signifikanten Unterschiede zwischen verschiedenen Bevölkerungsgruppen, besitzen diese Studienergebnisse nicht allgemeine Gültigkeit.

Die Knie-Angulation betrug ca. 45° und wies interindividuell nur geringe Abweichungen auf. Wie bereits beschrieben hat die Veränderung des Winkels im Gradbereich 0° – 60° keinen Einfluss auf die Messung der Patellahöhe (Chareancholvanich & Narkbunnam 2012)(Berg et al. 1996). Die laterale Röntgenaufnahme muss nicht mit dem Knie in einem festen Winkel der Flexion aufgenommen werden, solange die Patellarsehne bei ca. 30° oder mehr unter Spannung steht (Phillips et al. 2010).

4.3 Diskussion der Ergebnisse

Bei dem Vergleich der Strecken zwischen Männern und Frauen waren erwartungsgemäß alle Strecken bei den Männern signifikant länger. Bei den daraus errechneten Indices zeigte sich der Insall-Salvati-Index bei den Männern signifikant kleiner ($p < 0,05$), als bei den Frauen. Dies könnte zum einen mit dem leicht erhöhten Durchschnittsalter in diesem Patientenkollektiv zusammenhängen (Frauen: 56,7 Jahre vs. Männer: 53,9 Jahre). Zum anderen könnte auch die Verteilung der Geschlechter in dem Patientenkollektiv vor der TKA (70 Frauen vs. 38 Männern) zu dem Unterschied bei der Berechnung des Insall-Salvati-Index zwischen Frauen und Männern beigetragen haben. Die Strecken des Verhältnisses nach Insall-Salvati zeigten sowohl einen signifikant größeren diagonalen Durchmesser (B1) als auch eine signifikant größere Länge der Patellarsehne (A2) bei den Männern ($p < 0,001$) im Vergleich zu den Frauen. Die Ergebnisse einer Kadaverstudie aus dem Jahr 1990 zur Untersuchung des Insall-Salvati-Index bei Frauen und Männern zeigten keinen signifikanten statistischen Unterschied. Die Länge und Breite der Patella in der lateralen Projektion sowie die Länge der Patellarsehne war bei Männern signifikant größer als bei Frauen ($p < 0,001$) (SCHLENZKA & SCHWESINGER 1990). Bei den anderen berechneten Indices gab es keine signifikanten Unterschiede. Wie zu erwarten gilt dies auch für den Vergleich der Knieseiten. Die Inter- und Intra-Observer-Zuverlässigkeit war verglichen mit den in der Literatur für die vier klassischen Methoden (ISI, MISI, CDI, BPI) beschriebenen Werte ähnlich hoch. Der COR1-Index konnte die beste Reproduzierbarkeit der drei Varianten vorzeigen. Hier lag die Intra-Observer-Reproduzierbarkeit bei 0,803 und die Inter-Observer-Reproduzierbarkeit bei 0,655. Auch der COR2-Index zeigte eine sehr gute Intra-Observer-Reproduzierbarkeit (0,715) und Inter-Observer-Reproduzierbarkeit (0,702).

Bei dem Vergleich zwischen den Patienten vor TKA und dem Restkollektiv war der Caton-Deschamps-Index bei den Patienten vor TKA signifikant kleiner ($p < 0,05$) als bei dem Restkollektiv. Dies ist durch die signifikant ($p < 0,001$) reduzierte Distanz zwischen dem kaudalen Pol der Patellagelenkfläche und dem Tibiaplateau (C1) bedingt. Die Gelenkspaltverschmälerung, die durch die Strecke C1 dargestellt wird (s. Abb. 4), gilt als Zeichen degenerativer Prozesse und wird in der Berechnung des Caton-Deschamps-Index verwendet (ZACHER & GURSCHE 2001) (MALGHEM et al. 2008). Auch die Strecken D1 (s. Abb. 11 – A=D1), der im COR2-Index verwendet wird, und D2 (s. Abb. 10 – A=D2), der zur Berechnung des COR1-Index verwendet wird, zeigen im Vergleich signifikant niedrigere Werte bei den Patienten vor einer TKA ($p < 0,002$) als bei dem Restkollektiv.

Eine Gelenkspaltverschmälerung im patello-femorale Gelenk im Zuge degenerativer Prozesse führt zur Abnahme der Strecken D1 und D2. Die Tatsache, dass mit Hilfe der COR-Methode entsprechende Veränderungen dargestellt werden können, unterstützt die biomechanische Annahme, dass die Patella einen femoralen Bezugspunkt benötigt, um die wahre Patellahöhe abbilden zu können. Als mutmaßlicher Einflussfaktor, und somit kritisch zu betrachten, ist das Durchschnittsalter der Patienten mit anschließender Insertion einer TKA im Vergleich zum Restkollektiv. So wiesen die Patienten vor TKA ein Durchschnittsalter bei Aufnahme des Röntgenbildes von 68,9 Jahre (SD $\pm 10,9$) auf. Im Vergleich zeigte das Restkollektiv ein Durchschnittsalter bei Aufnahme des Röntgenbildes von 48,8 Jahre (SD $\pm 21,4$). Bei dem Vergleich der Indices im Altersverlauf (s. Tabelle 8) wiesen die meisten Indices (ISI, MISI, BPI, MI1, MI2, MI3) keine signifikanten Unterschiede auf. Bei dem Miura Index ($p < 0,05$), dem COR-Index ($p < 0,001$) und dem COR 1-Index ($p < 0,001$) waren die Werte der Indices bei der Subgruppe 1 (18-30 Jahre) im Vergleich zur Subgruppe 5 (>70 Jahre) signifikant größer. Dies kann als Zeichen altersbedingter, degenerativer Veränderungen gewertet werden. Der Caton-Deschamps-Index war bei dem Vergleich der Subgruppe 1 (18-30 Jahre) signifikant größer als die Subgruppe 4 (60-70 Jahre) ($p < 0,05$) und die Subgruppe 5 (>70 Jahre) ($p < 0,001$) (s. Tabelle 8 und Abb. 13). Auch wenn das Zeichen einer Gelenkspaltverschmälerung, wie sie durch die Strecke C1 im Caton-Deschamps-Index miterfasst wird, für sich allein keine therapeutischen Konsequenzen zulässt, so gilt die Breite des Gelenkspalts zumindest als indirekter Indikator für den Abrieb des Knorpels. Eine Verringerung des Kniegelenkspaltes weist eine signifikante Assoziation mit Knieschmerzen auf (MURAKI et al. 2015), auch wenn das Zeichen einer Gelenkspaltverkleinerung nicht als sensibler Marker einer Arthrose gilt (s. Abb. 14) (KIJOWSKI et al. 2006). Lediglich der COR 2-Index konnte einen signifikanten Unterschied zwischen der Subgruppe 1 mit den jungen Patienten (18-30 Jahre) und allen anderen Subgruppen 2-5 (>30 Jahre) aufweisen. Wie bereits im Vergleich der Patienten vor TKA und dem Restkollektiv festgestellt, ist auch im Altersvergleich die Strecke D1 signifikant größer bei jungen als bei älteren Patienten. Unklar bleibt, ob diese Ergebnisse als Zeichen degenerativer Prozesse interpretiert werden dürfen. Das Kniegelenk ist häufig von arthrotischen Veränderungen mit klinischer Symptomatik im mittleren Alter oder sogar früher betroffen. Die akkumulierende Evidenz unterstützt, dass die Gonarthrose oft von biomechanischen Kräften angetrieben wird und die pathologische Reaktion von Geweben auf solche Kräfte zu struktureller Gelenkverschlechterung, Kniesymptomen und reduzierter Funktion führt. Allerdings ist das Wissen über die beitragenden biomechanischen Mechanismen zur Entwicklung der frühen Krankheit begrenzt. Ein Teil des Problems ist das aktuell fehlende Verständnis der Frühphasen-Arthrose, wann diese beginnt und wie sie definiert wird (ENGLUND 2010). Zusätzlich wird in der Literatur auf die geringe Sensitivität zwischen radiologischen Veränderungen und Knieschmerzen hingewiesen (CICUTTINI et al. 1996). Bei

dem Vergleich der einzelnen Strecken gab es weder für die Strecke der Patellarsehne (A2), der Strecke zwischen dem kaudalen Pol der Patellagelenkfläche und der Tuberositas tibiae (A1), noch für die Längen der Patellagelenkfläche (B2) oder die größte kranio-kaudale Ausdehnung der Patella (B1) signifikante Unterschiede im Altersverlauf.

4.4 Diskussion der Indices

Trotz zahlreicher Vorschläge gibt es noch keine Methode, die die wahre Patellahöhe in Bezug auf das Tibiofemoralgelenk präzise mit hohen Werten von Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit und niedrigen Werten der Inter- und Intraobserver-Variabilität beschreibt (ANAGNOSTAKOS et al. 2011). Allerdings hat die Einteilung der Patellahöhe in eine Patella "norma", "alta" oder "infera" einen großen Einfluss auf die Entwicklung von Kniepathologien. Seil et al. stellten eine hohe Varianz hinsichtlich der Patellahöhenklassifizierung als "alta", "norma" oder "infera" fest. Die Einteilung hängt stark von den Ergebnissen der gewählten Studie und dem jeweiligen Index ab (SEIL et al. 2000). Die Übersicht der Ergebnisse verdeutlicht die Problematik. Je nach verwendetem Index finden unterschiedliche Einflüsse von Faktoren auf die Indices statt. Durch die Patellastellung werden der retropatellare Anpressdruck wie auch die Druckverteilung verändert. Letztlich wird durch die indirekten Methoden immer Bezug auf die Stellung der Patella zum Tibiaplateau bzw. der Tuberositas tibiae genommen. Der relevante Bezugspunkt Trochlea bleibt stets unberücksichtigt. Auch Seyahi et al. wiesen darauf hin, dass eigentlich das patello-femorale Gelenk durch die Position der Patella relativ zum distalen Femur definiert ist. Daher wäre es sinnvoll, den distalen Femur als Referenzpunkt für die Messung der Patellahöhe zu benutzen (SEYAHİ et al. 2006). Ferner konnte bisher keine Beurteilung der Patellastellung in prospektiven Untersuchungen bei unterschiedlichen Nachbehandlungen beschrieben werden. Der Blackburne-Peel- und der Caton-Deschamps-Index werden durch den „tibial slope“ von unklarem Ausmaß beeinflusst. Der Insall-Salvati Index ist vom „tibial slope“ unabhängig.

Auch unterschiedliche Nachbehandlungen scheinen durch Vernarbungen einen Einfluss auf die Patellastellung zu haben. Ob die Patellastellung bzgl. der Langzeitergebnisse von Bedeutung ist, ist gänzlich ungeklärt. Der Einfluss auf mögliche Knie totalendoprothesen ist nicht bekannt. Daher sind prospektive Arbeiten mit weniger Einflussfaktoren und Berücksichtigung der Nachbehandlung erforderlich, um die Patellastellung und den Einfluss auf das klinische Ergebnis beurteilen zu können (SCHRÖTER et al. 2012a).

Die Einteilung der Patellahöhe kann allerdings im Rahmen der Diagnostik zu Therapieempfehlungen beitragen und kann somit entscheidenden Einfluss auf die klinische Symptomatik von Patienten haben. Daher ist es dringend erforderlich, dass ein klinisch-praktikabler Index im Rahmen der Kniediagnostik standardmäßig erfasst wird. Bereits Buckland-Wright forderte 1994 eine allgemein akzeptable Methode zur genauen und reproduzierbaren Messung zur Bestimmung der Patellahöhe. Als problematisch wurde die Kombination aus hoher Präzision und geringem Zeitaufwand gesehen, so dass entsprechende Indices nicht nur praktikabel, sondern auch im Rahmen geringer zeitlicher Ressourcen durchführbar sein sollen (BUCKLAND-WRIGHT 1994). Die Biomechanik des patello-femorales Gelenks steht in Zusammenhang mit der Position der Patella zur Trochlea und Veränderungen in dieser Beziehung haben sich als schädlich erwiesen. Während einer Bewegung im Kniegelenk steht die Position der Femurkondylen direkt mit der Position der Gelenklinie in Verbindung (ROGERS et al. 2006). Die COR-Methode mit dem Mittelpunkt der dorsalen Femorkondyle als Referenzpunkt, kann somit die Stellung der Patella biomechanisch gut abbilden. Auch Narkbunnam und Chareancholvanich beschäftigten sich 2015 mit den, in der Literatur beschriebenen, Indices zur Bestimmung der Patellahöhe. Sie kamen zu dem Schluss, dass die gängigsten Methoden, die alle die Tibia als Bezug zur Patella nutzen (Insall-Salvati, modifizierter Insall-Salvati, Blackburne-Peel und Caton-Deschamps), allein durch die chronologische und empirische Entwicklung zunehmend allgemeine Akzeptanz fanden. Es gibt keinen Konsens über die Überlegenheit einer dieser Methoden (BERG et al. 1996)(EGUND et al. 1988)(SEIL et al. 2000). Die meisten Indices basieren auf dem Verhältnis der Länge der Patella oder der Patellagelenkfläche zu einer Strecke zwischen Patella und einem Referenz-Punkt auf der Tibia (INSALL & SALVATI 1971)(CATON et al. 1982)(GRELSAMER & MEADOWS 1992)(BLACKBURNE, J. S., AND T. E. PEEL. 1977). In einer Studie von Yiannakopoulos et al. wurden ebenfalls die vier gängigsten Indices (ISI, MISI, BPI, CDI) untersucht und miteinander verglichen. Es wurde festgestellt, dass auch die Kontraktion der Quadriceps-Muskulatur und somit die Patellarsehnenspannung durch die Belastung mit dem eigenen Körpergewicht zu einer statistisch signifikanten proximalen Verschiebung der Patella in allen vier untersuchten Indices führte. Der mittlere Insall-Salvati-Index betrug 0,919 (SD \pm 0,063) vor und 1,109 (SD \pm 0,042) nach der Gewichtsbelastung ($p = 0,001$), während der mittlere modifizierte Insall-Salvati-Index 0,734 (SD \pm 0,039) vor und 0,896 (SD \pm 0,029) nach Gewichtsbelastung ($p = 0,041$) aufwies. Ähnlich war der Blackburne-Peel-Index 0,691 (SD \pm 0,09) vor und 0,807 (SD \pm 0,137) nach der Gewichtsbelastung ($p = 0,012$) verändert. Der mittlere Caton-Deschamps-Index betrug 0,861 (SD \pm 0,09) vor und 0,976 (SD \pm 0,144) nach der Anspannung der Quadricepsmuskulatur durch die Gewichtsbelastung ($p = 0,023$). Die Autoren kamen daher zu dem Schluss, dass die Wirkung der Quadriceps-Kontraktion in klinischen Studien berücksichtigt werden sollte, in denen die Patella-Position untersucht wird (YIANNAKOPOULOS et al. 2008). Wie bereits erwähnt stellt

Angulation des Knies bei der Röntgenaufnahme einen wichtigen Aspekt dar. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass die Verhältnisse nicht signifikant durch den Wechsel des Kniebeugungswinkels von 0° auf 60° beeinflusst werden (CHAREANCHOLVANICH & NARKBUNNAM 2012)(BERG et al. 1996). Die Patellahöhe wird üblicherweise auf seitlichen Röntgenbildern, wobei das Kniegelenk bei etwa 20° - 30° gebeugt wird, bestimmt. Dieser Bereich der Kniebeugung sorgt für die richtige Spannung der Patellarsehne und führt zu einer korrekten Höhenberechnung (ANAGNOSTAKOS et al. 2011).

Auch degenerative Veränderungen im Kniegelenk hatten Einfluss auf die Berechnung der Indices. Milde arthritische Veränderungen verminderten die Variabilität der Messungen um durchschnittlich 24 %, da kleine Osteophyten die Gelenkränder der Patella besser definierten (BERG et al. 1996). Speziell der kaudale Pol der Patella-Gelenkfläche ist nicht immer leicht identifizierbar. Dies lässt gerade bei abnormen Patellavarianten oder nicht eindeutiger Darstellung für den MISI, den BPI und den CDI großen Spielraum für falsche Berechnungen der Indices. Auch für die von uns beschriebene COR- und COR1-Methode trifft das zu. Die Methode nach Insall-Salvati wird ebenfalls durch die Variabilität der Patella-Morphologie beeinflusst. Ungewöhnliche Patellaformen können somit zu irreführenden Werten des Insall-Salvati-Verhältnisses führen. In der Studie von Grelsamer und Meadows haben die Autoren bei Patienten, deren Patella eine lange kaudale (nonartikulierende) Facette aufweist, eine signifikante Anzahl von ungenauen Messungen für die Patellahöhe gefunden (GRELSAMER & MEADOWS 1992). In einer Studie über Patellainstabilitäten im Jahr 2016 konnte gezeigt werden, dass sich Einschränkungen des Caton-Deschamps-Index durch die schwierige Identifizierung der Patella- und Tibia-Gelenkspanne ergeben (DIETRICH et al. 2016). Von den vier gängigsten Methoden beschrieben Seil et al. (SEIL et al. 2000) sowie Berg et al. (BERG et al. 1996) die Methode nach Blackburne-Peel als am besten reproduzierbar und genau. Dies verdeutlicht die heterogene Studienlage bzgl. der aktuellen gängigen Methoden zur Bestimmung der Patellahöhe.

Wie beschrieben beruhen die indirekten Methoden auf der Positionsbeziehung zwischen Patella und proximaler Tibia, während die Insertion einer Prothese die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit verändert. Diese Unterschiede variieren je nachdem, ob die Patellahöhe vor oder nach einer TKA gemessen wird (ROGERS et al. 2006). Rogers et al. konnten 2006 zeigen, dass Ungenauigkeiten bei der Bestimmung des Blackburne-Peel-, des Caton-Deschamps- und des modifizierten Insall-Salvati-Index auftraten, weil sie sich auf die Länge der Gelenkfläche der Patella beziehen. Da sich sowohl der COR-, als auch der COR1-Index ebenfalls auf die Patellagelenkfläche beziehen, liegt der Schluss nahe, dass auch bei der Bestimmung dieser Indices nach einer TKA Ungenauigkeiten auftreten können. Präoperativ, vorausgesetzt dass keine Osteophyten vorhanden sind, ist die Bestimmung der Patellagelenkfläche meistens gut

möglich. Rogers et al. beschreiben, dass die Gelenkfläche der Patella nach der Implantation häufig nicht mehr vollständig sichtbar sein kann, da sie sich teilweise innerhalb der Trochlearille des Femurs befindet und deren Länge geschätzt werden muss (ROGERS et al. 2006). Die Ergebnisse der Studie von Rogers et al. zeigen, dass bei Patienten nach Durchführung einer TKA, signifikante Unterschiede in der Zuverlässigkeit und hohe Inter-Observer-Variabilitäten in den vier gängigsten Methoden zur Messung der Patellahöhe vorlagen. Die Inter-Observer-Variabilität in der postoperativen Messung zeigte eine Verschlechterung der Reproduzierbarkeit der Insall-Salvati- und der modifizierten Insall-Salvati-Methode. Der ISI und der MISI sind unabhängig von dem Tibio-femoralgelenk. Trotz der theoretischen Vorteile dieser beiden Methoden zur Beurteilung der Patellahöhe, zeigen die Ergebnisse der Studie von Rogers et al. eine deutlich schlechtere Inter-Observer-Reproduzierbarkeit nach einer TKA. Dies führen die Autoren am ehesten auf die Schwierigkeiten bei der Identifizierung der Patellarsehne und der tibialen Landmarken im postoperativen Röntgenbild zurück und sind daher auch aus diesem Grund nicht zur postoperativen Verlaufskontrolle geeignet.

Die Beurteilung der Patellahöhe nach einer TKA ist aber von bedeutender klinischer Relevanz. Wie bereits beschrieben beeinflusst eine Patella infera nach Insertion einer totalen Endoprothese die patello-femorale Kinematik. Kumar et al. beschrieben in einer Studie von 2014, dass nur dann eine echte Patella infera vorliegt, wenn diese aus einer Patellarsehnenkontraktur resultiert. Eine erhöhte postoperative Gelenklinie wird zu einer scheinbaren Patella infera führen. Um zwischen einer echten und einer scheinbaren Patella infera zu unterscheiden, empfehlen Kumar et al. die Verwendung des Insall-Salvati- und der Caton-Deschamps-Index (KUMAR et al. 2014). Diese Problematik kann durch einen Index vermieden werden, der sich weder auf die Tibia, noch auf die Gelenklinie im Tibio-femoralgelenk bezieht. Daher empfiehlt sich die COR2-Methode, die auch zur Verlaufskontrolle nach einer TKA eingesetzt werden kann. Zum einen bietet es den Vorteil der dorsalen Femurkondyle als Referenzpunkt zur Patella und spiegelt somit das wahre Verhältnis des patello-femoralen Gelenks wieder. Zum anderen wird durch den Bezug zur Mitte des größten diagonalen Durchmessers der Patella gewährleistet, dass auch postoperativ der gleiche Referenzpunkt gegeben ist. Dies wäre, wie bereits beschrieben, bei dem Bezug zur Patellagelenkfläche postoperativ nicht immer sicher möglich und gleichzeitig ist der kaudale Pol der Fläche nicht immer sicher abgrenzbar und stellt durch die anatomische Variabilität in diesem Bereich eine zusätzliche, mögliche Fehlerquelle dar. Einschränkend muss man dies auch für die größte diagonale Länge der Patella einräumen. In einer Untersuchung aus 2014 wurden prä- und postoperative Veränderungen nach TKA durch die Messung der Patellahöhe anhand des Insall-Salvati-Indices, des modifizierten Insall-Salvati-Indices und des Miura-Indices

verglichen. Eine Woche nach der Operation zeigten sich deutliche Veränderungen von mehr als 10 % und nach einem Jahr follow up wurden für den Insall-Salvati-Index Veränderungen von 28 %, für den modifizierten Insall-Salvati-Index von 44 % und den Miura-Index von 61 % gemessen (JAWHAR et al. 2014). Die Patellahöhe wird auch im Rahmen der hohen tibialen Osteotomie (HTO) „open wedge HTO“ und „closed wedge HTO“ beeinflusst. Ob es zu einem Höher- oder Tieferreten der Patella nach einer HTO kommt, scheint u. a. von dem jeweils verwendeten Index abzuhängen (SCHRÖTER et al. 2012a).

5 Schlussfolgerung

Die seitliche Röntgenaufnahme des Kniegelenks hat sich als geeignete Methode zur Beurteilung von pathologischen Veränderungen etabliert. Von entscheidender Bedeutung für die Bestimmung der Patellahöhe ist die Lagebeziehung zum femoralen Bezugspunkt. Zur Höhenbestimmung existieren zahlreiche Methoden, die sich an unterschiedlichen Punkten und somit verschiedenen Längenverhältnissen orientieren. Die häufigste Anwendung finden die Methoden nach Caton-Deschamps, Blackburne-Peel, Insall-Salvati und dem modifizierten Insall-Salvati. Je nach ermitteltem Wert kann die Patellahöhe als „norma“ (normale Höhe), „infera“ (tiefstehend) oder „alta“ (hochstehend) klassifiziert werden.

Die zunehmende klinische Bedeutung der Patellahöhe bei der Entwicklung von Kniepathologien und nach operativen Eingriffen auf der einen Seite und die Unvollkommenheit und Limitierungen der etablierten Messmethoden auf der anderen Seite haben die Suche nach einem geeigneten Index zur Bestimmung der Patellahöhe angetrieben. Auch Phillips et al. haben in einem Überblick über die Methoden zur Bestimmung der Patellahöhe ebenfalls festgestellt, dass keine, der bisher etablierten Methoden, alle Anforderungen erfüllt (PHILLIPS et al. 2010). In Zusammenschau der aktuellen Literatur lassen sich folgende Kriterien für einen optimalen Index zusammenfassen:

- einfache, zuverlässige und reproduzierbare Methode ohne Einfluss durch den Grad der Angulation
- einfache Normwerte, erstellt unter physiologischen Belastungsbedingungen an symptomfreien Knien
- femoraler Referenzpunkt mit Landmarken, die auch postoperativ (z.B. nach TKA oder HTO) noch vorhanden sind und somit eine Verlaufskontrolle ermöglichen

Die Strecke D1 (Abstand vom Schnittpunkt zwischen Mittelpunkt der dorsalen Femurkondyle zur verlängerten Patellagelenkfläche und der Mitte der größten diagonalen Ausdehnung der Patella), die im COR2-Index verwendet wird, zeigt im Vergleich von Patienten vor TKA ($p < 0.002$) zum Restkollektiv signifikant niedrigere Werte. Diese Strecke bildet die Gelenkspaltverschmälerung im patello-femorale Gelenk im Zuge degenerativer Prozesse ab. Die Tatsache, dass mit Hilfe der COR-Methode entsprechende Veränderungen zwischen Patella und Femur dargestellt werden können, unterstützt die biomechanische Betrachtung des Kniegelenks, bei der die Patella einen femoralen Bezugspunkt benötigt, um die wahre Patellahöhe wiedergeben zu können.

Nicht nur die biomechanischen Aspekte des patello-femorale Gelenks, sondern auch die klinische Relevanz einer abnormen Patellahöhe erfordern einen allgemein gültigen Index zur Klassifizierung einer Patella "norma", "alta" oder "infera". Bei einer Patella "alta" werden in Studien eine Assoziation mit Knieschmerzen und -instabilität beschrieben (CATON & DEJOUR 2010) (GRANA & KRIEGSHAUSER 1985) (INSALL & SALVATI 1971)(DIETRICH et al. 2016)(FROSCHE et al. 2011)(KOH & STEWART 2014). Eine Patella "infera" hingegen, geht gehäuft mit einem begrenzten Bewegungsumfang (ROM="range of motion") einher und tritt gehäuft mit dem Morbus Osgood-Schlatter und patello-femorale Arthrose auf (APARICIO et al. 1997). Daher wird zum Erreichen einer günstigen Gelenkbelastung und dem Erhalt bzw. der Wiederherstellung der Funktion des patello-femorale Gelenks eine wichtige Rolle zugesprochen (SHARMA et al. 2008). Auch im Rahmen einer TKA trägt die Wiederherstellung der Funktion des patello-femorale Gelenks entscheidend zum Erfolg des Gelenkersatzes am Knie bei. Umgekehrt reflektieren peripatelläre Symptome oder Komplikationen in der Regel ein zugrunde liegendes Problem mit der chirurgischen Technik, dem Implantatdesign oder beidem (BARRACK & BURAK 2001). Die Biomechanik des patello-femorale Gelenks steht in Zusammenhang mit der Position der Patella zur Trochlea und Veränderungen in dieser Beziehung haben sich als schädlich erwiesen (ROGERS et al. 2006). Folglich muss sich ein Index zur Bestimmung der Patella nicht nur an einem femoralen Bezugspunkt orientieren, sondern auch prä- und postoperativ messbar sein. Daher eignet sich die COR2-Methode zur Verlaufskontrolle nach einer TKA. Zum einen bietet es den Vorteil der dorsalen Femurkondyle als konstanten Referenzpunkt zur Patella und spiegelt somit das wahre Verhältnis des patello-femorale Gelenks wieder. Zum anderen wird durch den Bezug zur Mitte des größten diagonalen Durchmessers der Patella gewährleistet, dass auch postoperativ der gleiche Referenzpunkt gegeben ist. Dies wäre bei dem Bezug zur Patellagelenkfläche postoperativ nicht immer sicher möglich. Gleichzeitig ist der kaudale Pol der Fläche nicht immer sicher abgrenzbar und stellt durch die anatomische Variabilität in diesem Bereich eine zusätzliche, mögliche Fehlerquelle dar. Die biomechanisch relevante Position der Patella in Bezug zum

Drehzentrum des Kniegelenks stellt als echtes Sesambein ein Hypomochlion für die Kraftübertragung des M. Quadriceps femoris dar. Somit wird über die Höhe und Dicke der Patella der Anpressdruck auf den Femur maßgeblich beeinträchtigt. Die COR-Methode stellt eine neue und einfache Methode zur Auswertung der Patellahöhe dar. Der Mittelpunkt der dorsalen Femurkondyle erfüllt das Kriterium, dass sich die Patellahöhe auf den Femur beziehen sollte. Die Normwerte für den von uns empfohlenen COR2-Index ($0,38 \text{ SD } \pm 0,1$) stellen hingegen keine einfach zu merkenden Werte wie beim Insall-Salvati-Index ($1 \text{ SD } \pm 0,2$) dar. Um die Bereiche von klinischer Relevanz zu definieren, bedarf es allerdings noch weiterer Untersuchungen mit großen, homogenen Patientenkollektiven. Für den COR2-Index zeigte sich ein sehr guter Intra- und Inter-Observer-Vergleich mit 0,715 bzw. 0,702. Damit erreicht der COR2-Index ähnlich gute Werte im Vergleich zu den gut untersuchten bereits etablierten Indices. Ob die Reproduzierbarkeit der Werte auch nach operativen Eingriffen, wie einer TKA oder HTO, gegeben ist, muss noch überprüft werden. Neben der Anwendung zur Verlaufskontrolle und der Diagnostik von Kniepathologien bietet die COR-Methode eine gute Möglichkeit die Patellahöhe nach einer TKA zu beurteilen.

6 Ausblick

Bis zum flächendeckenden Einsatz von bildgebenden, strahlungsfreien Verfahren, wie die Magnet-Resonanz-Tomographie, ist die konventionelle Röntgenaufnahme im Rahmen der Knie-Diagnostik ein elementarer Pfeiler. Die Beurteilung der Patellahöhe ist ein wichtiger Parameter in der Diagnostik von Knieschmerzen und stellt auch im Rahmen operativer Eingriffe einen Indikator für eine gute klinische Prognose dar. Daher bedarf es einer einheitlichen Beurteilung, um Ergebnisse vergleichbar zu machen und therapeutische Konsequenzen ableiten zu können. Zur Beurteilung der klinischen Relevanz werden weitere Studien benötigt, um Einflussfaktoren wie physiotherapeutische Maßnahmen, Sport und relevante Begleiterkrankungen besser einschätzen und eine individuelle Therapie empfehlen zu können.

Die COR-Methode könnte als einfach praktikable und direkte Messmethode als Standard etabliert werden. Um die Ergebnisse dieser Studie zu bestätigen und die klinische Relevanz der COR-Methode zu untersuchen, werden weitere Studien mit hoher Fallzahl homogener Gruppen und speziellen Kniepathologien notwendig sein.

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fragestellung vor Röntgenaufnahme	21
Tabelle 2: Intra- und Inter-Observer-Reproduzierbarkeit.....	23
Tabelle 3: Vergleich aller Indices	24
Tabelle 4: Vergleich Frauen vs. Männer	25
Tabelle 5: Seitenvergleich rechts vs. links	25/26
Tabelle 6: Vergleich der Strecken der Patienten vor TKA vs. Restkollektiv	26/27
Tabelle 7: Vergleich der Indices bei Patienten vor TKA vs. Restkollektiv.....	27
Tabelle 8: Verteilung der Indices in verschiedenen Altersgruppen	29

8 Bildverzeichnis

Abbildung 1: Das Kniegelenk in sagittaler Projektion.....	8
Abbildung 2: Insall-Salvati-Index.....	11
Abbildung 3: Modifizierter Insall-Salvati-Index.....	11
Abbildung 4: Caton-Deschamps-Index.....	12
Abbildung 5: Blackburne-Peel-Index.....	13
Abbildung 6: Miura-Index.....	13
Abbildung 7: Modifizierter Miura Index I.....	14
Abbildung 8: Modifizierter Miura Index II.....	15
Abbildung 9: Modifizierter Miura Index III.....	15
Abbildung 10: COR-Index.....	16
Abbildung 11: COR-Index I.....	17
Abbildung 12: COR-Index II.....	17
Abbildung 13: Der Caton-Deschamps-Index im Altersverlauf	30
Abbildung 14: Der COR2-Index im Altersverlauf	30

9 Literaturverzeichnis

- AIGNER, T. & MCKENNA, L. (2002): Molecular pathology and pathobiology of osteoarthritic cartilage. – Cellular and molecular life sciences CMLS 59, 1, 5–18.
- ANAGNOSTAKOS, K., LORBACH, O., REITER, S. & KOHN, D. (2011): Comparison of five patellar height measurement methods in 90° knee flexion. – International Orthopaedics 35, 12, 1791–1797.
- ANTONY, B., JONES, G., JIN, X. & DING, C. (2016): Do early life factors affect the development of knee osteoarthritis in later life: a narrative review. – Arthritis Research & Therapy 18, 1, 841.
- APARICIO, G., ABRIL, J.C., CALVO, E. & ALVAREZ, L. (1997): Radiologic study of patellar height in Osgood-Schlatter disease. – Journal of pediatric orthopedics 17, 1, 63–66.
- BADHE, N., DEWNANY, G. & LIVESLEY, P.J. (2001): Should the patella be replaced in total knee replacement? – International Orthopaedics 25, 2, 97–99.
- BARRACK, R.L. & BURAK, C. (2001): Patella in total knee arthroplasty. – Clinical orthopaedics and related research, 389, 62–73.
- BERG, E.E., MASON, S.L. & LUCAS, M.J. (1996): Patellar height ratios. A comparison of four measurement methods. – The American journal of sports medicine 24, 2, 218–221.
- BLACKBURNE, J. S., AND T. E. PEEL. (1977): "A new method of measuring patellar height." – Bone & Joint Journal 59.2, 241-242.
- BLUMENSAAT C. (1938): Die Lageabweichungen und Verrenkungen der Kniescheibe. – Ergebn Chir Orthop 1938, ;31:149–223 (in German).
- BOESEN, M., ELLEGAARD, K., HENRIKSEN, M., GUDBERGSEN, H., HANSEN, P., BLIDDAL, H., BARTELS, E.M. & RIIS, R.G. (2017): Osteoarthritis year in review 2016: imaging. – Osteoarthritis and Cartilage 25, 2, 216–226.
- BOURNE, R.B. & BURNETT, R STEPHEN J (2004): The consequences of not resurfacing the patella. – Clinical orthopaedics and related research, 428, 166–169.
- BRUHIN, V.F., PREISS, S., SALZMANN, G.M. & HARDER, L.P. (2016): Frontal Tendon Lengthening Plasty for Treatment of Structural Patella Baja. – Arthroscopy techniques 5, 6, e1395-e1400.
- BUCKLAND-WRIGHT, J.C. (1994): Quantitative radiography of osteoarthritis. – Annals of the rheumatic diseases 53, 4, 268–275.
- CALLIESS, T., ETTINGER, M., STUKENBORG-COLSMANN, C. & WINDHAGEN, H. (2015): Kinematisches Alignment in der Knieendoprothetik. – Der Orthopäde 44, 4, 282–289.
- CATON, J., DESCHAMPS, G., CHAMBAT, P., LERAT, J.L. & DEJOUR, H. (1982): Les rotules basses. A propos de 128 observations. – Patella infera - 128 cases 68, 5, 317–325.
- CATON, J.H. & DEJOUR, D. (2010): Tibial tubercle osteotomy in patello-femoral instability and in patellar height abnormality. – International orthopaedics 34, 2, 305–309.
- CATON, J.H., PRUDHON, J.L., ASLANIAN, T. & VERDIER, R. (2016): Patellar height assessment in total knee arthroplasty: a new method. – International orthopaedics 40, 12, 2527–2531.
- CHAREANCHOLVANICH, K. & NARKBUNNAM, R. (2012): Novel method of measuring patellar height ratio using a distal femoral reference point. – International orthopaedics 36, 4, 749–753.
- CHEN, K., LI, G., FU, D., YUAN, C., ZHANG, Q. & CAI, Z. (2013): Patellar resurfacing versus nonresurfacing in total knee arthroplasty: a meta-analysis of randomised controlled trials. – International orthopaedics 37, 6, 1075–1083.

- CICUTTINI, F.M., BAKER, J., HART, D.J. & SPECTOR, T.D. (1996): Association of pain with radiological changes in different compartments and views of the knee joint. – *Osteoarthritis and cartilage / OARS, Osteoarthritis Research Society* 4, 2, 143–147.
- CLARKE, H.D. & SPANGEHL, M.J. (2014): Gender optimized patellar component designs are needed to better match female patellar anatomy. – *The Knee* 21, 6, 1250–1253.
- CULVENOR, A.G., ENGEN, C.N., ØIESTAD, B.E., ENGEBRETSEN, L. & RISBERG, M.A. (2015): Defining the presence of radiographic knee osteoarthritis: a comparison between the Kellgren and Lawrence system and OARSI atlas criteria. – *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 23, 12, 3532–3539.
- DIETRICH, T.J., FUCENTESE, S.F. & PFIRRMANN, C.W.A. (2016): Imaging of Individual Anatomical Risk Factors for Patellar Instability. – *Seminars in musculoskeletal radiology* 20, 1, 65–73.
- DUDA, G.N., HELLER, M.O., PFITZNER, T., TAYLOR, W.R., KÖNIG, C. & BERGMANN, G.: *Biomechanik des Kniegelenks*, 19–31.
- EGUND, N., LUNDIN, A. & WALLENGREN, N.O. (1988): The vertical position of the patella. A new radiographic method for routine use. – *Acta radiologica (Stockholm, Sweden)* 29, 5, 555–558.
- ENGELHARDT, M. & ALBRECHT, S. (Hrsg.) (2009²): *Sportverletzungen: Diagnose, Management und Begleitmassnahmen*. München: Elsevier, Urban & Fischer.
- ENGLUND, M. (2010): The role of biomechanics in the initiation and progression of OA of the knee. – *Best practice & research. Clinical rheumatology* 24, 1, 39–46.
- FROSCH, S., BALCAREK, P., WALDE, T.A., SCHÜTTRUMPF, J.P., WACHOWSKI, M.M., FERLEMAN, K.-G., STÜRMER, K.M. & FROSCH, K.-H. (2011): Die Therapie der Patellaluxation: Eine systematische Literaturanalyse. – *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* 149, 6, 630–645.
- FU, Y., WANG, G. & FU, Q. (2011): Patellar resurfacing in total knee arthroplasty for osteoarthritis: a meta-analysis. – *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy official journal of the ESSKA* 19, 9, 1460–1466.
- GIWNEWER, U., RUBIN, G., ORBACH, H. & ROZEN, N. (2016): [TREATMENT FOR OSTEOARTHRITIS OF THE KNEE]. – *Harefuah* 155, 7, 403–406.
- GRANA, W.A. & KRIEGSHAUSER, L.A. (1985): Scientific basis of extensor mechanism disorders. – *Clinics in sports medicine* 4, 2, 247–257.
- GRELSAMER, R.P. & MEADOWS, S. (1992): The modified Insall-Salvati ratio for assessment of patellar height. – *Clinical orthopaedics and related research*, 282, 170–176.
- GRELSAMER, R.P., PROCTOR, C.S. & BAZOS, A.N. (1994): Evaluation of patellar shape in the sagittal plane. A clinical analysis. – *The American journal of sports medicine* 22, 1, 61–66.
- GUNTER SPAHN ET AL. (2016): *Klassifikation von Knorpelschaden und Arthrose*.
- HACKENBROCH MH (Hrsg.) (2002): *Arthrosen. Basiswissen zu Klinik, Diagnostik und Therapie*.
- HART, H.F., STEFANIK, J.J., WYNDOW, N., MACHOTKA, Z. & CROSSLEY, K.M. (2017): The prevalence of radiographic and MRI-defined patellofemoral osteoarthritis and structural pathology: a systematic review and meta-analysis. – *British journal of sports medicine* 51, 16, 1195–1208.
- HELLER, M.O., TAYLOR, W.R., PERKA, C. & DUDA, G.N. (2003): The influence of alignment on the musculo-skeletal loading conditions at the knee. – *Langenbeck's archives of surgery* 388, 5, 291–297.

- HERRERO-BEAUMONT, G., ROMAN-BLAS, J.A., BRUYÈRE, O., COOPER, C., KANIS, J., MAGGI, S., RIZZOLI, R. & REGINSTER, J.-Y. (2017): Clinical settings in knee osteoarthritis: Pathophysiology guides treatment. – *Maturitas* 96, 54–57.
- HOFMANN, S., SEITLINGER, G., DJAHANI, O. & PIETSCH, M. (2011): The painful knee after TKA: a diagnostic algorithm for failure analysis. – *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 19, 9, 1442–1452.
- HSU, R.W.-W. (2006): The management of the patella in total knee arthroplasty. – *Chang Gung medical journal* 29, 5, 448–457.
- HÜTER-BECKER, A. & KLEIN, D. (Hrsg.) (2005): Biomechanik, Bewegungslehre, Leistungsphysiologie, Trainingslehre ; 23 Tabellen. Stuttgart [u.a.]: Thieme.
- INSALL, J. & SALVATI, E. (1971): Patella position in the normal knee joint. – *Radiology* 101, 1, 101–104.
- IWANO, T., KUROSAWA, H., TOKUYAMA, H. & HOSHIKAWA, Y. (1990): Roentgenographic and clinical findings of patellofemoral osteoarthritis. With special reference to its relationship to femorotibial osteoarthritis and etiologic factors. – *Clinical Orthopaedics and Related Research*®, 252, 190–197.
- JACKSON, J.L., O'MALLEY, P.G. & KROENKE, K. (2003): Evaluation of acute knee pain in primary care. – *Annals of internal medicine* 139, 7, 575–588.
- JAWHAR, A., SOHONI, S., SHAH, V. & SCHARF, H.P. (2014): Alteration of the patellar height following total knee arthroplasty. – *Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery* 134, 1, 91–97.
- JOHNSON, V.L. & HUNTER, D.J. (2014): The epidemiology of osteoarthritis. – *Best Practice & Research Clinical Rheumatology* 28, 1, 5–15.
- KARADIMAS, J.E., PISCOPAKIS, N. & SYRMALIS, L. (1981): Patella alta and chondromalacia. – *International orthopaedics* 5, 4, 247–249.
- KARRASCH, C. & GALLO, R.A. (2014): The acutely injured knee. – *The Medical clinics of North America* 98, 4, 719-36, xi.
- KELLGREN, J.H. (1956): Radiological signs of rheumatoid arthritis; a study of observer differences in the reading of hand films. – *Annals of the rheumatic diseases* 15, 1, 55–60.
- KIJOWSKI, R., BLANKENBAKER, D., STANTON, P., FINE, J. & SMET, A. de (2006): Correlation between radiographic findings of osteoarthritis and arthroscopic findings of articular cartilage degeneration within the patellofemoral joint. – *Skeletal radiology* 35, 12, 895–902.
- KIRCHER, J. (2011): Wie verändert sich die Position der Patella bei der hohen tibialen Umstellungsosteotomie? Ein Vergleich von etablierten Messalgorithmen mit der „Center-of-Rotation“-Methode.
- KOBAYASHI, S., PAPPAS, E., FRANSEN, M., REFSHAUGE, K. & SIMIC, M. (2016): The prevalence of patellofemoral osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. – *Osteoarthritis and Cartilage* 24, 10, 1697–1707.
- KOH, J.L. & STEWART, C. (2014): Patellar instability. – *Clinics in sports medicine* 33, 3, 461–476.
- KOH, J.L. & STEWART, C. (2015): Patellar instability. – *The Orthopedic clinics of North America* 46, 1, 147–157.
- KORF, H.-W. & SCHIEBLER, T.H. (Hrsg.) (2007¹⁰): Anatomie: Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie ; unter Berücksichtigung des Gegenstandskatalogs ; mit 111 Tabellen. [Heidelberg]: Steinkopff.
- KREVOLIN, J.L., PANDY, M.G. & PEARCE, J.C. (2004): Moment arm of the patellar tendon in the human knee. – *Journal of biomechanics* 37, 5, 785–788.

- KUMAR, N., YADAV, C., RAJ, R. & ANAND, S. (2014): How to Interpret Postoperative X-rays after Total Knee Arthroplasty. – *Orthopaedic Surgery* 6, 3, 179–186.
- LAPRADE, R.F., ORO, F.B., ZIEGLER, C.G., WIJICKS, C.A. & WALSH, M.P. (2010): Patellar height and tibial slope after opening-wedge proximal tibial osteotomy: A prospective study. – *The American journal of sports medicine* 38, 1, 160–170.
- LESIĆ, A.R., BUMBASIREVIĆ, M., SUDJIĆ, V.S., MITKOVIĆ, M.M., TULIĆ, G.D., IVANCEVIĆ, N., JAKOVljeVIĆ, A. & BAJEC, D.D. (2010): Patellofemoral disorders and instability. – *Acta chirurgica iugoslavica* 57, 4, 39–45.
- LEUNG, Y.F., WAI, Y.L. & LEUNG, Y.C. (1996): Patella alta in southern China. A new method of measurement. – *International orthopaedics* 20, 5, 305–310.
- LIN, C.-F.J., WU, J.-J., CHEN, T.-S. & HUANG, T.-F. (2005): Comparison of the Insall-Salvati ratio of the patella in patients with and without an ACL tear. – *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 13, 1, 8–11.
- LIPPERT, H. (Hrsg.) (2011⁸): *Lehrbuch Anatomie: 184 Tabellen*. München [u.a.]: Elsevier, Urban & Fischer.
- LITWIC, A., EDWARDS, M.H., DENNISON, E.M. & COOPER, C. (2013): Epidemiology and burden of osteoarthritis. – *British Medical Bulletin* 105, 1, 185–199.
- LOESER, R.F. (2004): Aging cartilage and osteoarthritis--what's the link? – *Science of aging knowledge environment SAGE KE* 2004, 29, pe31.
- LU, W., YANG, J., CHEN, S., ZHU, Y. & ZHU, C. (2016): Abnormal Patella Height Based on Insall-Salvati Ratio and its Correlation with Patellar Cartilage Lesions: An Extremity-Dedicated Low-Field Magnetic Resonance Imaging Analysis of 1703 Chinese Cases. – *Scandinavian journal of surgery SJS official organ for the Finnish Surgical Society and the Scandinavian Surgical Society* 105, 3, 197–203.
- MALGHEM, J., MALDAGUE, B., LECOUVET, F., KOUTAÏSSOFF, S. & VANDE BERG, B. (2008): Relecture des radiographies standard du genou: les surfaces articulaires. – *Journal de radiologie* 89, 5 Pt 2, 692-7; quiz708-10.
- MATSUDA, S., MIURA, H., NAGAMINE, R., URABE, K., IKENOUE, T., OKAZAKI, K. & IWAMOTO, Y. (1999): Posterior tibial slope in the normal and varus knee. – *The American journal of knee surgery* 12, 3, 165–168.
- MIURA, H., KAWAMURA, H., NAGAMINE, R., URABE, K. & IWAMOTO, Y. (1997): Is patellar height really lower after high tibial osteotomy? – *Fukuoka igaku zasshi = Fukuoka acta medica* 88, 6, 261–266.
- MURAKI, S., AKUNE, T., EN-YO, Y., YOSHIDA, M., SUZUKI, T., YOSHIDA, H., ISHIBASHI, H., TOKIMURA, F., YAMAMOTO, S., TANAKA, S., NAKAMURA, K., KAWAGUCHI, H., OKA, H. & YOSHIMURA, N. (2015): Joint space narrowing, body mass index, and knee pain: the ROAD study (OAC1839R1). – *Osteoarthritis and Cartilage* 23, 6, 874–881.
- NARKBUNNAM, R. & CHAREANCHOLVANICH, K. (2015): Effect of patient position on measurement of patellar height ratio. – *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 135, 8, 1151–1156.
- OISHI, C.S., KAUFMAN, K.R., IRBY, S.E. & COLWELL, C.W. (1996): Effects of patellar thickness on compression and shear forces in total knee arthroplasty. – *Clinical Orthopaedics and Related Research*®, 331, 283–290.
- ORLANDO JÚNIOR, N., DE SOUZA LEÃO, MARCOS GEORGE & DE OLIVEIRA, NELSON HENRIQUE CARVALHO (2015): Diagnosis of knee injuries: comparison of the physical examination and magnetic

- resonance imaging with the findings from arthroscopy. – *Revista brasileira de ortopedia* 50, 6, 712–719.
- 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. – *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 92, 8, 1045–1053.
- PORTNER, O. & PAKZAD, H. (2011): The evaluation of patellar height: a simple method. – *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 93, 1, 73–80.
- RABENBERG, M. (Hrsg.) (2013): *Arthrose* 54. Berlin: Robert-Koch-Institut.
- ROGERS, B.A., THORNTON-BOTT, P., CANNON, S.R. & BRIGGS, T W R (2006): Interobserver variation in the measurement of patellar height after total knee arthroplasty. – *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 88, 4, 484–488.
- SCHLENZKA, D. & SCHWESINGER, G. (1990): The height of the patella: an anatomical study. – *European journal of radiology* 11, 1, 19–21.
- SCHRÖTER, S., LOBENHOFFER, P., MUELLER, J., IHLE, C., STÖCKLE, U. & ALBRECHT, D. (2012a): Veränderung der Patellahöhe nach "open"- und "closed wedge high tibial osteotomy": Review der Literatur. – *Der Orthopäde* 41, 3, 186, 188-94.
- SCHRÖTER, S., LOBENHOFFER, P., MUELLER, J., IHLE, C., STÖCKLE, U. & ALBRECHT, D. (2012b): Veränderung der Patellahöhe nach „open“- und „closed wedge high tibial osteotomy“. – *Der Orthopäde* 41, 3, 186–194.
- SEIL, R., MÜLLER, B., GEORG, T., KOHN, D. & RUPP, S. (2000): Reliability and interobserver variability in radiological patellar height ratios. – *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy official journal of the ESSKA* 8, 4, 231–236.
- SEYAHİ, A., ATALAR, A.C., KOYUNCU, L.O., CINAR, B.M. & DEMIRHAN, M. (2006): Blumensaat çizgisi ve patella yüksekliği. – *Acta orthopaedica et traumatologica turcica* 40, 3, 240–247.
- SHARMA, A., LESZKO, F., KOMISTEK, R.D., SCUDERI, G.R., CATES, H.E. & LIU, F. (2008): In vivo patellofemoral forces in high flexion total knee arthroplasty. – *Journal of biomechanics* 41, 3, 642–648.
- SIEBOLD, R., AXE, J., IRRGANG, J.J., LI, K., LI, K., TASHMAN, S. & FU, F.H. (2010): A computerized analysis of femoral condyle radii in ACL intact and contralateral ACL reconstructed knees using 3D CT. – *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy official journal of the ESSKA* 18, 1, 26–31.
- SMITH, B.W. & GREEN, G.A. (1995): Acute knee injuries: Part I. History and physical examination. – *American family physician* 51, 3, 615–621.
- SÖDER, S. & AIGNER, T. (2011): *Arthrose*. – *Der Pathologe* 32, 3, 183–192.
- STAR, M.J., KAUFMAN, K.R., IRBY, S.E. & COLWELL, C.W. (1996): The effects of patellar thickness on patellofemoral forces after resurfacing. – *Clinical Orthopaedics and Related Research*®, 322, 279–284.
- STIELL, I.G., WELLS, G.A., HOAG, R.H., SIVILOTTI, M.L., CACCIOTTI, T.F., VERBEEK, P.R., GREENWAY, K.T., MCDOWELL, I., CWINN, A.A., GREENBERG, G.H., NICHOL, G. & MICHAEL, J.A. (1997): Implementation of the Ottawa Knee Rule for the use of radiography in acute knee injuries. – *JAMA* 278, 23, 2075–2079.
- VAN BUSSEL, C.M., STRONKS, D.L. & HUYGEN, F.J.P.M. (2014): Complex regional pain syndrome type I of the knee: a systematic literature review. – *European journal of pain (London, England)* 18, 6, 766–773.

- VAN DUIJVENBODE, D., STAVENUITER, M., BURGER, B., VAN DIJKE, C., SPERMON, J. & HOOZEMANS, M. (2016): The reliability of four widely used patellar height ratios. – *International Orthopaedics* 40, 3, 493–497.
- VISURI, T., PIHLAJAMÄKI, H.K., MATTILA, V.M. & KIURU, M. (2007): Elongated patellae at the final stage of Osgood-Schlatter disease: a radiographic study. – *The Knee* 14, 3, 198–203.
- WATERS, T.S. & BENTLEY, G. (2003): Patellar resurfacing in total knee arthroplasty. A prospective, randomized study. – *The Journal of Bone and Joint Surgery (American)* 85-A, 2, 212–217.
- YIANNAKOPOULOS, C.K., MATARAGAS, E. & ANTONOGIANNAKIS, E. (2008): The effect of quadriceps contraction during weight-bearing on four patellar height indices. – *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 90, 7, 870–873.
- ZACHER, J. & GURSCHE, A. (2001): Diagnosis of osteoarthritis. – *Der Orthopäde* 30, 11, 841–847.
- ZERVOS-KOPP, J. (Hrsg.) (2013³): *Anatomie, Biologie und Physiologie: Ergotherapie Prüfungswissen*. Stuttgart, New York: Thieme.
- ZHANG, Y. & JORDAN, J.M. (2008): Epidemiology of Osteoarthritis. – *Rheumatic Disease Clinics of North America* 34, 3, 515–529.

Danksagung

Mein herzlicher Dank gehört Herrn PD Dr. med. Jörn Kircher, der mir die Möglichkeit eröffnete diese Studie an der Klinik für Orthopädie der Heinrich-Heine-Universität durchzuführen und mich somit in meiner Promotion unterstützte. Er stand mir jederzeit mit anregender Kritik und optimaler Unterstützung beiseite.

Ohne meine Kollegin und Freundin Diana Kuck (geb. Böcker) hätte ich dieses Thema nicht entdeckt und bedanke mich für die humorvolle gemeinsame Arbeit.

Zuletzt bedanke mich bei meiner Frau Judith und meinem Sohn Noah für ihre Unterstützung, das Verständnis und den Rückhalt bei der Erstellung dieser Arbeit.