

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

**Bestimmung von Normwerten der Patellahöhe anhand des
neuentwickelten “Femoral Patella Height Index” sowie
Anpassung des Index zur Bestimmung
der Patellahöhe nach erfolgter
endoprothetischer Versorgung
des Kniegelenks**

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

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

vorgelegt von

Paquet, Christoph Michael

2025

Dekan: Professor Dr. rer. nat. Bernd Pichler

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Christoph Ihle

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Ulf Leichtle

Tag der Disputation: 06.11.2025

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	iv
Tabellenverzeichnis	viii
Abkürzungsverzeichnis	xi
1 Einleitung	1
1.1 Einführung in die Thematik	1
1.2 Grundlegende Anatomie	6
1.2.1 Anatomie des Kniegelenks	6
1.3 Pathologien des Kniegelenks und deren Diagnostik	11
1.3.1 Gonarthrose und deren Diagnostik	12
1.3.2 Unikompartimentelle Arthrose	13
1.3.3 Pathologien der Patella in Bezug zur Patellahöhe	14
1.4 Fragestellung	15
2 Material und Methoden	16
2.1 Material und Methoden	16

2.1.1	Rahmenbedingungen	16
2.1.1.1	Teil 1: Normwertbestimmung des FPHI	16
2.1.1.2	Teil 2: FPHI und angepasster FPHI bei KTP	20
2.1.2	Radiologie	22
2.1.3	Verwendete Indices	24
2.1.3.1	Femoral Patellar Height Index	24
2.1.3.2	Angepasster Femoral Patellar Height Index	25
2.1.3.3	Insall-Salvati Index	27
2.1.3.4	Blackburne-Peel Index	28
2.1.3.5	Caton-Deschamps Index	29
2.1.3.6	Miura-Kawamura Index	31
2.1.3.7	Modifizierter Insall-Salvati Index	32
2.1.3.8	Reklination nach Moore und Harvey (Tibial Slope)	33
2.1.3.9	Reklination nach Brazier	34
2.1.3.10	Reklination nach Amendola	36
2.1.4	Statistische Auswertung	37
2.1.4.1	Normwertbestimmung	39
3	Ergebnisse	40
3.1	Patientenkollektiv	40
3.2	Teil 1: Analyse des FPHI	41
3.2.1	Normwerte des FPHI	41

3.2.2	Alters- und Geschlechtsunterschiede	43
3.2.3	Beinachse und FPHI	45
3.2.4	Vergleich des ISI, BPI und CDI mit dem FPHI	45
3.2.5	Tibial Slope	49
3.3	Teil 2: Analyse des FPHI bei Knie totalprothesen	50
3.3.1	FPHI prä- und postoperativ	50
3.3.2	ISI, BPI, CDI, MISI und MKI prä- und postoperativ	51
3.3.2.1	ISI	52
3.3.2.2	BPI	53
3.3.2.3	CDI	54
3.3.2.4	MISI	55
3.3.2.5	MKI	56
3.3.3	Alters- und Geschlechtsunterschiede des FPHI prä- und postoperativ	57
3.3.4	Einfluss des Flexionswinkels auf den FPHI	57
3.3.5	Vergleich zwischen FPHI und angepasstem FPHI	58
4	Diskussion	60
4.1	Diskussion des FPHI	60
4.2	Diskussion der Übertragung des FPHI auf KTP	67
4.3	Limitationen der Studie	72
4.4	Schlussfolgerung	74

5 Zusammenfassung	76
6 Literaturverzeichnis	79
7 Erklärung zum Eigenanteil	105

Abbildungsverzeichnis

1.1 Kniegelenk Sagittalschnitt (Abbildung aus Netter et al. Atlas der Anatomie des Menschen, Tafel 493 [49]).	10
2.1 Beinachsbestimmung und Deformitätenanalyse anhand einer Ganzbeinaufnahme. Abkürzungsverzeichnis in Tabelle 2.1.	23
2.2 Links: Ganzbeinaufnahme mit Femoral Patellar Height Index (FPHI). Rechts: Vergrößerung des linken Kniegelenkes als Frontalaufnahme mit FPHI: Definiert durch die Distanz (A) zwischen dem medialen und lateralen Kortex der Epikondylen und der Distanz (B) zwischen Patellabasis und der Gelenkfläche der Femurkondylen.	25
2.3 Angepasster Femoral Patellar Height Index (a.FPHI): Links: Ganzbeinaufnahme mit Distanz (A) zwischen lateralem und medialem Kortex der Epikondylen. Rechts: laterale Kniegelenksaufnahme mit Distanz (B') zwischen Patellabasis und der Gelenkfläche der Femurkondylen.	27
2.4 Insall-Salvati Index (ISI): [33] Quotient aus Patellasehnenlänge (A) und der Patellalänge (B).	28

2.5	Blackburne-Peel Index (BPI) [35]: Quotient aus Distanz vom unteren Patellapol zur Höhe des Tibiaplateaus (A) und der Gelenkfläche der Patellarückseite (B).	29
2.6	Caton-Dechamps Index (CDI) [37]: Verhältnis aus Distanz zwischen unterem Patellapol und Tibiplateau (A) und der Patellagelenkfläche (B).	30
2.7	Miura-Kawamura Index (MKI) [40]: Quotient aus der Distanz zwischen der femoralen Gelenklinie und des unteren Pols der Patellarückfläche (A) und der Patellarückfläche (B).	32
2.8	Modifizierter Insall-Salvati Index (MISI) [65]: Verhältnis der Distanz zwischen unterem Patellapol und Patellasehneninsertion (A) und der Patellarückfläche (B).	33
2.9	Reklination nach Moore und Harvey [82]: Winkel zwischen einer Geraden (B) senkrecht zur vorderen Tibiakante (A) und einer Geraden tangential zum Tibiplateau (C).	34
2.10	Reklination nach Brazier [83]: Winkel zwischen der Gerade (C) tangential zum medialen Tibiaplateau und der Gerade (B) senkrecht zur hinteren Tibiakante (A).	35
2.11	Reklination nach Amendola [84]: Winkel zwischen der Geraden (C) tangential zum Tibiaplateau und der Geraden (B) senkrecht zur zentralen Tibiaachse (A).	37
3.1	Boxplot der Femoral Patellar Height Index (FPHI)-Mittelwertverteilung für die gesunde und pathologische Seite.	42

3.2	Zeigt zwei multiple Regressionsmodelle, jeweils für die pathologische und die gesunde Seite. Auf der Y-Achse werden die Werte des Femoral Patellar Height Index (FPHI) von Männern und Frauen in Abhängigkeit vom individuellen Alter (X-Achse) angegeben. Altersabhängige Regressionsgeraden beschreiben den linearen Zusammenhang zwischen dem FPHI, dem Alter und dem Geschlecht.	44
3.3	Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja und norma zwischen Femoral Patellar Height Index (FPHI) und Insall-Salvati Index (ISI) auf der pathologischen Seite.	47
3.4	Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja und norma zwischen Femoral Patellar Height Index (FPHI) und Blackburne-Peel Index (BPI) auf der pathologischen Seite.	48
3.5	Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja und norma zwischen Femoral Patellar Height Index (FPHI) und Caton-Dechamps Index (CDI) auf der pathologischen Seite.	49
3.6	Boxplot des Insall-Salvati Index (ISI) im prä- und postoperativen Vergleich.	52
3.7	Boxplot des Blackburne-Peel Index (BPI) im prä- und postoperativen Vergleich.	53
3.8	Boxplot des Caton-Dechamps Index (CDI) im prä- und postoperativen Vergleich.	54
3.9	Boxplot des Modifizierter Insall-Salvati Index (MISI) im prä- und postoperativen Vergleich.	55

3.10 Boxplot des Miura-Kawamura Index (MKI) im prä- und postoperativen Vergleich.	56
3.11 Zusammenhang zwischen dem prä- und postoperativen Flexionswinkel und dem Femoral Patellar Height Index (FPHI)-Wert der Prothesen-Seite.	58

Tabellenverzeichnis

1.1 Kellgren-Lawrence-Score zur Einteilung des Arthrosegrades [39, 60].	13
2.1 Abkürzungsverzeichnis zu Abb. 2.1 der Ganzbeinaufnahme.	24
3.1 Patientenkollektiv aufgeteilt nach Geschlecht (m=männlich, w=weiblich) in die einzelnen Subgruppen, deren Fallzahlen (N), dem Femoral Patellar Height Index (FPHI, unitless) und dessen Mittelwerte \pm Standarddeviation (MW \pm SD) sowie die Spannweite (Min–Max) für die pathologische (P.) und gesunde (G.) Seite und dem mittleren Alter und dessen Spannweite. Ges.=Gesamt. Alle Werte sind auf zwei Dezimalstellen gerundet.	40
3.2 Diagnosen des Patientenkollektivs nach Fallzahl (N) und prozentualer Verteilung.	41
3.3 Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite der Indices Blackburne-Peel, Insall-Salvati und Caton-Deschamps. . . .	45

3.4	Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite der tibialen Reklination nach Moore-Harvey (MH), Brazier (BRZ) und Amendola (AM).	45
3.5	Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja/norma zwischen dem Femoral Patellar Height Index FPHI (horizontal) und dem Insall-Salvati Index (ISI) (vertikal) auf der pathologischen Seite.	47
3.6	Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja/norma zwischen dem Femoral Patellar Height Index (FPHI) (horizontal) und dem Blackburne-Peel Index (BPI) (vertikal) auf der pathologischen Seite.	48
3.7	Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja/norma zwischen dem Femoral Patellar Height Index (FPHI) (horizontal) und dem Caton-Dechamps Index (CDI) (vertikal) auf der pathologischen Seite.	49
3.8	Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite des Insall-Salvati Index im prä- zu postoperativem Vergleich.	52
3.9	Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite des Blackburne-Peel Index im prä- zu postoperativem Vergleich.	53
3.10	Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite des Caton-Dechamps Index im prä- zu postoperativem Vergleich.	54
3.11	Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite des modifizierten Insall-Salvati Index im prä- zu postoperativem Vergleich.	55
3.12	Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite des Miura-Kawamura Index im prä- zu postoperativem Vergleich.	56

3.13 Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (SD) des Femoral Patellar Height Index (FPHI) und des angepassten FPHI prä- und postoperativ, jeweils für das Kniegelenk der gesunden und pathologischen Seite.	59
--	----

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACPA	Antikörper gegen citrullinierte Peptide
ACR	American College of Rheumatology
Altersgr.	Altersgruppe
AM	Amendola
ANOVA	Analysis of Variance
BG	Berufsgenossenschaft
BPI	Blackburne-Peel-Index
BRZ	Brazier
BSG	Blutsenkungsgeschwindigkeit
CDI	Caton-Deschamps-Index
CRP	C-reaktives Protein
CT	Computertomographie
EULAR	European League Against Rheumatism
FPHI	Femoral Patellar Height Index
G.	gesunde Seite
GBS	Ganzbeinstandaufnahme
HTO	High tibial osteotomy
ISI	Insall-Salvati-Index
KI	Konfidenzintervall
KTP	Knietotalendoprothese

M.	Musculus
m	männlich
Max	Maximal
MH	Moor-Harvey
MISI	modifizierter Insall-Salvati-Index
Min	Minimal
MKI	Miura-Kawamura-Index
MRT	Magnetresonanztomographie
MW	Mittelwert
N	Fallzahl
P.	pathologische Seite
Prä-op	Präoperativ
Post-op	Postoperativ
RF	Rheumafaktor
SD	Standardabweichung
Tab.	Tabelle
w	weiblich

1. Einleitung

1.1 Einführung in die Thematik

Operative Methoden zur Behandlung von Beschwerden im Bereich des Kniegelenks sind weit verbreitet und gehören zu den häufigsten Verfahren weltweit mit einer weiterhin steigenden Prävalenz [1, 2, 3]. Neben der endoprothetischen Versorgung des Kniegelenks haben sich innerhalb der letzten Jahrzehnte gelenkerhaltende Verfahren wie die hohe valgusierende Tibiakopfumstellungsosteotomie (HTO, High tibial osteotomy) oder die valgusierende distale Femurosteotomie (DFO) sowie Kombinationseingriffe (DLO) in der Behandlung der unikompartimentellen Gonarthrose erneut etabliert [4]. Die Wahl der Operationsmethode ist neben patientenbezogener Parameter wie Alter und Aktivitätsgrad insbesondere abhängig von einer exakten präoperativen Analyse der vorbestehenden Deformität unter Verwendung von Ganzbeinstandaufnahmen [5]. Die HTO, als eine der am häufigsten angewandten OP-Technik, hat bisher gute bis sehr gute klinische Ergebnisse mit einer hohen Patientenzufriedenheit erzielen können und findet insbesondere bei jungen Patienten mit einer varisch verformten Beinachse (O-Beine) und der Kniegelenksarthrose im medialen Kompartiment Anwendung. Ziel der Beinachskorrektur ist dabei die Änderung der Verteilung der Gewichtsbelastung und eine Korrektur der lasttragenden Beinachse mit einer Belas-

tungsverlagerung von medial nach zentral zur Entlastung des betroffenen Kompartiments [6, 7, 8, 9, 10, 11]. Es konnte gezeigt werden, dass bei 89% der Patienten eine Verzögerung der operativen Versorgung mittels Teilgelenkersatz (mediale Schlittenprothese) von 5 Jahren und bei 73% eine Verzögerung von 10 Jahren möglich ist [12]. Patienten über 50 Jahre hatten ein signifikant höheres Risiko für eine KTP als Patienten unter 50 Jahre, dennoch können auch bei älteren Patienten mit positiven Begleitfaktoren (Normalgewicht und hoher Aktivitätsgrad) gute klinische Ergebnisse erzielt werden [12]. Ein anfangs angenommener positiver Effekt auf die Funktion und die Überlebensdauer einer KTP nach HTO hat sich jedoch bislang nicht bestätigt [13]. Anzumerken ist jedoch die verzögerte Implantation des künstlichen Gelenks dieser Patienten und der Erhalt des originären Kniegelenks über mehrere Jahre. Durch eine zunehmend verbreiterte präoperative Deformitätenanalyse und einer hiermit verbundenen gezielteren Wahl der operativen Methode sind in den kommenden Jahren ebenfalls Verbesserungen hinsichtlich der Überlebensdauer des Kniegelenks nach HTO zu erwarten und weiterhin Bestandteil einer kontroversen wissenschaftlichen Diskussion. Positive Effekte einer HTO kommen Patienten jeglicher Altersgruppe zugute und zeigen gute bis sehr gute klinische und funktionelle Ergebnisse [14, 15, 16, 17]. 8 von 10 Patienten erreichen nach Beinachskorrektur wieder ihre normale Arbeitsbelastung und können sportliche Tätigkeiten, in ähnlichem oder sogar gesteigertem Ausmaß im Vergleich zu vor der Operation, wieder aufnehmen [18]. Komplikationen nach operativer Beinachskorrektur sind bekannt und treten hauptsächlich bei Fehlkorrekturen der Beinachse außerhalb der Frontalebene auf. Neben erwünschten Lageveränderungen des Kniegelenks, wie beispielsweise die Veränderung der tibialen Reklination (tibial slope) zur Kompensation resezierter Kreuzbänder bei endoprothetischer Versorgung [19], können auch unerwünschte Lageveränderungen auftreten wie beispielsweise eine Höhenveränderung der Patella [17, 20, 21].

Bei adäquater chirurgischer Technik ist bei gängigen Verfahren der Beinachs-korrektur in der Frontalebene jedoch keine unerwünschte Veränderung der Patellahöhe zu erwarten [22].

Zur Behandlung der fortgeschrittenen Kniegelenksarthrose ist die Knie-totalprothese (KTP) eine der häufigsten und effektivsten Verfahren zur Linderung der Beschwerden und zur Verbesserung der Beweglichkeit [23]. Hohes Alter und Fettleibigkeit zählen zu den Hauptrisikofaktoren einer Kniegelenksarthrose, daher sind jährlich steigende Zahlen an KTP-Operationen bereits zu beobachten und ein weiterer Anstieg ist zu erwarten [23, 24]. Schmerzen nach der Behandlung mittels Knie-totalprothese sind häufig im Bereich der Patella lokalisiert [8, 9]. Postoperativ kommt es bei rund 30% der Patienten zu Beschwerden [3]. Patienten mit posttraumatischer Kniegelenksarthrose zeigten in einer retrospektiven Studie von Lunebourg et al. nach einer KTP schlechtere klinische Ergebnisse und einer verringertes Implantatüberleben als Patienten mit KTP bei primärer Gonarthrose [25]. Die Patellahöhe wurde in mehreren Arbeiten als ein entscheidender Faktor im operativen Verlauf detektiert [26, 27]. So kommt es laut Gaillard et. al. bei einer präoperativen Patella baja, gemessen mittels Blackburne-Peel-Index, postoperativ häufiger zu Patellafrakturen und verringerter Flexionsfähigkeit im Kniegelenk (118.2° vs 115.5° ; $p=0.002$) [28]. Daher zeigt sich die Bestimmung der Patellahöhe im operativen Verlauf von großer klinischer Relevanz.

In der Vergangenheit wurden diverse Ansätze entwickelt, um einen Goldstandard zur Bestimmung der Patellahöhe zu etablieren. Da die meisten Methoden sich jedoch auf Orientierungspunkte der Tibia oder des Femurs beziehen, welche sich durch operative Korrekturen wie der Beinachskorrektur verändern können, konnten sich diese Methoden bisher nicht vollumfänglich als Goldstandard etablieren [29, 30, 31, 32]. Weitverbreitete tibiale Messformeln sind der Insall-Salvati Index (ISI) [33, 34], der Blackburne-Peel Index

(BPI) [35, 36] und der Caton-Deschamps Index (CDI) [37, 38]. Als femoral basierter Index wurde der Miura-Kawamura Index (MKI) publiziert [39, 40]. Die genannten Indices zeigten in einer Studie von Seil et al. zwar eine geringe Interobserver-Variabilität, jedoch wurde die Patellahöhe bei 68% der Patienten von den einzelnen Indices unterschiedlich klassifiziert [41]. Der Beugewinkel des Knie- oder auch Hüftgelenks zeigt ebenfalls einen großen Einfluss auf die Lage der unteren Extremitäten und wirkt sich somit auf die Patellahöhe aus [42]. Daher ist eine definierte und einheitliche Körperhaltung entscheidend für korrekte und vergleichbare Messergebnisse. Diese kann bei den zumeist verwendeten Röntgenbildern der Kniegelenke in 2 Ebenen jedoch nicht gewährleistet werden und übt sich somit, durch eine beispielsweise uneinheitliche Spannung des M. quadrizeps femoris, auf die Genauigkeit der Messergebnisse aus [43, 44]. Eine Überlagerung der Messpunkte birgt ebenso Schwierigkeiten in der postoperativen Bestimmung der Patellahöhe im seitlichen Strahlengang [45]. Ein nach einer Umstellungsosteotomie ungewolltes Tiefer- bzw. Höherentreten der Patella (Patella baja/alta), kann die Kniefunktion erheblich beeinträchtigen und erschwerte Bedingungen bei einer späteren Knieprothesenimplantation schaffen [27].

Als bisher populärste femurbasierte Messmethode präsentiert sich der ISI, welcher aus dem Verhältnis der Patellarsehnenlänge und der größten diagonalen Patellalänge berechnet wird [33]. Diverse Studien zeigen einerseits exzellente [34], andererseits eine große Diskrepanz der Reproduzierbarkeit zwischen den Untersuchern auf, welche auf eine erschwerte Feststellung der exakten Patellarsehneninsertion zurückgeführt wird [32, 41]. Der ISI zeigte zudem ein geringeres Auftreten einer Patella norma [41] und scheint daher für den klinischen Alltag keine optimale Messmethode zur Bestimmung der Patellahöhe zu sein. Der BPI, als ebenfalls femurbasierte Messmethode, entsteht aus dem Verhältnis zwischen der Distanz zwischen der

Senkrechten von der Tibiaplateaulinie zum unteren Patellapol und der Länge der Patellagelenkfläche [35]. Diese Methode wird in mehreren Studien als bisher zuverlässigste und aussagekräftigste Methode dargestellt [34, 36, 41].

Der femurbasierte CDI wird aus dem kürzesten Abstand zwischen dem Vorderrand des Tibiaplateaus und dem unteren Patellapol geteilt durch die Gelenkflächenlänge der Patella gebildet [46]. Er zeigt höhere Übereinstimmungen zwischen unterschiedlichen Untersuchern als der ISI [32], weist jedoch seltener eine Patella alta auf als die anderen Indices [41]. Zudem zeigte er sich als ungeeignet bei der postoperativen Bestimmung der Patellahöhe nach KTP-Implantation durch eine Überlagerung der Messpunkte durch die Prothese [45].

Bisher etablierte sich somit keiner der vorgestellten Indices als Goldstandard, insbesondere im Bereich der Planung und Verlaufskontrolle bei Beinachsenkorrekturen und Knieprothesen am Kniegelenk.

Im Rahmen vorangegangener Arbeiten wurde daher eine neue Messmethode entwickelt, welche sich an anatomischen Punkten orientiert, die sich prä- wie postoperativ bei einer tibialen Umstellungsosteotomie unverändert zeigen und an gängigen Ganzbeinstandaufnahmen bestimmten lassen [22]. Dies ist der Femoral Patellar Height Index (FPHI), welcher auf femoralen und patellaren Bezugspunkten basiert. Er entsteht durch das Verhältnis zwischen der Strecke zwischen dem medialen und lateralen Kortex der Epikondylen des Femurs und der Strecke, welche zwischen Patellabasis und der Gelenkfläche der Femurkondylen liegt [22]. Zur präoperativen Planung einer HTO sind Ganzbeinstandaufnahmen mit Abbildung beider Beine und Kniegelenksaufnahmen in 2 Ebenen empfohlen [5]. Durch Verwendung einer standardisierten Aufnahmetechnik der Ganzbeinstandaufnahme sollte eine einheitliche Quadrizepsspannung gewährleistet sein und vergleichba-

re Messergebnisse erzielt werden können [47]. Normwerte des FPHI bei orthopädisch gesunden Personen, auch unter Berücksichtigung von Alters- und Geschlechtsunterschieden, sind bislang nicht bekannt. Diese Promotion prüft eine Anpassung des Index zur Bestimmung der Patellahöhe nach erfolgter endoprothetischer Versorgung des Kniegelenks mittels Oberflächenersatz und trägt somit zur Etablierung eines solchen Standards bei, auch im Vergleich zu den bisherigen Messmethoden (ISI, BPI und CDI).

1.2 Grundlegende Anatomie

1.2.1 Anatomie des Kniegelenks

Das Kniegelenk wird gebildet aus den Gelenkflächen des Femurs, der Tibia und der Patella. Die Patella ist ein scheibenförmiger, flacher und von frontal betrachtet dreieckiger Knochen. Sie schützt das Kniegelenk von frontal und dient als Sesambein in der Sehne des Musculus quadrizeps femoris, verlängert diesen als Hebelarm und verhindert, in Kombination mit den Haltebändern, das seitliche Abgleiten der Sehne [48, 49].

Die Vorderseite (Facies anterior) präsentiert sich konvex, sie enthält kleine Öffnungen, durch welche die versorgenden Blutgefäße in das Innere des Knochens ziehen. Der kraniale Pol wird als Basis patellae, der distale Pol als Apex patellae bezeichnet. Die Sehne des Musculus quadrizeps femoris bedeckt sie vollständig und endet kaudal im Ligamentum patellae, welches an der Tuberositas tibiae ansetzt. Als Ligament hat es nur eine geringe Elastizität und hierdurch eine relativ konstante Länge. Durch Dehnungen dieses Bandes kann es nur zu geringen Längenverschiebungen der Kniescheibe kommen. Über der Kniescheibe befindet sich die Bursa subcutanea praepatellaris, welche als Schleimbeutel die Patella polstert und eine Verschieblich-

keit gegenüber der Haut gewährleistet [48].

Die konkave hintere Seite bildet die mit Knorpel überzogene Gelenkfläche zum Patellofemoralgelenk. Diese ist durch eine leichte Erhebung in zwei ungleiche Felder geteilt, von denen das mediale Feld meist kleiner ist [48, 49].

Das Femur verbreitert sich am distalen Ende und geht in den Condylus medialis und lateralis über. Die Kondylen bilden an der Vorderseite eine große Gelenkfläche; diese artikuliert frontal mit der Patella und nach distal mit der Tibia. Der posteriore Teil der Kondylen wird durch eine Grube, die Fossa intercondylaris, getrennt. In dieser Grube sind die Kreuzbänder verankert. Eine leicht prominente Querleiste, die Linea intercondylaris, begrenzt diese durch die proximal liegende Fläche, genannt Facies poplitea und wird lateral der beiden Lippen von der Linea aspera femoris begrenzt. Die Epicondylus medialis und lateralis sind die seitlichen, nicht knorpelüberzogenen Flächen der beiden Kondylen [48].

Das Femorotibialgelenk bildet sich aus den Gelenkflächen des Femurs und der Tibia. Die Tibia bildet im proximalen Ende ebenfalls zwei Gelenkanteile, Condylus medialis und lateralis. Die Facies articulares superiores fungieren hier als Gelenkflächen. Die Facies articularis fibularis liegt unterhalb des Condylus lateralis und bildet die Gelenkfläche zur Fibula. Nach distal geht die Tibia in den Corpus tibialis über, hier präsentiert sich im oberen Abschnitt eine raue Prominenz, die Tuberositas tibiae, an welcher der Musculus quadrizeps femoris ansetzt [49, 50]. Der Bewegungsapparat des Knies wird hauptsächlich durch Sehnen und Bänder gestützt, es besteht kaum eine knöcherne Führung im Kniegelenk [48, 50].

Als Ausgleich der Inkongruenzen der Kondylen und zur Vergrößerung der Kontaktflächen zwischen Femur und Tibia dienen die Menisci medialis und

lateralis. Die faserknorpeligen Menisken sind außen mit der Gelenkkapsel verwachsen und enden durch Faserzüge an der Tibia. Sie ergänzen somit die Gelenkpfanne und passen sich an verschiedene Verformungsradien des Kniegelenks an [48].

Mechanisch am wichtigsten sind die Seiten- und Kreuzbänder. Die Seitenbänder bilden sich aus dem Ligamentum collaterale mediale, welches am Epicondylus medialis femoris entspringt und unterhalb des Condylus medialis tibialis ansetzt und dem Ligamentum collaterale laterale, welches am Epicondylus lateralis femoris entspringt und am Tibiaköpfchen ansetzt. Diese sorgen für eine gute Stabilität, dämpfen Varus- und Valgusstress und verhindern eine Rotation des Kniegelenks in Extensionsstellung [48, 49].

Die Kreuzbänder bestehen aus dem vorderen (Ligamentum cruciatum anterior) und dem hinteren Kreuzband (Ligamentum cruciatum posterior). Das vordere Kreuzband zieht in der Gelenkhöhle von posterior, superior und lateral nach anterior, inferior und medial, das hintere Kreuzband von anterior, superior und medial nach posterior, inferior und lateral [48, 49].

Die Kreuzbänder hemmen drei der vier Hauptbewegungen des Gelenks, indem sie sich bei Streckung, Innenrotation und Beugung gegeneinander verwinden. Bei Außenrotation weichen sie voneinander ab und geben somit das Gelenk frei. Sie verhindern ebenso ein Abrutschen der Femurkondylen bei Beugung nach ventral bzw. dorsal [48, 50]. Es gibt fünf Muskeln, welche auf das Kniegelenk einwirken: Musculus quadrizeps femoris, M. sartorius, M. biceps femoris, M. semitendinosus, M. semimembranosus und M. popliteus [48].

Als relevanten Muskel für die in dieser Arbeit untersuchten Position der Knie-
scheibe wird lediglich der M. quadriceps femoris ausführlicher beschrieben:

Der Musculus quadrizeps femoris, als einziger Extensor des Kniegelenks,

ist aus vier Teilen aufgebaut: dem *Musculus vastus medialis*, dem *Musculus vastus lateralis*, dem *Musculus vastus intermedius* und dem *Musculus rectus femoris*. Die gemeinsame Sehne dieser vier Teile setzt gemeinsam an der *Basis patellae* an. Die vier Anteile halten die Patella in ihrer Gleitrinne. Daraus resultiert eine variierende Patellalage, je nach Anspannungsgrad des Muskels. Der Muskel stützt das Kniegelenk im Stand und verhindert ein Einknicken [48, 49].

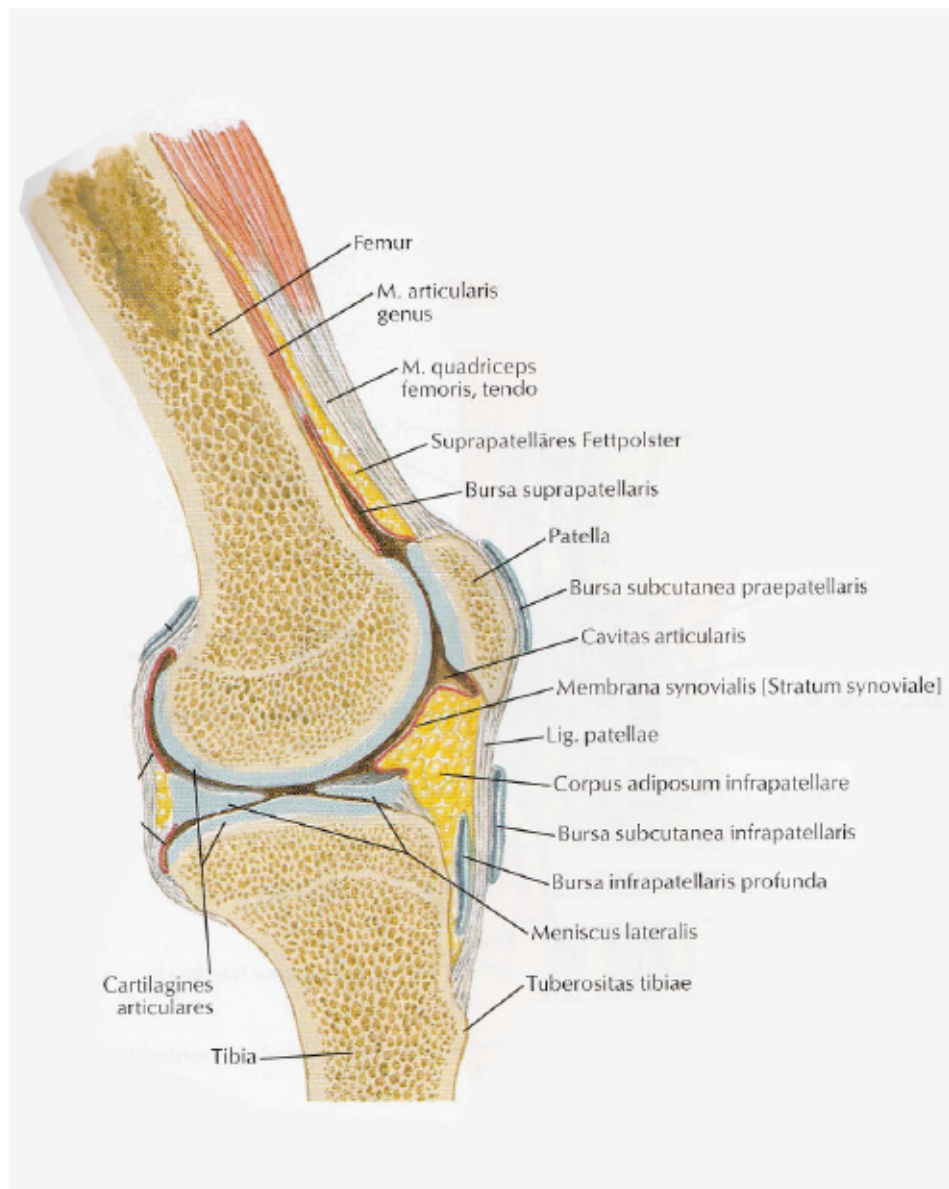


Abbildung 1.1: Kniegelenk Sagittalschnitt (Abbildung aus Netter et al. Atlas der Anatomie des Menschen, Tafel 493 [49]).

1.3 Pathologien des Kniegelenks und deren Diagnostik

Das Kniegelenk als komplexe Struktur ist anfällig für eine Vielzahl an Pathologien. Zur Detektion dieser Pathologien bedarf es einer Kombination aus diversen diagnostischen Verfahren. Hauptbestandteil ist eine ausführliche Anamnese, sowie körperliche Untersuchung und ergänzende bildgebende Verfahren, welche eventuell durch Laboruntersuchungen oder invasive Methoden, wie die Arthroskopie, unterstützt werden [51, 52].

Eine frühe Diagnostik und deren Verlaufskontrolle ist ausschlaggebend für eine mögliche Therapie und deren Behandlungserfolg [53].

Konservative Therapieschemata werden abhängig vom Verletzungsmuster primär bevorzugt und haben sich bei einigen Pathologien bereits bewährt. Die häufigsten Diagnosen der akuten traumatischen Knieverletzung sind: Meniskus-, Kreuzband- oder Seitenbandschäden und eine Instabilität der Patella [47].

Meist genügt in diesen Fällen sich der Basisdiagnostik zu bedienen (Anamnese, Klinische Untersuchung und Röntgenbilder); für spezifischere Aussagen oder bei komplexeren Ereignissen wie der rezidivierenden Patellaluxation oder chronischen Patellainstabilität werden erweiterte Verfahren wie die Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT) oder Torsionsbestimmung ergänzt. Die MRT eignet sich bei speziellen Fragestellungen zu Sehnen, Menisken, Bändern und Knorpeldefekten [54, 55, 56]. Zu den häufigsten atraumatischen Gelenkerkrankungen im höheren Lebensalter zählt die Gonarthrose [57].

1.3.1 Gonarthrose und deren Diagnostik

Die Gonarthrose ist eine nicht-entzündliche, degenerative und langsam progrediente Veränderung des Kniegelenks, welche das Gelenk und deren Gelenkknorpel voranschreitend zerstört.

Die primäre Form der Arthrose ist idiopathisch. Die sekundäre Form entsteht ursächlich beispielsweise durch mechanische Überbelastung (Sport, Übergewicht, Schwerstarbeit), entzündliche Gelenkerkrankungen (Kniegelenksempyem, Rheumatoide Arthritis), posttraumatische Zustände (Frakturen, Rupturen) und angeborene Achsfehlstellungen [58].

Bei länger anhaltenden Knieschmerzen, die auf eine arthrotische Erkrankung im Kniegelenk hinweisen, empfiehlt das American College of Rheumatology (ACR) die folgenden Klassifikationskriterien zur Diagnostik einer bestehenden Arthrose [59]: Chronischer Knieschmerz (>6 Wochen) und mindestens 3 der 6 folgenden Kriterien: Alter >50 Jahre, Morgensteifigkeit bis zu 30 Minuten, Krepitation bei aktiven Bewegungen, Sensibilitätssteigerung bei knöcherner Palpation, Knochenwachstum oder Verdickungen und lokal keine Erwärmung bei Palpation.

Radiologisch können sich insbesondere vier Arthrosezeichen präsentieren, bestehend aus Gelenkspaltverschmälerung, osteophytären Anbauten, subchondraler Sklerosierung und Pseudozysten (Geröllzysten).

Die radiologischen Kriterien der Arthrose können anhand des Kellgren-Lawrence-Score bewertet werden [39] (Tabelle 1.1). Dabei erfolgt die Einteilung wie folgt:

Tabelle 1.1: Kellgren-Lawrence-Score zur Einteilung des Arthrosegrades [39, 60].

0: keine Arthrose:	Normalbefund
1: fragliche Arthrose:	fragliche Osteophytenbildung, minimale Gelenkspaltminderung
2: minimale Arthrose:	gesicherte Osteophytenbildung, diskrete Gelenkspaltminderung
3: moderate Arthrose	multiple Osteophyten, sichtbare Gelenkspaltminderung, geringgradige bis mäßige subchondrale Sklerose, andeutende Deformität gelenkbildender Knochenanteile
4: schwere Arthrose	ausgeprägte Osteophytenbildungen, fortgeschrittene Gelenkspaltminderung, schwere subchondrale Sklerose, deutliche Deformität der gelenkbildenden Knochenanteile

1.3.2 Unikompartimentelle Arthrose

Die unikompartimentelle Arthrose ist eine Form der Kniearthrose, bei der nur ein Kompartiment des Kniegelenks, meist das mediale (innere), seltener das laterale (äußere) Kompartiment betroffen ist [60]. Diese lokalisierte Abnutzung des Gelenkknorpels führt zu Schmerzen, eingeschränkter Beweglichkeit und Entzündungen [61, 62]. Die Behandlung kann konservativ durch Physiotherapie und Schmerzmittel erfolgen oder operativ durch gelenkerhaltende Eingriffe wie die hohe Tibiakopfumstellungsosteotomie (HTO) oder den Teilgelenkersatz, um die betroffene Region zu entlasten und die Funktion des Knies zu erhalten [61, 62].

1.3.3 Pathologien der Patella in Bezug zur Patellahöhe

Die Patella alta ist eine Patellastellung mit einer kranialisierten Lage, hierbei liegt sie verhältnismäßig höher zur Trochlea femoris (Patellarille) [63]. Insall et al. [33] beschrieben diesen Zustand bereits 1971 als "High riding patella". Es besteht kein ausreichender Kontakt zur Trochlea femoris und das Risiko einer Patellaluxation ist erhöht [64]. Diverse Pathologien des Patellofemoralgelenks sind mit einer Patella alta assoziiert [64]. Darunter zählen eine kleine Patella, abnorme, bzw. übermäßige Patellaneigung, Verformungen der Trochlea oder der Femurkondylen, Chondromalacia patellae, Gelenkerguss, ligamentäre Dysfunktionen und ein ineffizienter M. quadriceps femoris. All diese Faktoren begünstigen das Auftreten einer (Sub-)Luxation bzw. Dislokation der Patella [63, 65, 66, 67, 68, 69].

Die Patella baja oder auch Patella infera ist eine Pathologie mit einer kaudalisierten Lage der Patella, sie liegt zu tief in der Trochlea femoris und weist somit eine geringe Distanz zwischen dem unteren Patellapol und der tibialen Gelenkfläche auf. Eine Verkürzung der Patellasehne ist häufig vorzufinden [63, 70]. Ein Kontakt der Patella mit der Trochlea femoris spricht für eine Patella baja und sollte bei einem gesunden Kniegelenk in Extensionsstellung nicht auftreten. Ein Tiefertreten der Patella korreliert in diversen Studien mit posttraumatischen oder postoperativen Kniegelenken [71, 72, 73, 74]. Hauptursachen waren dabei eine HTO, Frakturen der Patella und ein Zustand nach Implantation einer KTP, vermutlich durch Mikrotraumata und ischämische Ereignisse [75, 76, 77, 78]. Auch konnten diverse klinische Beschwerden mit einer Patella baja in Verbindung gebracht werden. Dazu zählen der vordere Knieschmerz, Versteifungen im Kniegelenk, mechanische Veränderungen und damit einhergehende Bewegungseinschränkungen und Dysfunktionen der Streckmuskulatur [8, 9, 10, 14, 15].

1.4 Fragestellung

Die oben genannten Messmethoden zur Bestimmung der Patellahöhe sind weiterhin kontrovers diskutiert und es besteht kein allgemeiner Konsens hinsichtlich der Verwendung einer einzelnen Methode zur Bestimmung der Patellahöhe zur Planung und Verlaufskontrolle bei Beinachskorrekturen und Kniegelenksprothesen. Diese Arbeit befasst sich mit der Anwendbarkeit des FPHI im klinischen Alltag und der Bestimmung von Normwerten, einer Überprüfung auf Alters- und Geschlechtsunterschiede, dem Einfluss der Beinachse auf die Patellahöhe, dem Unterschied zwischen dem FPHI und den bisher genannten Indizes und einer Übertragung des FPHI auf Patienten mit einer Oberflächenersatzprothese und in diesem Fall, dem Einfluss des Flexionswinkels auf die Patellahöhe.

2. Material und Methoden

2.1 Material und Methoden

2.1.1 Rahmenbedingungen

Im Rahmen einer retrospektiven Studie mit dem Evidenz-Level 3 nach der Oxford Klassifikation sollten in der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Tübingen, Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie der Eberhard-Karls Universität Tübingen, radiologische Bilder von Kniegelenken zur Bestimmung von Normwerten des FPHI sowie zur Übertragung der Klassifikation in den Bereich der Kniegelenksendoprothetik evaluiert werden. Die vorgestellte Studie (Teil 1 und Teil 2) wurde von der Ethikkommission der Universität Tübingen positiv bewertet (Antrag-Nr. 719/2017BO2 sowie Antrag-Nr. 212/2018BO2).

2.1.1.1 Teil 1: Normwertbestimmung des FPHI

Die Patientendaten wurden retrospektiv in der Klinik erhoben. Im ersten Teil der Studie erfolgte eine konsekutive Erfassung von 300 Patienten, die vor dem 01.07.2017 an der BG Unfallklinik Tübingen eine Ganzbeinstandaufnahme mit Kniegelenksaufnahmen in zwei Ebenen erhielten. Die Auswahl

der Patienten erfolgte durch eine manuelle Durchsicht der in der BG Unfallklinik Tübingen vorhandenen digitalen Radiologie-Software IMPAX (Agfa IMPAX 6, Waterloo, Canada). Orientierend an bisherigen Studien zur Bestimmung der Patellahöhe wurde eine Fallzahl von 300 Patienten ausgewählt, wobei jeweils das rechte und linke Kniegelenk auf der Ganzbeinstandaufnahme analysiert wurden [33, 79, 80].

In dieser Vorauswahl wurden die Patientenakten durchgesehen, wobei insbesondere die Arztbriefe geprüft und anhand der Ausschlusskriterien bewertet wurden. Wurde ein Patient als geeignet eingestuft und waren alle erforderlichen Röntgenbilder vollständig vorhanden, erfolgte eine systematische Prüfung der Bilder, um sicherzustellen, dass auch hier keine Ausschlusskriterien sichtbar waren. Geeignete Patienten wurden anschließend in einer Tabelle mit Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA) erfasst, in der alle relevanten klinischen Daten und Ergebnisse strukturiert dokumentiert wurden. Dabei wurden die Patienten-ID, das Geschlecht, sowie das Alter der Patienten dokumentiert, um eine eindeutige Zuordnung und eine demografische Einordnung zu ermöglichen. Zusätzlich wurde die Gruppe zugeordnet, in der die Patienten basierend auf bestimmten Studienkriterien eingeteilt wurden. Weiterhin wurde die Diagnose in kodierter Form sowie ein Freitext der Diagnose aufgenommen, um zusätzliche spezifische Informationen zu erfassen, die über die standardisierte Klassifikation hinausgingen. Schließlich wurde die Seite der Kniegelenksendoprothese (KTP) oder der zugrunde liegenden Pathologie, rechts oder links eindeutig festgehalten, um eine differenzierte Analyse der betroffenen Kniegelenke zu gewährleisten.

Die Röntgenbilder wurden digital gespeichert, anonymisiert, einer Patienten-ID zugeordnet und anschließend vom Beobachter vermessen. Hierbei wurden die Messpunkte der einzelnen Indizes gemäß den standardisierten Vor-

gaben festgelegt. Vor Beginn der Analysen erhielt der Beobachter eine umfassende Schulung durch zwei erfahrene Mitarbeiter der Klinik, um die korrekte Anwendung der Indizes und die exakte Bestimmung der Messpunkte sicherzustellen.

Zusätzlich wurde anhand des Kellgren-Lawrence-Scores (1.3.1), basierend auf Literaturrecherchen, eine Einteilung der Arthrosegrade vorgenommen. Der Score wurde als objektive Grundlage für die Klassifikation der Gelenkarthrose verwendet. Der Doktorand nutzte während der gesamten Datenerhebung unterstützende Literatur sowie anschauliche Darstellungen der Klassifikationen, um die Präzision zu gewährleisten.

Die Gesamtpopulation wurde anhand des Alters in 6 Subgruppen aufgeteilt. Diese Subgruppen sollten annähernd gleichmäßig auf die Geschlechter (weiblich/männlich) aufgeteilt werden. Um die Fallzahl von 300 Patienten erreichen zu können wurden Abweichungen je Gruppe zwischen 23-27 Patienten toleriert.

Folgende Subgruppenverteilung wurde angestrebt:

- Altersgruppe 18-30 Jahre: N=50, 25w/25m
- Altersgruppe 31-40 Jahre: N=50, 25w/25m
- Altersgruppe 41-50 Jahre: N=50, 25w/25m
- Altersgruppe 51-60 Jahre: N=50, 25w/25m
- Altersgruppe 61-70 Jahre: N=50, 25w/25m
- Altersgruppe 71-80 Jahre: N=50, 25w/25m

Folgende Ausschlusskriterien waren hierbei zu beachten:

- Alter <18 Jahre
- Vorherige operative Versorgung mit Beteiligung knöcherner Strukturen der Kniegelenke (z.B. Knieprothese, Umstellungsosteotomie, Fraktur-osteosynthese)
- Bekannte hereditäre Störung des Knochenstoffwechsels oder Fehlbildungen knöcherner Strukturen
- Vorliegende Patellaschmerzen beim Laufen, Treppensteigen oder Knien oder diagnostizierter Chondromalacia patellae bzw. rezidivierende (Sub-)Luxation der Patella
- Aktuelle Verletzung oder akute Entzündung einhergehend mit eingeschränkter voller Extensionsfähigkeit des Kniegelenks
- 10° Extensionsstellung kann anhand der Patientendokumentation nicht erreicht werden
- Vorheriges Frakturereignis bzw. aktuelle posttraumatische Deformität

2.1.1.2 Teil 2: FPHI und angepasster FPHI bei KTP

Des Weiteren kam es zu einer Anpassung des FPHI zur Bestimmung der Patellahöhe nach erfolgter endoprothetischer Versorgung des Kniegelenks mittels Oberflächenersatz Typ Columbus.

Es wurde eine konsekutive Erfassung der letzten 100 Patienten (50 weiblich, 50 männlich) durchgeführt, welche anhand der u.g. Ausschlusskriterien zutreffend waren und vor dem 01.11.2017 mit einer Kniegelenksendoprothese vom Typ Columbus in unserer Klinik versorgt wurden und sowohl prä- als auch postoperativ Ganzbeinstandaufnahmen (drei bis sechs Monate postoperativ) mit Kniegelenksaufnahmen in 2 Ebenen an der BG Unfallklinik Tübingen erhielten. Dabei wurden Patientendaten verwendet, welche auf gleiche Weise wie im ersten Teil der Studie, mittels Suche im IMPAX-System und nach Recherche im Krankenhausinformationssystem unter Beachtung der Ein- und Ausschlusskriterien aufgenommen wurden. Orientierend an bisherigen Studien zur Bestimmung der Patellahöhe wurde eine Fallzahl von 100 Patienten gewählt [81].

Folgende Ausschlusskriterien galten:

- Bereits erfolgte operative Versorgung samt knöcherner Beteiligung eines der beiden Kniegelenke (z.B. Knieprothese, Umstellungsosteotomie, Frakturosteosynthese, Ersatzplastik des vorderen Kreuzbands)
- Vorheriges Frakturereignis bzw. aktuell bestehende posttraumatische Deformität
- Bekannte hereditäre Störung des Knochenstoffwechsels oder Fehlbildungen der knöchernen Struktur
- Diagnostizierte bzw. rezidivierende (Sub-)Luxation der Patella

- Nichtvorliegen aller notwendigen Röntgenaufnahmen des Patienten, prä- wie postoperativ.

Da Patienten die Sprechstunde der BG-Klinik Tübingen in der Regel aufgrund bestehender Beschwerden aufsuchen, bestand die Herausforderung darin, einen potenziellen systematischen Bias zu vermeiden. Standardmäßig werden beidseitige Ganzbeinaufnahmen durchgeführt, um die Beinachse zu bestimmen. Wurde bei der Datenerhebung im Krankenhausinformationssystem festgestellt, dass ein Kniegelenk auf der Gegenseite der pathologischen Seite anamnestisch beschwerdefrei war, konnte dieses als "gesundes" Knie definiert werden.

Zur Bestimmung von Referenzwerten wurden die Daten sowohl des pathologischen als auch des gesunden Kniegelenks eines jeden Patienten analysiert und miteinander verglichen. Ziel war es, Unterschiede in Bezug auf Pathologien wie Arthrosegrade und Achsdeformitäten zu identifizieren. Die Messungen der gesunden Kniegelenke dienten der Etablierung von Normwerten und der Berücksichtigung von alters- und geschlechtsspezifischen Unterschieden.

An beiden Kniegelenken, sowohl den gesunden als auch den pathologischen, wurden gängige Tibia-referenzierte Indizes wie der ISI, BPI und CDI angewendet, um diese mit den Normwerten des FPHI zu vergleichen. Darüber hinaus wurden bei Patienten mit einer Kniegelenktotalprothese (KTP) zusätzlich femorale Messmethoden, darunter der Miura-Kawamura Index (MKI) und der modifizierte Insall-Salvati Index (MISI), genutzt. Abschließend erfolgte eine prä- und postoperative Gegenüberstellung sowie eine Analyse des Einflusses des Flexionswinkels auf die verschiedenen Messmethoden.

Nach erfolgter statistischer Auswertung wurden alle Ausreißer überprüft und bei Fehlmessungen erneut vermessen. In einigen Fällen waren bestimm-

te Messpunkte ungültig, nicht sichtbar oder aufgrund von Überlagerungen durch die Prothese nicht auswertbar. Diese Probleme traten insbesondere in den postoperativen Aufnahmen auf. 10 Patienten, nämlich die mit den IDs 20, 28, 29, 41, 54, 57, 70, 75, 83 und 89 wurden aus der Studie ausgeschlossen, um die Vergleichbarkeit und Validität der Ergebnisse zu sichern. Zwar verringert dieser Ausschluss die Fallzahl und somit die statistische Aussagekraft etwas, er stellt jedoch sicher, dass nur qualitativ hochwertige und konsistente Daten in die Analyse einfließen.

2.1.2 Radiologie

Die Röntgenbilder wurden zu Beginn anhand einer Distanzkugel (normiert auf 25 Millimeter) skaliert. Im Anschluss erfolgte die Vermessung der einzelnen Parameter.

Die Bestimmung der Beinachse erfolgte durch Messung des Winkels zwischen mechanischer Femur- und Tibia-Achse. Ein Beispiel zeigt Abbildung 2.1.

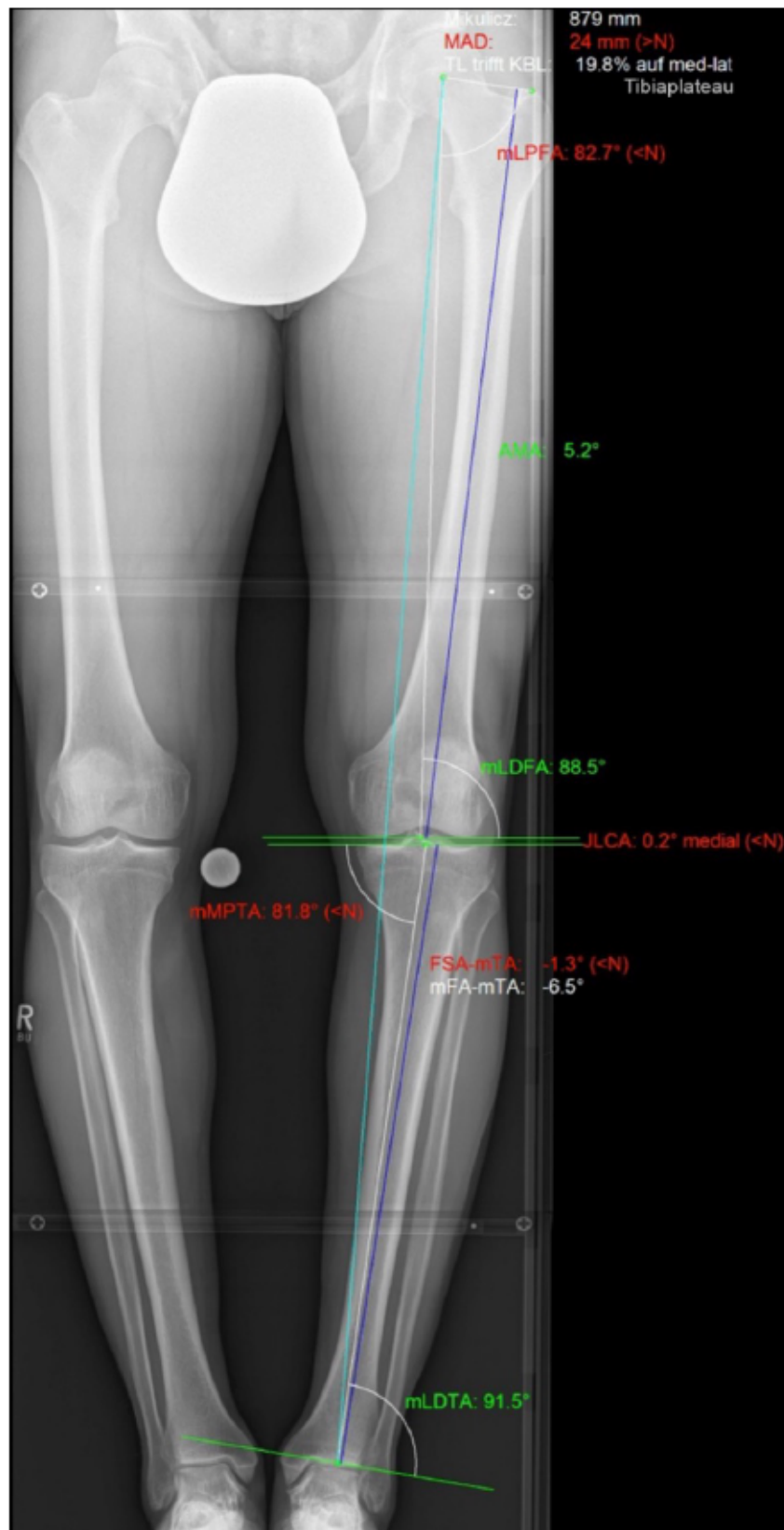


Abbildung 2.1: Beinachsbestimmung und Deformitätenanalyse anhand einer Ganzbeinstandaufnahme. Abkürzungsverzeichnis in Tabelle 2.1.

Tabelle 2.1: Abkürzungsverzeichnis zu Abb. 2.1 der Ganzbeinstandaufnahme.

Abkürzung	Bedeutung
MAD	Mittlere Achsenabweichung
TL trifft KBL	Prozentuale Abweichung zwischen Traglinie und Kniebasislinie
mLPFA	mechanischer lateraler proximaler Femurwinkel
AMA	Winkel zwischen mechanischer und anatomischer Femurachse
mLDFA	mechanischer lateraler distaler Femurwinkel
JLCA	Gelenköffnungswinkel (Joint Line Convergence Angle)
FSA-mTA	Winkel zwischen Femurschaftachse und mechanischer Tibiaachse
mFA-mTA \triangleq mFTA	Winkel zwischen den mechanischen Achsen von Femur und Tibia
mMPTA	mechanischer medialer proximaler Tibiawinkel
mLDTA	mechanischer lateraler distaler Tibiawinkel

Alle Röntgenbilder wurden anhand der Kniearthrose-Klassifikation nach Kellgren und Lawrence vom Autor in die verschiedenen Arthrosegrade eingeteilt (siehe 1.3.1).

2.1.3 Verwendete Indices

Um die Umsetzbarkeit des FPHI zu bewerten, wurden die Messergebnisse mit den bisher gängigsten Indices verglichen. Zur Anwendung kamen der Insall-Salvati Index [33], der Blackburne-Peel Index [35], der Caton-Deschamps Index [37, 38] und bei der Übertragung auf Kniegelenksprothesen zusätzlich der modifizierte Insall-Salvati Index und der Miura-Kawamura Index. Im Folgenden werden die einzelnen Indizes detailliert erläutert.

2.1.3.1 Femoral Patellar Height Index

Der FPHI wird in der Frontalebene auf Ganzbeinstandaufnahmen bestimmt. Beim FPHI teilt man Distanz (A), welche zwischen dem medialen und lateralen Kortex der Epikondylen des Femurs liegt, durch Distanz (B), welche zwischen Patellabasis und der Gelenkfläche der Femurkondylen liegt (Abb. 2.2). Niedrige Werte deuten auf ein Höherentreten der Patella hin, während hohe Werte auf ein Absinken der Patella verweisen.

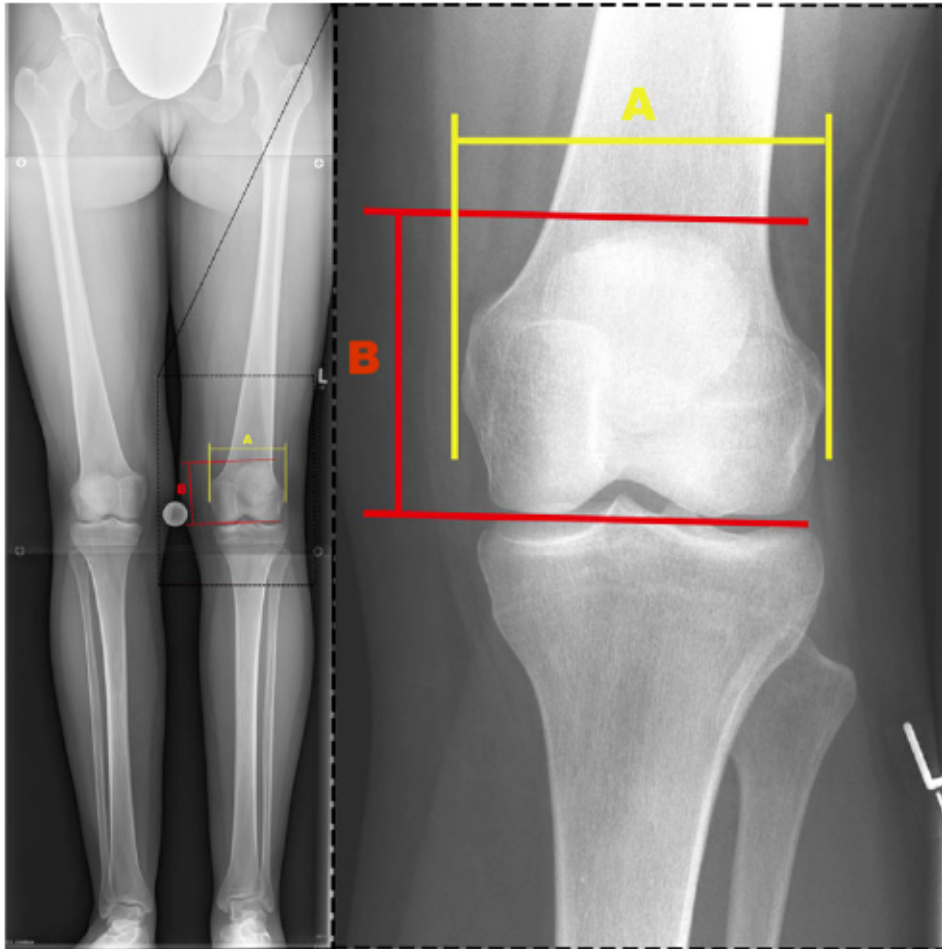


Abbildung 2.2: Links: Ganzbeinstandaufnahme mit Femoral Patellar Height Index (FPHI). Rechts: Vergrößerung des linken Kniegelenkes als Frontalaufnahme mit FPHI: Definiert durch die Distanz (A) zwischen dem medialen und lateralen Kortex der Epikondylen und der Distanz (B) zwischen Patellabasis und der Gelenkfläche der Femurkondylen.

2.1.3.2 Angepasster Femoral Patellar Height Index

Der angepasste FPHI ist definiert durch die Distanz (A) zwischen dem medialen und lateralen Kortex der Epikondylen auf der Ganzbeinstandaufnahme und der Distanz (B') zwischen Patellabasis und der Gelenkfläche der Femurkondylen auf der lateralen Kniegelenksaufnahme (Abb. 2.3).

Da die Distanz (B) in der postoperativen Ganzbeinstandaufnahme nicht gemessen werden kann, wird zur Anpassung des publizierten FPHI [22] an die Knieendoprothetik ein Umrechnungsfaktor X benötigt. Dies liegt an der patellaren Überlagerung mit der tibialen Prothesenkomponente. Dieser Umrechnungsfaktor ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen Distanz (B) aus der präoperativen Ganzbeinstandaufnahme, (siehe Abb. 2.3) und (B') aus der präoperativen lateralen Kniegelenksaufnahme. Daraus ergibt sich folgende Formel für den angepasste FPHI bei einliegender KTP:

$$a.FPHI = \frac{\text{Distanz A (aus GBS)}}{\text{Distanz B' (aus lateraler Kniegelenksaufnahme)} \times \text{Umrechnungsfaktor X}}$$

Die korrekte Bestimmung des Plateaus der Gelenkfläche der Femurkondylen entsteht durch eine Senkrechte zur Gelenkfläche der Patella. Diese Senkrechte wird am untersten Pol des Femurs platziert. Bei sich überschneidenden Femurkondylen wird die halbierte Distanz zwischen diesen als unterster Pol angesehen. Hohe Werte weisen auf ein Höherentreten, niedrige Werte auf ein Absenken der Patella hin.

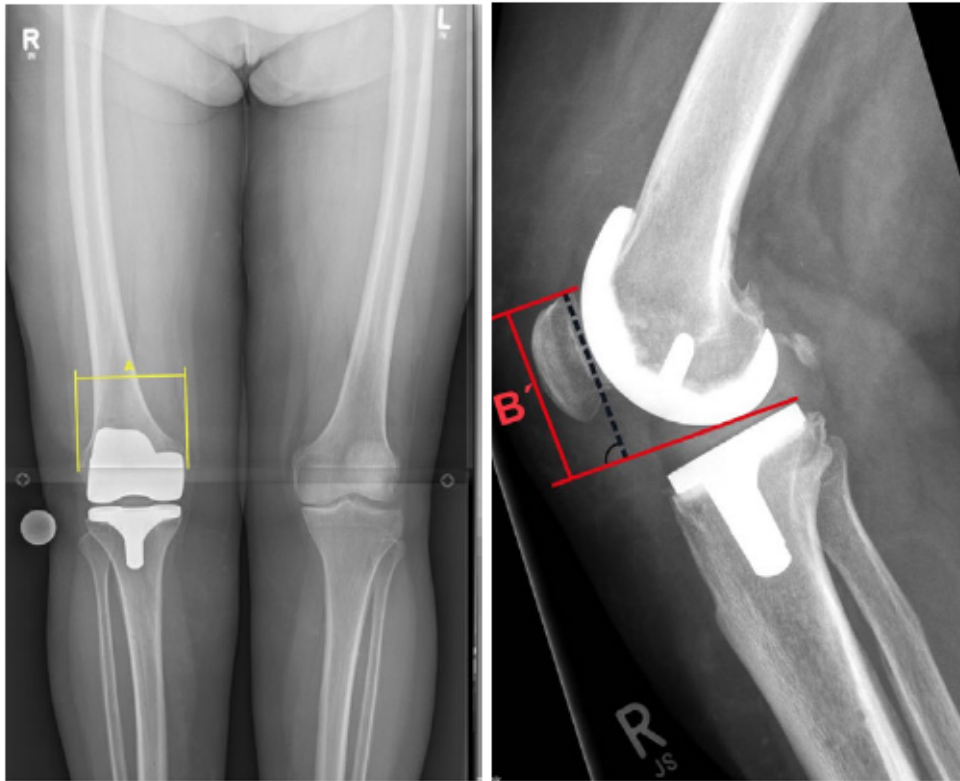


Abbildung 2.3: Angepasster Femoral Patellar Height Index (a.FPHI): Links: Ganzbeinstandaufnahme mit Distanz (A) zwischen lateralem und medialem Kortex der Epykondylen. Rechts: laterale Kniegelenksaufnahme mit Distanz (B') zwischen Patellabasis und der Gelenkfläche der Femurkondylen.

2.1.3.3 Insall-Salvati Index

J. Insall und E. Salvati publizierten 1971 den Insall-Salvati Index (ISI) [33]. Er wird berechnet, indem die gemessene Länge der Patellarsehne (B) durch die größte diagonale Länge der Patella (A) dividiert wird: B/A (Abb. 2.4). Die Referenzpunkte zur Messung der Patellarsehnenlänge umfassen das obere Ende der Ansatzstelle an der Tuberositas tibiae und sofern sichtbar, die hintere Begrenzung des Weichteilschattens des Ligamentum patellae bis hin zum unteren Ende der Patella. Folgende Normwerte wurden dabei festgelegt: Patella norma: ISI: 0,8-1,2; Patella alta: $>1,2$; Patella baja: $<0,8$.

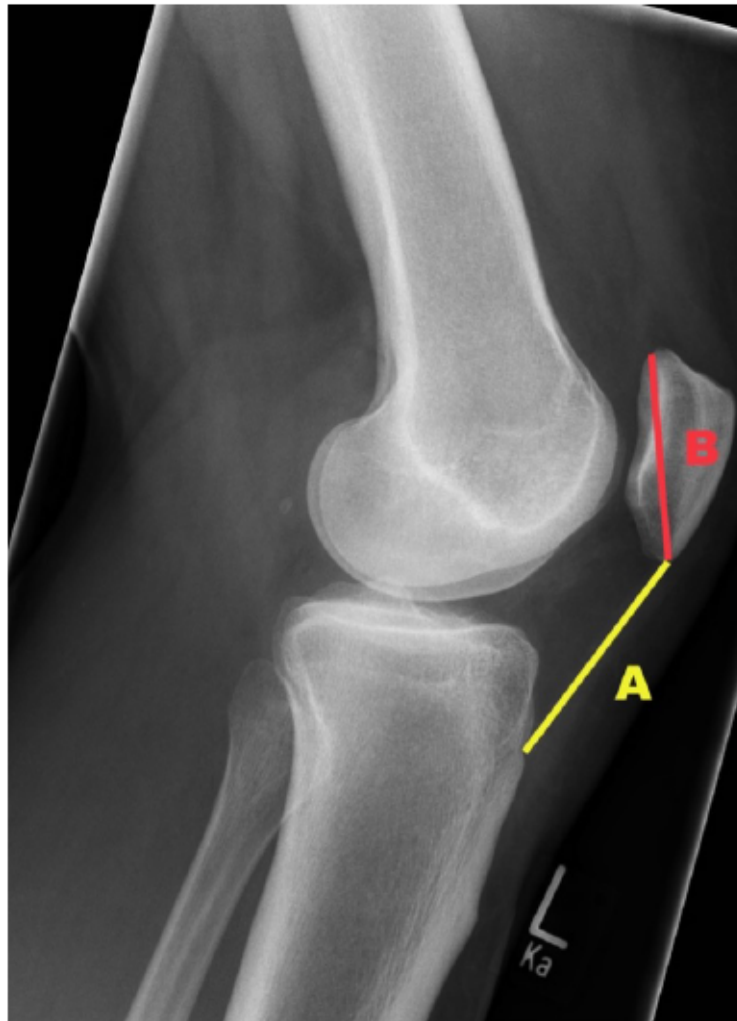


Abbildung 2.4: Insall-Salvati Index (ISI): [33] Quotient aus Patellasehnenlänge (A) und der Patellalänge (B).

2.1.3.4 Blackburne-Peel Index

J. Blackburne und T. Peel veröffentlichten 1977 den Blackburne-Peel Index (BPI) [35]. Er wird ermittelt, indem eine Strecke (B) bestimmt wird, die der Distanz von einer Senkrechten zur Tibiaplateaulinie bis zum unteren Rand der Patella entspricht. Diese Strecke wird anschließend durch die Länge der Patellagelenkfläche (A) dividiert, also B/A (Abb. 2.5).

Folgende Normwerte wurden festgelegt: Patella norma: 0,54 - 1,06; Patella

alta: >1,06. Patella baja: <0,54.

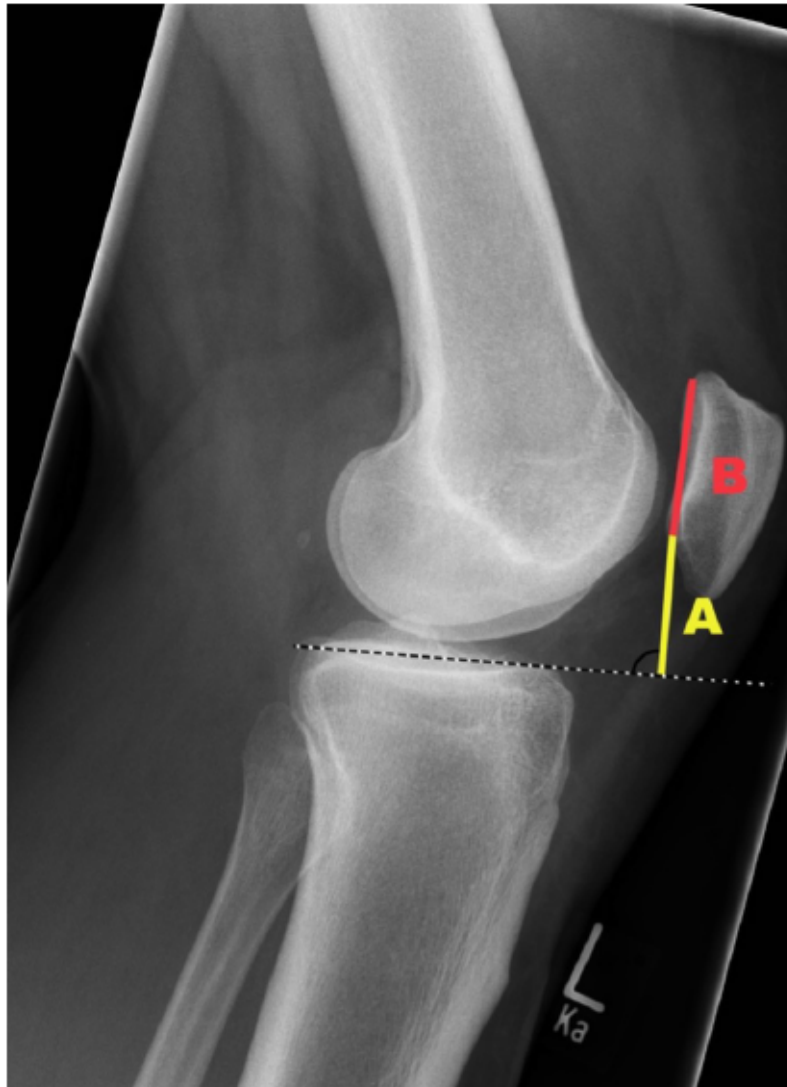


Abbildung 2.5: Blackburne-Peel Index (BPI) [35]: Quotient aus Distanz vom unteren Patellapol zur Höhe des Tibiaplateaus (A) und der Gelenkfläche der Patellarückseite (B).

2.1.3.5 Caton-Deschamps Index

J. Caton und G. Deschamps publizierten 1982 und 1989 den Caton-Deschamps Index (CDI) [37, 46]. Hierbei wird der kürzeste Abstand zwischen dem Vorderrand des Tibiaplateaus und dem unteren Patellapol

(B) geteilt durch die Gelenkflächenlänge der Patella (A): B/A (Abb. 2.6). Folgende Normwerte wurden definiert: Patella baja: $\leq 0,8$, Patella norma: $>0,8$ bis $<1,2$, Patella alta: $\geq 1,2$. Er bezieht sich auf Röntgenbilder mit einer Kniebeugung von 10° - 80° .

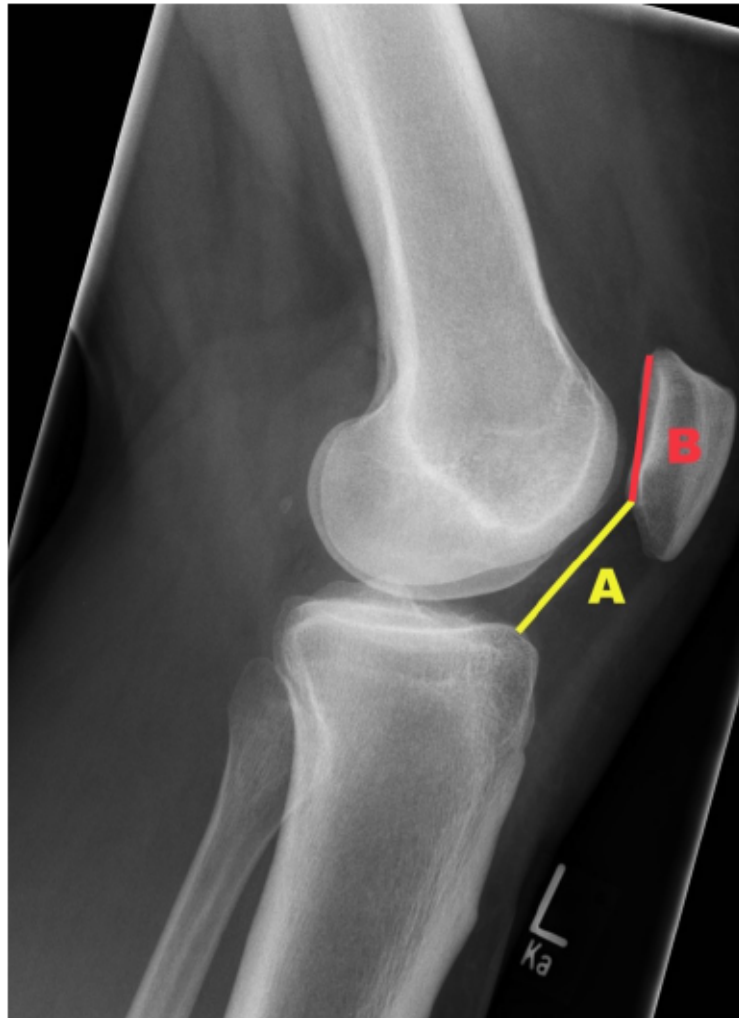


Abbildung 2.6: Caton-Dechamps Index (CDI) [37]: Verhältnis aus Distanz zwischen unterem Patellapol und Tibiplateau (A) und der Patellagelenkfläche (B).

2.1.3.6 Miura-Kawamura Index

H. Miura und H. Kawamura publizierten 1997 den Miura-Kawamura Index (MKI) [40]. Hierbei wird eine mediane Gerade entlang der Achse des Tibiaschaftes gebildet. Ausgehend vom unteren Pol der Femurkondylen wird eine Linie senkrecht zu dieser Geraden konstruiert. Im rechten Winkel zu dieser Linie wird die Strecke (B) gebildet, welche sich von hier bis zum kaudalen Ende der Patellagelenkfläche erstreckt. Des Weiteren wird die Patellagelenkfläche (A) vermessen. Der MKI wird ermittelt durch: B/A (Abb. 2.7.)

Abweichungen des Referenzwertes um mehr als 10% gelten als pathologisch. Der präoperative Normwert liegt bei 1,0. Der Beugungswinkel des Kniegelenks sollte zwischen 15° - 45° liegen.

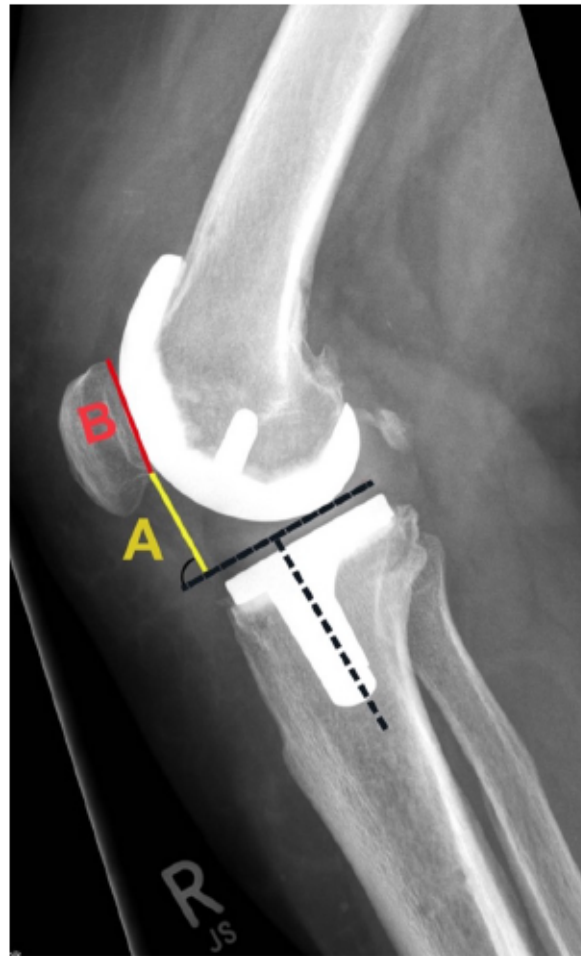


Abbildung 2.7: Miura-Kawamura Index (MKI) [40]: Quotient aus der Distanz zwischen der femoralen Gelenklinie und des unteren Pols der Patellarrückfläche (A) und der Patellarrückfläche (B).

2.1.3.7 Modifizierter Insall-Salvati Index

R. Grelsamer et al. modifizierten 1992 den Insall-Salvati Index [65]. Bestimmt wird der MISI durch die Distanz (A) zwischen dem unteren Pol der Gelenkfläche der Patella und der Patellasehneninsertion, welche durch die Länge (B) der Gelenkfläche geteilt wird (Abb. 2.8). Sie definierten eine Patella alta ab einem Wert ≥ 2 [65]. Weitere Normwerte oder ein Grenzwert zu einer Patella baja wurden dabei nicht festgelegt.



Abbildung 2.8: Modifizierter Insall-Salvati Index (MISI) [65]: Verhältnis der Distanz zwischen unterem Patellapol und Patellasehneninsertion (A) und der Patellarrückfläche (B).

2.1.3.8 Reklination nach Moore und Harvey (Tibial Slope)

K. Moore und J. Harvey publizierten 1974 die Berechnung für die tibiale Reklination [82]. Hierbei wird auf einer seitlichen Röntgenaufnahme des Kniegelenks eine Linie entlang der vorderen Tibiafläche gezogen (A). Zu dieser Linie wird eine Senkrechte gezeichnet (B).

Der Winkel zwischen der Geraden (B) und der tangentialen Geraden entlang

des Tibiaplateaus (C) bilden die Reklination nach Moore-und Harvey (Abb. 2.9).

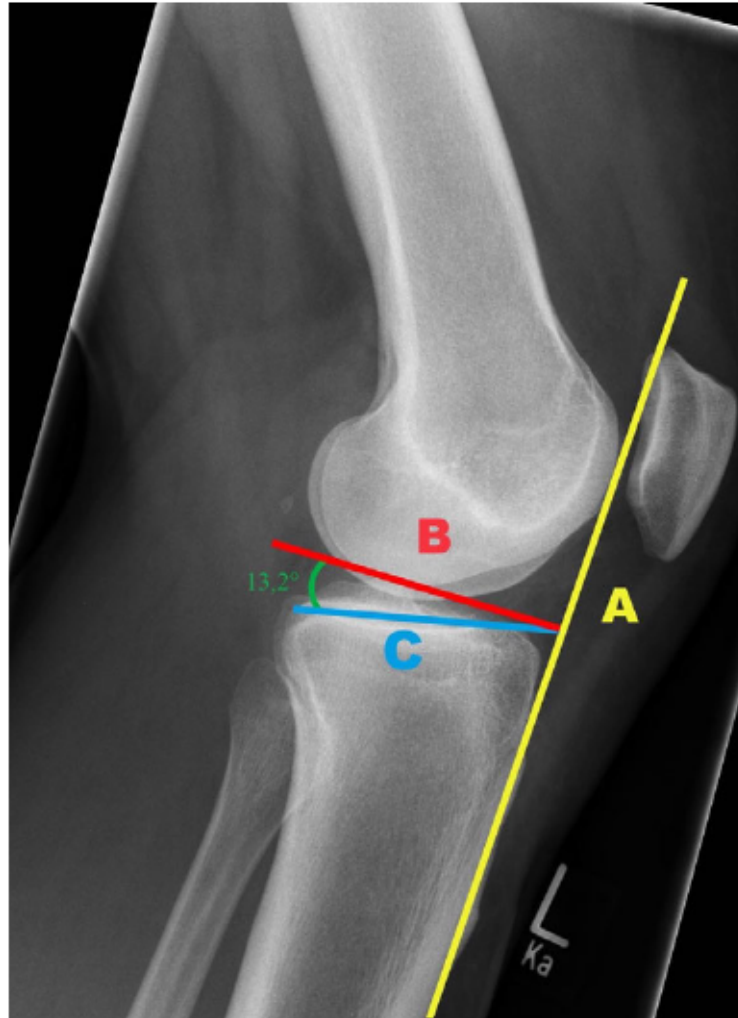


Abbildung 2.9: Reklination nach Moore und Harvey [82]: Winkel zwischen einer Geraden (B) senkrecht zur vorderen Tibiakante (A) und einer Geraden tangential zum Tibiaplateau (C).

2.1.3.9 Reklination nach Brazier

J. Brazier und H. Migaud beschrieben 1996 eine Methode zur Bestimmung der tibialen Reklination (tibial slope) [83]. Hierfür wird eine Tangente der dorsalen Kortikalis des Tibiaschaftes (A) gezogen, die Senkrechte hierzu bildet Gerade (B), der Winkel zwischen dieser Geraden (B) und dem Tibiaplateau

(C) ergeben die Tibiale Reklination nach Brazier (Abb. 2.10).

Die Mittelwerte liegen bei $7,02^\circ \pm 3,01^\circ$ Standardabweichung und werden dabei als Standardwerte angegeben.

Diese Standardwerte beziehen sich jedoch ausschließlich auf Messungen an pathologischen Kniegelenken. Die Methode wurde nicht an gesunden Kniegelenken validiert, was den direkten Vergleich mit Normwerten erschwert und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf gesunde Kniegelenke einschränkt.

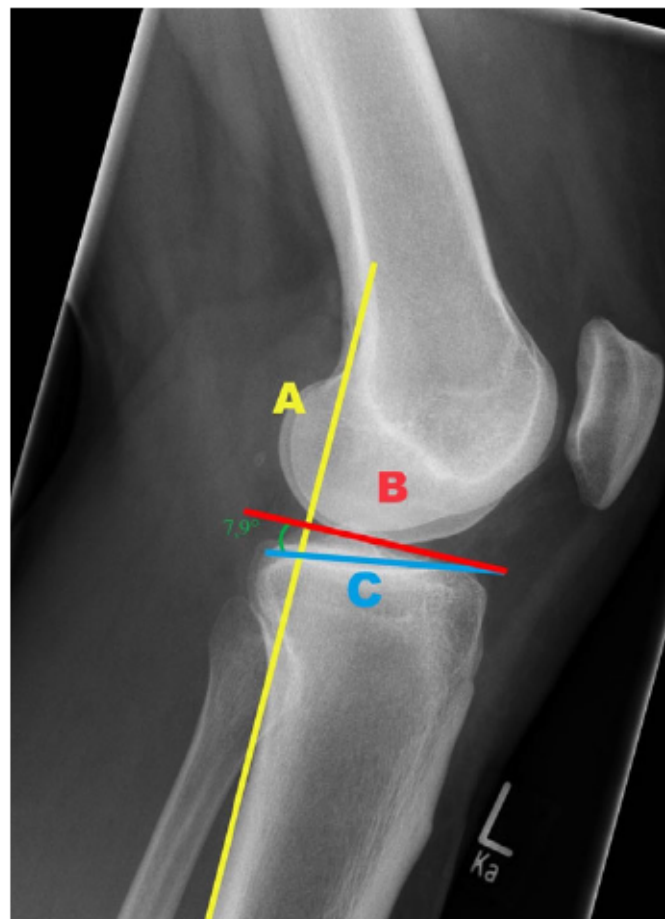


Abbildung 2.10: Reklination nach Brazier [83]: Winkel zwischen der Gerade (C) tangential zum medialen Tibiaplateau und der Gerade (B) senkrecht zur hinteren Tibiakante (A).

2.1.3.10 Reklination nach Amendola

A. Amendola beschrieb 1989 die Berechnung der Reklination der Tibia [84] durch einen Winkel zwischen einer Geraden (C), die sich durch das Tibia-plateau bildet und einer Geraden (B), welche senkrecht zur zentralen Tibia-achse (A) liegt (Abb. 2.11). Die Referenzwerte liegen bei einem Mittelwert von $8,1^\circ \pm 2,7^\circ$ Standardabweichung.

Auch diese Referenzwerte wurden ausschließlich an pathologischen Kniegelenken ermittelt, wodurch sich Einschränkungen für die Übertragbarkeit auf gesunde Kniegelenke ergeben. Da pathologische Kniegelenke aufgrund degenerativer oder struktureller Veränderungen andere biomechanische Eigenschaften aufweisen, ist eine direkte Vergleichbarkeit mit Normwerten gesunder Kniegelenke nicht gegeben. Dies unterstreicht die Notwendigkeit spezifischer Messmethoden und Referenzwerte für erkrankte Kniegelenke.

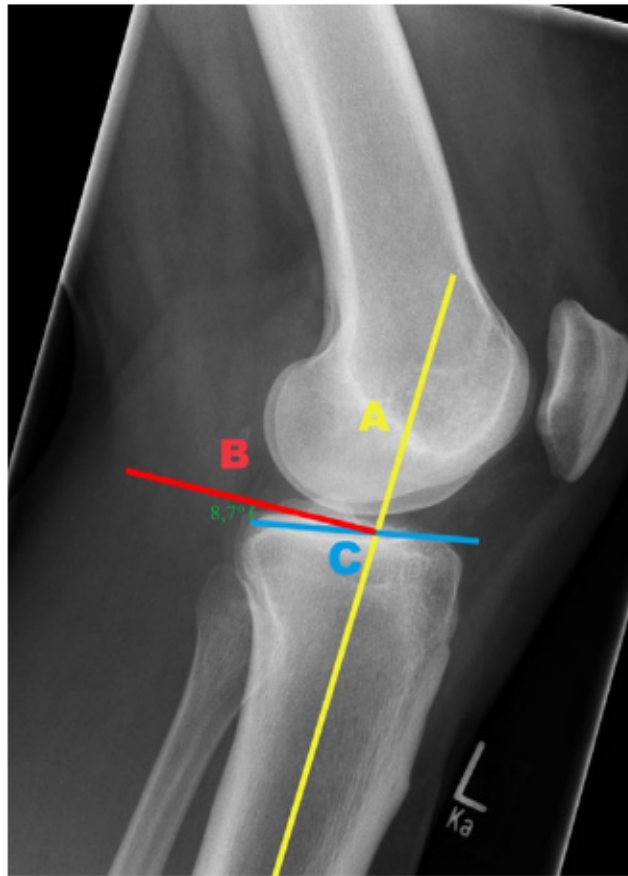


Abbildung 2.11: Reklination nach Amendola [84]: Winkel zwischen der Geraden (C) tangential zum Tibiaplateau und der Geraden (B) senkrecht zur zentralen Tibiaachse (A).

2.1.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit IBM SPSS Statistics (Version 27), der Statistiksoftware R (GNU, General Public License, Bell Laboratories) sowie Microsoft Excel 2016 (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA). Die statistischen Grafiken wurden ausschließlich mit R erstellt.

Zunächst wurden die Daten aus den Excel-Dateien eingelesen und vorab bereinigt. Anschließend wurden für beide Kniegelenke, links und rechts, der Femoral Patellar Height Index (FPHI) berechnet und zwischen gesunder

und pathologischer Seite unterschieden. Darüber hinaus erfolgte die Berechnung weiterer Indices wie des Insall-Salvati Index (ISI), des Blackburne-Peel Index (BPI) und des Caton-Deschamps Index (CDI) für den Vergleich der Methoden.

Für die deskriptive Statistik wurden für die relevanten Variablen Mittelwerte, Mediane, Standardabweichungen sowie 95%-Konfidenzintervalle berechnet. Zur Visualisierung wurden Boxplots in Kombination mit Jitterplots erstellt, um die Verteilung der Messwerte anschaulich darzustellen. Diese werden im Kapitel des Ergebnis-Teils dargestellt.

Für den Vergleich der FPHI-Werte zwischen verschiedenen Diagnosekategorien wurde eine Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt, gefolgt von einem post-hoc Tukey-Test, um festzustellen, welche Diagnosegruppen sich signifikant unterscheiden.

Um Zusammenhänge zwischen kontinuierlichen Variablen zu untersuchen, wurden Pearson-Korrelationen herangezogen, beispielsweise zur Analyse der Beziehung zwischen FPHI und dem tibialen Winkel oder zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Alter und FPHI. Ergänzend wurden lineare Regressionsmodelle erstellt, um den Einfluss von Kovariablen wie Alter und Geschlecht auf den FPHI für beide Seiten zu quantifizieren. Innerhalb von Subgruppen wurden zudem t-Tests zur Überprüfung von Geschlechtsunterschieden durchgeführt.

Zur methodischen Vergleichsanalyse zwischen dem FPHI und anderen etablierten Messmethoden wurde ursprünglich auch ein Bland-Altman-Plot [85] erstellt, der den Bias, die Limits of Agreement sowie die dazugehörigen Konfidenzintervalle visualisiert, ein Verfahren, das die Übereinstimmung zweier Messmethoden detailliert darstellt. Da die Ergebnisse dieser Analyse im Wesentlichen in Einklang mit denen des gepaarten T-Tests standen, der den

durchschnittlichen Unterschied zwischen den Messwerten prüft, wird in dieser Dissertation zur Übersichtlichkeit und Klarheit primär der gepaarte T-Test beschrieben.

Für die Patientengruppe mit Knieendoprothesen (KTP) wurden zusätzlich prä- und postoperative FPHI-Werte analysiert. Hierzu wurden die FPHI-Werte sowohl für die prothetische als auch für die gesunde Seite mittels gepaarter T-Tests auf signifikante Unterschiede verglichen. Ergänzend erfolgten grafische Darstellungen mittels Boxplots, um die Verteilung der prä- und postoperativen Werte visuell zu erfassen. Zwar wurde auch eine Bland-Altman-Analyse durchgeführt, die die Übereinstimmung der Messmethoden detailliert überprüft hat, jedoch ergaben sich die Ergebnisse dieser Analyse im Wesentlichen in Übereinstimmung mit denen des gepaarten T-Tests. Daher wird auch hier zur Übersichtlichkeit und Klarheit primär der gepaarte T-Test als Hauptmethode zur Quantifizierung der durchschnittlichen Unterschiede zwischen den Messwerten beschrieben. Der p-Wert wurde in dieser Studie mit $p = 0,05$, also 5 % festgelegt.

2.1.4.1 Normwertbestimmung

Normwerte legen einen Bereich fest, welcher anhand der Stichprobe repräsentativ für die Gesamtbevölkerung zu werten ist. Die Werte bedienen sich dem Mittelwert und legen eine Ober- und Untergrenze fest, um einen Bereich zu definieren, in welchem die Werte statistisch der Durchschnittsbevölkerung entsprechen. Dieser Bereich wird häufig durch die Standardabweichung bestimmt, zugleich wird das 95% KI oder 98% KI auch als Limit der Norm erwähnt und wäre somit auch eine Option der Normwertbestimmung [33, 35].

3. Ergebnisse

3.1 Patientenkollektiv

Tabelle 3.1: Patientenkollektiv aufgeteilt nach Geschlecht (m=männlich, w=weiblich) in die einzelnen Subgruppen, deren Fallzahlen (N), dem Femoral Patellar Height Index (FPHI, unitless) und dessen Mittelwerte \pm Standard-deviation (MW \pm SD) sowie die Spannweite (Min–Max) für die pathologische (P.) und gesunde (G.) Seite und dem mittleren Alter und dessen Spannweite. Ges.=Gesamt. Alle Werte sind auf zwei Dezimalstellen gerundet.

Geschl.	Altersgr. (Jahre)	N	FPHI P. (unitless)		FPHI G. (unitless)	
			MW \pm SD	Min–Max	MW \pm SD	Min–Max
m:	18-30	25	1,62 \pm 0,24	1,21–2,32	1,60 \pm 0,23	1,21–2,01
	31-40	27	1,53 \pm 0,22	1,20–2,02	1,58 \pm 0,23	1,26–2,04
	41-50	25	1,54 \pm 0,17	1,17–1,85	1,58 \pm 0,19	1,29–1,98
	51-60	25	1,57 \pm 0,25	1,26–2,50	1,55 \pm 0,22	1,02–2,06
	61-70	25	1,57 \pm 0,15	1,34–1,89	1,56 \pm 0,16	1,32–1,94
	71-80	25	1,55 \pm 0,16	1,26–2,02	1,54 \pm 0,16	1,29–1,91
Ges.m:		152	1,56 \pm 0,20	1,17–1,85	1,57 \pm 0,20	1,02–2,06
w:	18-30	25	1,41 \pm 0,24	0,83–1,94	1,43 \pm 0,25	1,01–1,99
	31-40	25	1,46 \pm 0,20	1,12–1,88	1,49 \pm 0,22	1,12–2,08
	41-50	23	1,62 \pm 0,13	1,39–1,90	1,60 \pm 0,18	1,32–2,02
	51-60	24	1,51 \pm 0,18	1,21–1,86	1,45 \pm 0,16	1,20–1,72
	61-70	26	1,56 \pm 0,24	1,24–2,10	1,54 \pm 0,20	1,16–1,84
	71-80	25	1,56 \pm 0,20	1,16–1,96	1,51 \pm 0,21	1,08–1,99
Ges.w:		148	1,52 \pm 0,21	0,83–2,10	1,50 \pm 0,21	1,01–2,08
Gesamt m+w:	Ø 49,7 (18-80)	300	1,54 \pm 0,21	0,83–2,50	1,54 \pm 0,21	1,01–2,08

3.2 Teil 1: Analyse des FPHI

Im ersten Teil der Studie wurde der FPHI anhand von 300 Patienten mit je einem gesunden und einem pathologischen Kniegelenk gemessen. Dabei wurde eine 50/50 Geschlechterverteilung und eine Altersverteilung in 12 Gruppen angestrebt.

Die Verteilung der Diagnosen in der Stichprobe zum Zeitpunkt der Vorstellung zeigt Tabelle 3.2. Dabei wurden alle Diagnosen, die weniger als 20 Patienten enthielten, unter 'Sonstige' zusammengefasst. Unter den 153 Patienten mit einer Chondropathie befanden sich 128 mit einer Gonarthrose. Anhand der Unterteilung der Kellgren-Lawrence Klassifikation [39] befanden sich davon 53,2 % in Grad 1, 39,8 % in Grad 2 und 7 % in Grad 3.

Tabelle 3.2: Diagnosen des Patientenkollektivs nach Fallzahl (N) und prozentualer Verteilung.

	Chondropathie	Kreuzbandruptur	Meniskusruptur	Sonstige
N	153	57	49	41
Prozent %	51	19,0	16,3	13,7

3.2.1 Normwerte des FPHI

Die deskriptive Darstellung des FPHI ist in Tabelle 3.1 aufgeführt. Anhand der statistischen Auswertung des FPHI der gesunden und pathologischen Seite ergab sich ein Gesamtmittelwert von 1,54 bei einer Standardabweichung von 0,21 und einem 95%-Konfidenzintervall von 1,51;1,56. Anhand des 95% Konfidenzintervalls wurden die Normwerte bestimmt und definieren somit eine Patella alta ab Werten <1,51 und eine Patella baja ab Werten >1,56 auf. Anders als bei den gängigen zuvor erwähnten Indices definiert ein niedrigerer Wert eine Patella alta und ein höherer eine Patella baja.

Die Mittelwerte der gesunden und pathologischen Seite waren nicht signifikant verschieden (pathologisch: MW 1,54, SD: $\pm 0,21$; gesund: MW 1,54, SD: $\pm 0,21$; Mittelwertvergleich mit t-Test für verbundene Stichproben, $p = 0,567$).

Die FPHI-Verteilung für die gesunde und pathologische Seite ist in Abbildung 3.1 dargestellt.

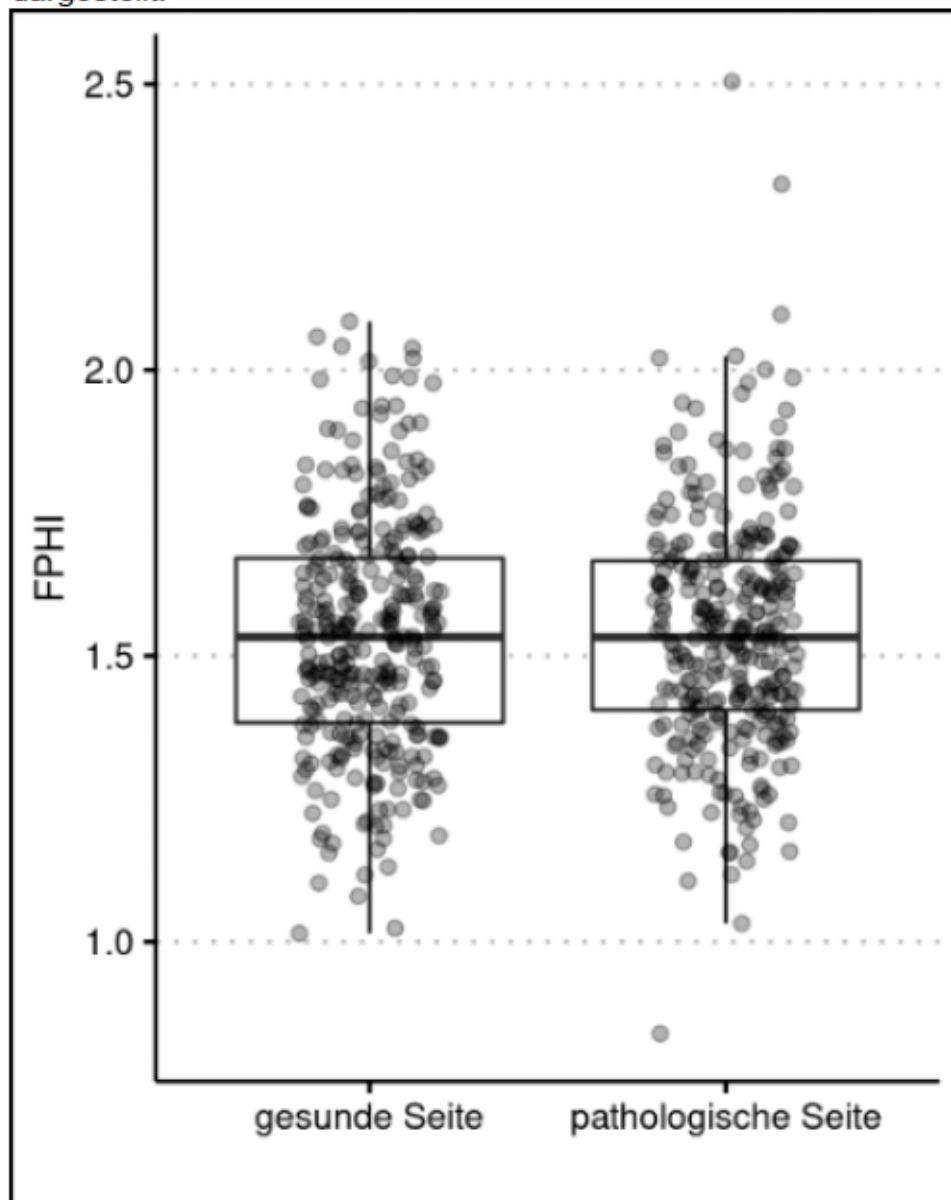


Abbildung 3.1: Boxplot der Femoral Patellar Height Index (FPHI)-Mittelwertverteilung für die gesunde und pathologische Seite.

3.2.2 Alters- und Geschlechtsunterschiede

Abbildung 3.2 zeigt den Vergleich der FPHI-Werte nach Alter und Geschlecht der Patienten, dieser ergab für die pathologische Seite einen signifikanten Geschlechtseffekt (niedriger bei Frauen, Vergleich mittels multiplem Regressionsmodell: $b = 0,20$, $p = 0,007$; Mittelwert Frauen: 1,52, SD: $\pm 0,21$; Mittelwert Männer: 1,56, SD: $\pm 0,20$) sowie einen signifikanten Interaktionseffekt zwischen Alter und Geschlecht ($b = 0,003$, $p = 0,027$), während sich für die gesunde Seite ein ähnlicher Geschlechts- ($b = -0,18$, $p = 0,017$), aber kein Alters- oder Interaktionseffekt zeigte (alle $p > 0,1$; Mittelwert Frauen: 1,50, SD $\pm 0,21$; Mittelwert Männer: 1,57, SD: $\pm 0,20$).

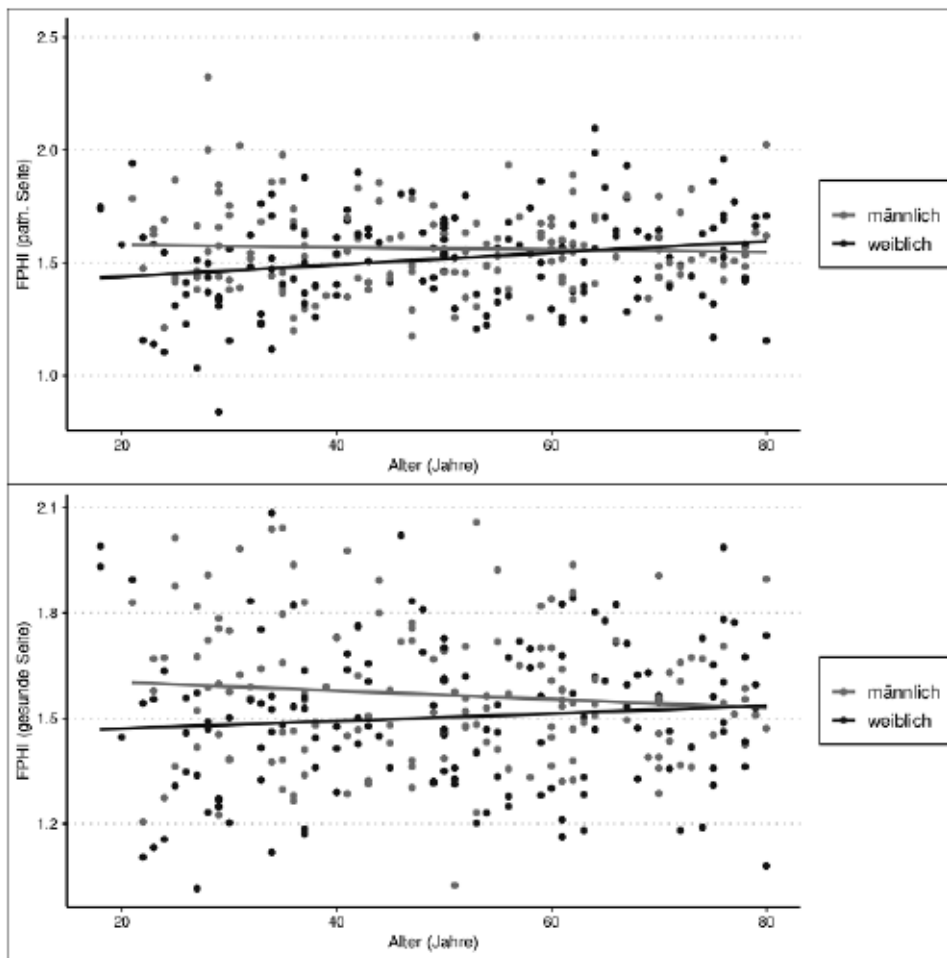


Abbildung 3.2: Zeigt zwei multiple Regressionsmodelle, jeweils für die pathologische und die gesunde Seite. Auf der Y-Achse werden die Werte des Femoral Patellar Height Index (FPHI) von Männern und Frauen in Abhängigkeit vom individuellen Alter (X-Achse) angegeben. Altersabhängige Regressionsgeraden beschreiben den linearen Zusammenhang zwischen dem FPHI, dem Alter und dem Geschlecht.

3.2.3 Beinachse und FPHI

Für den korrelativen Vergleich zwischen FPHI und Beinachse (gemessen als Winkel zwischen mechanischer Femur- und Tibia-Achse) zeigte sich eine signifikant negative Korrelation für die pathologische Seite (Pearson-Korrelation: $r = -0,128$, $p = 0,026$), aber nicht für die gesunde Seite ($r = -0,069$, $p = 0,239$).

3.2.4 Vergleich des ISI, BPI und CDI mit dem FPHI

Tabelle 3.3 und 3.4 zeigen die statistischen Kennwerte der untersuchten Messparameter für Patellahöhe und Tibial Slope.

Tabelle 3.3: Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite der Indices Blackburne-Peel, Insall-Salvati und Caton-Deschamps.

Patellahöhe	MW \pm SD	Spannweite
BPI	0,8 \pm 0,1	0,4–1,3
ISI	1,3 \pm 0,3	0,7–2,1
CDI	0,9 \pm 0,1	0,5–1,4
FPHI	1,54 \pm 0,21	0,83–2,5

Tabelle 3.4: Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite der tibialen Reklination nach Moore-Harvey (MH), Brazier (BRZ) und Amendola (AM).

Tibial Slope	MW \pm SD	Spannweite
MH	14,1 \pm 4	4,1–27
BRZ	6 \pm 3,6	0–19
AM	8,6 \pm 3,7	0,2–22,2

Im Rahmen der Analyse zum Vergleich zwischen dem FPHI und den etablierten Indices wurden gepaarte T-Tests durchgeführt, um zu überprüfen, ob die durchschnittlichen Differenzen zwischen den Messmethoden signifi-

kant von null abweichen.

Für den Vergleich des FPHI mit dem Insall-Salvati Index (ISI) zeigte die Analyse einen durchschnittlichen Unterschied von 0,204 Einheiten. Der T-Test ergab einen hochsignifikanten p-Wert ($p < 2 \times 10^{-16}$), der weit unter dem Signifikanzniveau von 0,05 liegt. Dies belegt, dass der durchschnittliche Unterschied hoch signifikant von Null abweicht und der FPHI im Mittel um etwa 0,204 Einheiten höher ist als der ISI.

Beim Vergleich des FPHI mit dem Blackburne-Peel Index (BPI) ergab der gepaarte T-Test einen noch größeren durchschnittlichen Unterschied von 0,719 Einheiten. Der p-Wert ($p < 2 \times 10^{-16}$), der weit unter dem Signifikanzniveau von 0,05 liegt, ist statistisch hoch signifikant, was darauf hindeutet, dass der FPHI im Vergleich zum BPI systematisch höhere Werte liefert.

Für den Caton-Deschamps Index (CDI) wurde ein durchschnittlicher Unterschied von 0,596 Einheiten festgestellt. Hier ergab der T-Test einen p-Wert ($p < 2 \times 10^{-16}$), der weit unter dem Signifikanzniveau von 0,05 liegt. Auch dieser Unterschied ist somit als statistisch hoch signifikant zu werten.

Um eine vereinfachte Darstellung der Korrelationen zu erstellen, wurden die Indices auf ihre prozentuale Verteilung auf Patella alta, baja und norma dargestellt und mit dem FPHI verglichen. Zudem wurden die Indices untereinander verglichen. Dabei ergaben sich geringe Überschneidungen der unterschiedlichen Indices. Auf die Überschneidungen der Indices ISI, CDI und BPI untereinander wird auf Grund fehlender Relevanz für diese Arbeit nicht detailliert eingegangen, die Überschneidungen wurden jedoch überprüft. Die Überschneidungen zwischen dem FPHI und dem ISI sind in Abb. 3.3 / Tab. 3.5, zwischen dem FPHI und BPI in Abb. 3.4 / Tab. 3.6 und dem FPHI und CDI in Abb. 3.5 / Tab. 3.7 dargestellt.

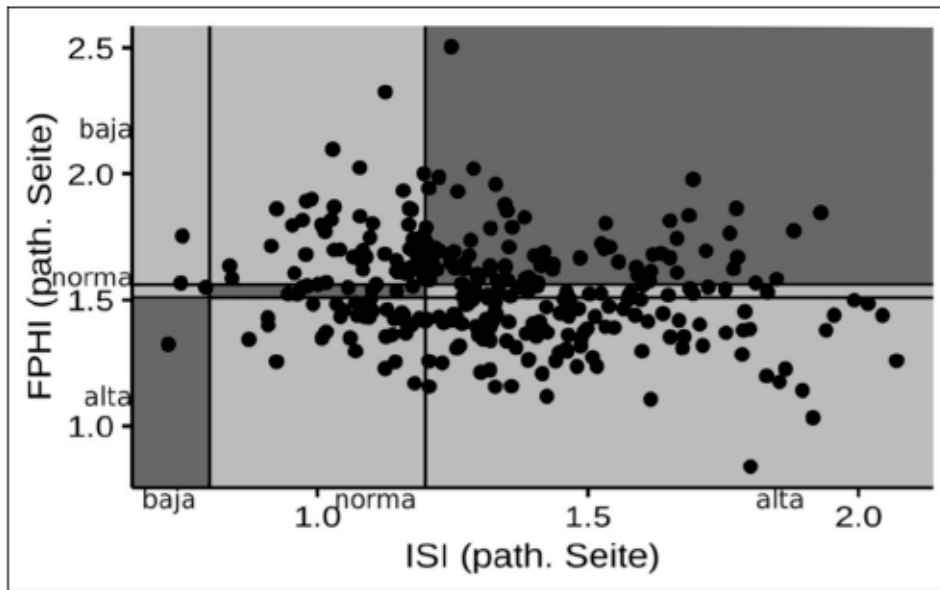


Abbildung 3.3: Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja und norma zwischen Femoral Patellar Height Index (FPHI) und Insall-Salvati Index (ISI) auf der pathologischen Seite.

Tabelle 3.5: Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja/norma zwischen dem Femoral Patellar Height Index FPHI (horizontal) und dem Insall-Salvati Index (ISI) (vertikal) auf der pathologischen Seite.

FPHI - ISI	Baja	Norma	Alta
Baja	0,67 %	0 %	43,81 %
Norma	0,33 %	0 %	10,03 %
Alta	0,33 %	3,68 %	41,14 %

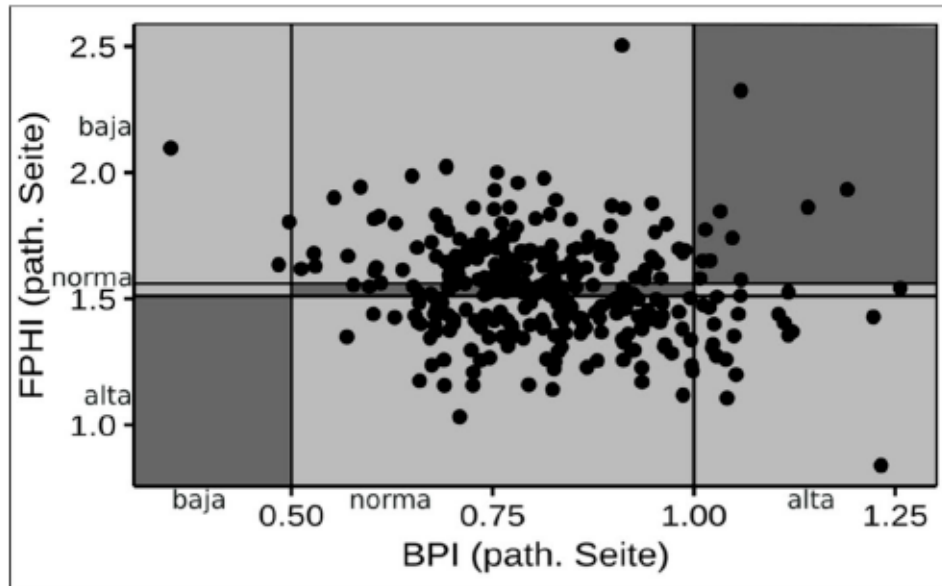


Abbildung 3.4: Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja und norma zwischen Femoral Patellar Height Index (FPHI) und Blackburne-Peel Index (BPI) auf der pathologischen Seite.

Tabelle 3.6: Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja/norma zwischen dem Femoral Patellar Height Index (FPHI) (horizontal) und dem Blackburne-Peel Index (BPI) (vertikal) auf der pathologischen Seite.

FPHI - BPI	Baja	Norma	Alta
Baja	1,00 %	40,14 %	3,34 %
Norma	0 %	9,36 %	1,00 %
Alta	6,02 %	9,36 %	6,02 %

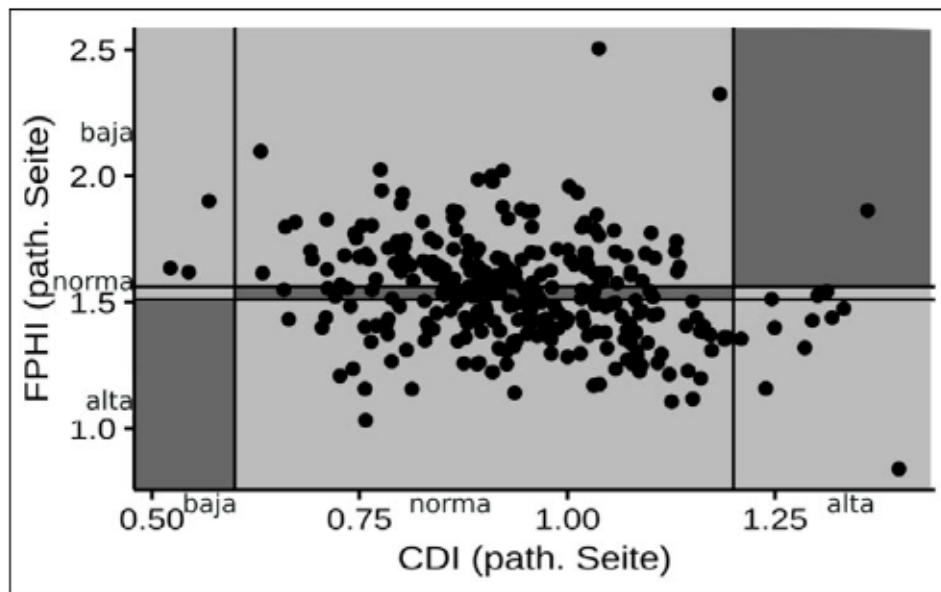


Abbildung 3.5: Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja und norma zwischen Femoral Patellar Height Index (FPHI) und Caton-Dechamps Index (CDI) auf der pathologischen Seite.

Tabelle 3.7: Prozentuale Überschneidungen der Diagnosen Patella alta/baja/norma zwischen dem Femoral Patellar Height Index (FPHI) (horizontal) und dem Caton-Dechamps Index (CDI) (vertikal) auf der pathologischen Seite.

FPHI - CDI	Baja	Norma	Alta
Baja	1,00 %	43,14 %	0,33 %
Norma	0 %	9,36 %	1,00 %
Alta	0 %	42,47 %	2,68 %

3.2.5 Tibial Slope

Die Tibiale Reklination nach Moore und Harvey [82] ergab folgende Werte: MW: 14,1°, SD: ± 4° und einer Spannweite von 4,1° - 27° und liegt somit im Referenzbereich (MW: 14° SD: ± 3,6°).

Die Messung nach Brazier [83] ergab folgende Ergebnisse: MW: 6°, SD: ± 3,6° und eine Spannweite von 0° - 10° und liegt somit auch im Referenzbe-

reich (MW: 7,02°, SD \pm 3,01°).

Nach Amendola [17] wurden folgende Ergebnisse gemessen: MW: 8,6°, SD: \pm 3,7° und einer Spannweite von 0,2° - 22,2° und liegt somit im Referenzbereich (MW:8,1°, SD: \pm 2,7°).

3.3 Teil 2: Analyse des FPHI bei Knie totalprothesen

3.3.1 FPHI prä- und postoperativ

Der Gesamtmittelwert (präoperativ) betrug 1,54 (Standardabweichung \pm 0,21; 95%-Konfidenzintervall: [1,49; 1,58]). Die präoperativen Mittelwerte zeigten, dass die Prothesen-Seite signifikant höhere FPHI-Werte aufwies als die gesunde Seite. Im Einzelnen betrug die präoperativen Mittelwerte:

- **Prothesen-Seite:** 1,57 (Standardabweichung \pm 0,22)
- **Gesunde Seite:** 1,51 (Standardabweichung \pm 0,20)

Der Unterschied zwischen den beiden Seiten war statistisch signifikant ($p < 0,001$). Diese Werte entsprechen den Referenzwerten aus dem ersten Studienteil (MW: 1,54, SD: \pm 0,21).

Von prä- zu postoperativ kam es zu einer signifikanten Abnahme des FPHI für die Prothesen-Seite ($p = 0,022$), der FPHI-Wert für die gesunde Seite ergab keine signifikante Veränderung ($p = 0,153$).

Postoperativ betrug der Mittelwert des angepassten FPHI an der Prothesen-Seite 1,47 (Standardabweichung \pm 0,26; 95%-Konfidenzintervall: [1,41;

1,52]). Für die gesunde Seite ergab sich postoperativ ein Mittelwert von 1,53 (Standardabweichung $\pm 0,18$; 95%-Konfidenzintervall: [1,49; 1,56]).

3.3.2 ISI, BPI, CDI, MISI und MKI prä- und postoperativ

Ein postoperativer Anstieg der Patellahöhe konnte auch bei den anderen Indices festgestellt werden, lediglich der MKI ergab eine geringe, nicht signifikante Steigerung der Patellahöhe. Die einzelnen Werte der Indices sind in Tabelle 3.8 - 3.12 abgebildet und in den Abbildungen 3.6 - 3.10 im Einzelnen veranschaulicht.

3.3.2.1 ISI

Die ISI-Werte stiegen von präoperativ zu postoperativ signifikant an ($p < 0,001$) (Abb. 3.6).

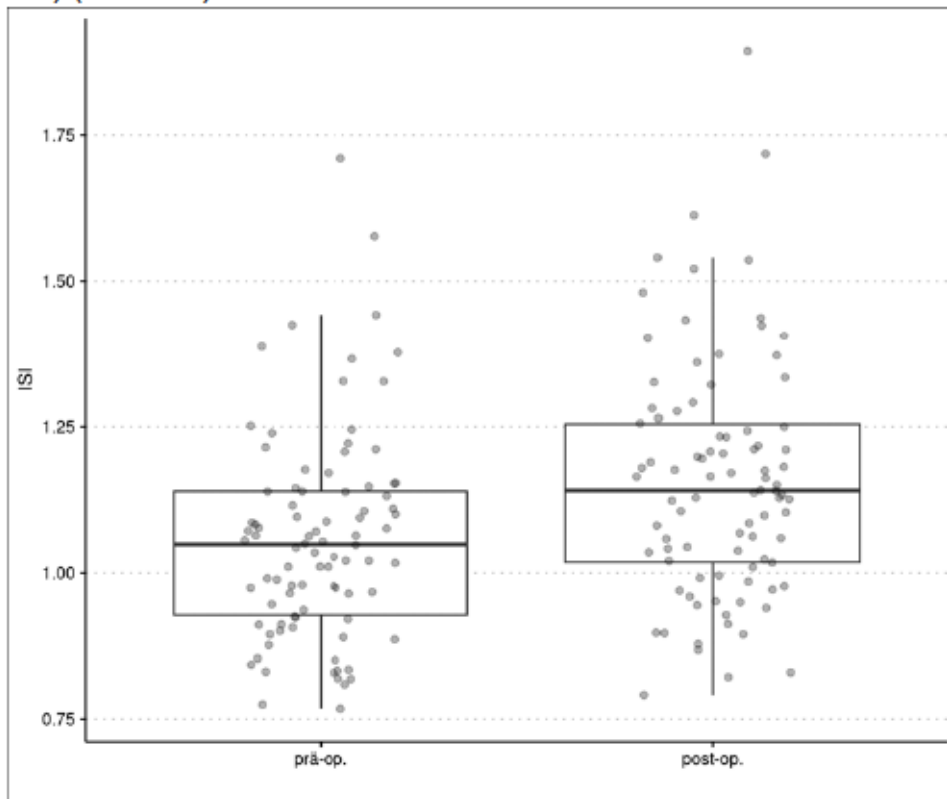


Abbildung 3.6: Boxplot des Insall-Salvati Index (ISI) im prä- und postoperativen Vergleich.

Tabelle 3.8: Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite des Insall-Salvati Index im prä- zu postoperativem Vergleich.

	MW \pm SD	Spannweite
Prä-op.	1,06 \pm 0,18	0,77–1,71
Post-op.	1,16 \pm 0,21	0,74–1,89

3.3.2.2 BPI

Ebenso stiegen die BPI-Werte von präoperativ zu postoperativ signifikant an ($p < 0,001$). (Abb. 3.7)

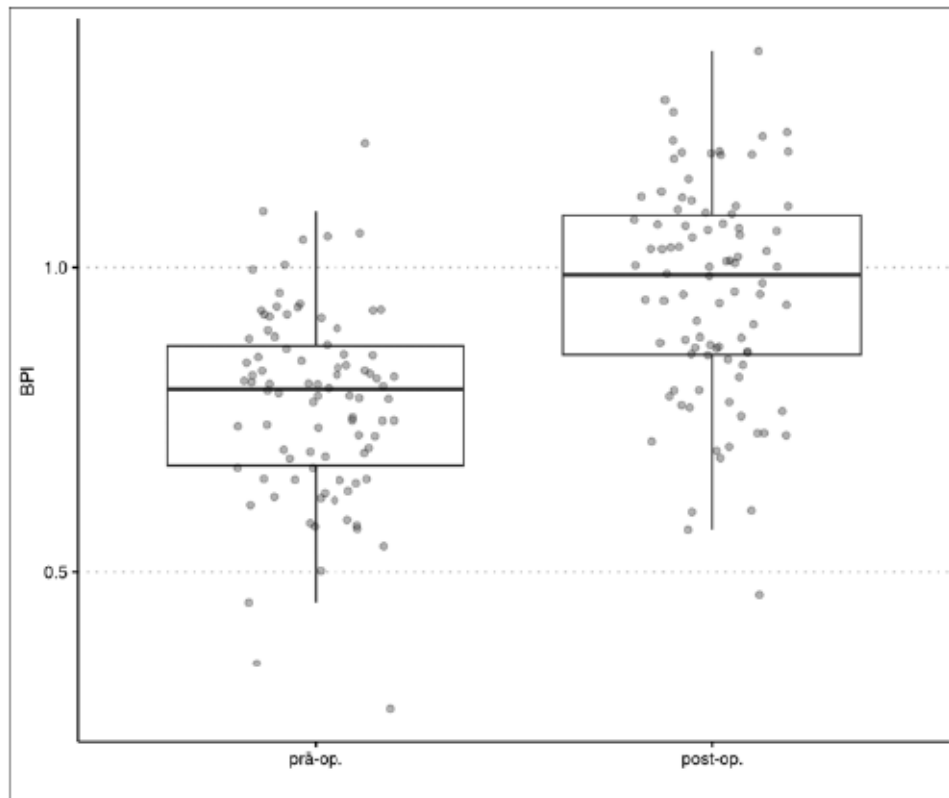


Abbildung 3.7: Boxplot des Blackburne-Peel Index (BPI) im prä- und postoperativen Vergleich.

Tabelle 3.9: Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite des Blackburne-Peel Index im prä- zu postoperativem Vergleich.

	MW \pm SD	Spannweite
Prä-op.	0,78 \pm 0,16	0,27–1,2
Post-op.	0,96 \pm 0,17	0,46–1,36

3.3.2.3 CDI

Auch die CDI-Werte stiegen von präoperativ zu postoperativ signifikant an ($p < 0,001$). (Abb. 3.8)

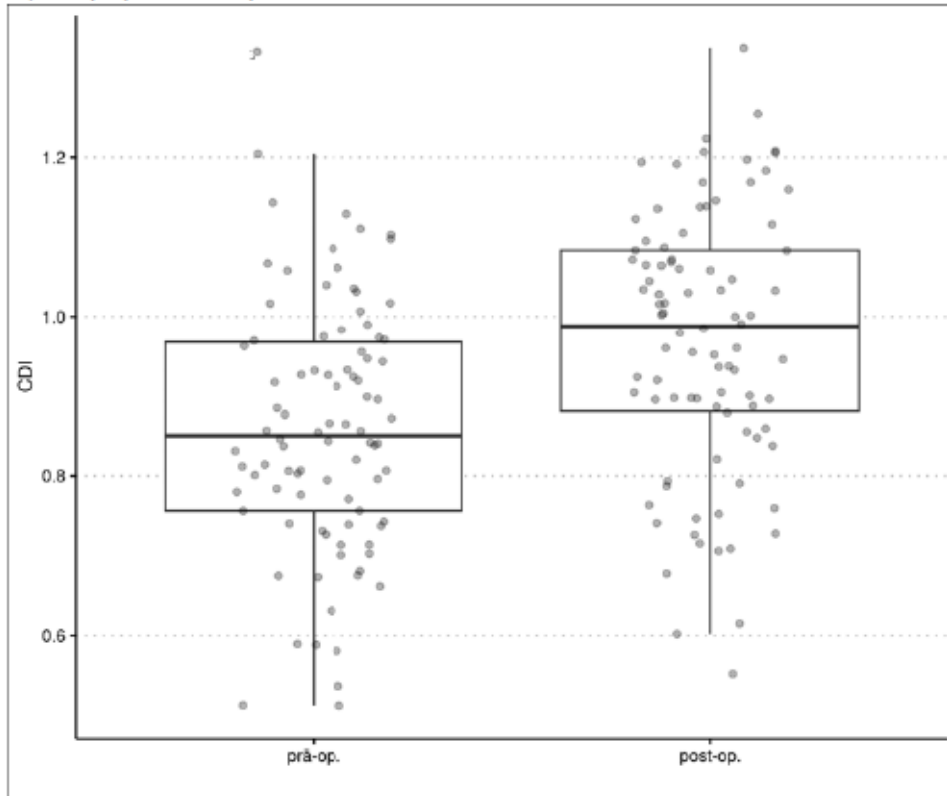


Abbildung 3.8: Boxplot des Caton-Dechamps Index (CDI) im prä- und postoperativen Vergleich.

Tabelle 3.10: Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite des Caton-Dechamps Index im prä- zu postoperativem Vergleich.

	MW \pm SD	Spannweite
Prä-op.	0,86 \pm 0,16	0,46–1,33
Post-op.	0,97 \pm 0,16	0,55–1,34

3.3.2.4 MISI

Auch die MISI-Werte stiegen von präoperativ zu postoperativ signifikant ($p = 0,002$). (Abb. 3.9)

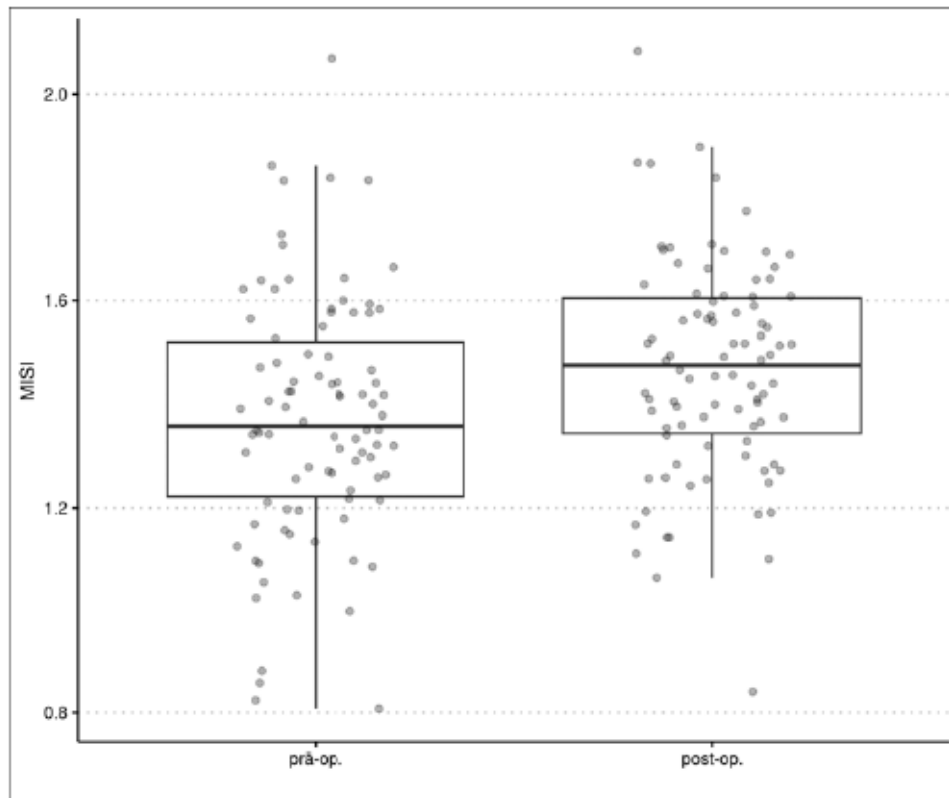


Abbildung 3.9: Boxplot des Modifizierter Insall-Salvati Index (MISI) im prä- und postoperativen Vergleich.

Tabelle 3.11: Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite des modifizierten Insall-Salvati Index im prä- zu postoperativem Vergleich.

	MW \pm SD	Spannweite
Prä-op.	1,39 \pm 0,25	0,81–2,18
Post-op.	1,47 \pm 0,2	0,84–2,08

3.3.2.5 MKI

Ein geringes, statistisch nicht signifikantes Absinken der Werte von präoperativ zu postoperativ ergab sich hingegen für den MKI ($p = 0,249$) (Abb. 3.10).

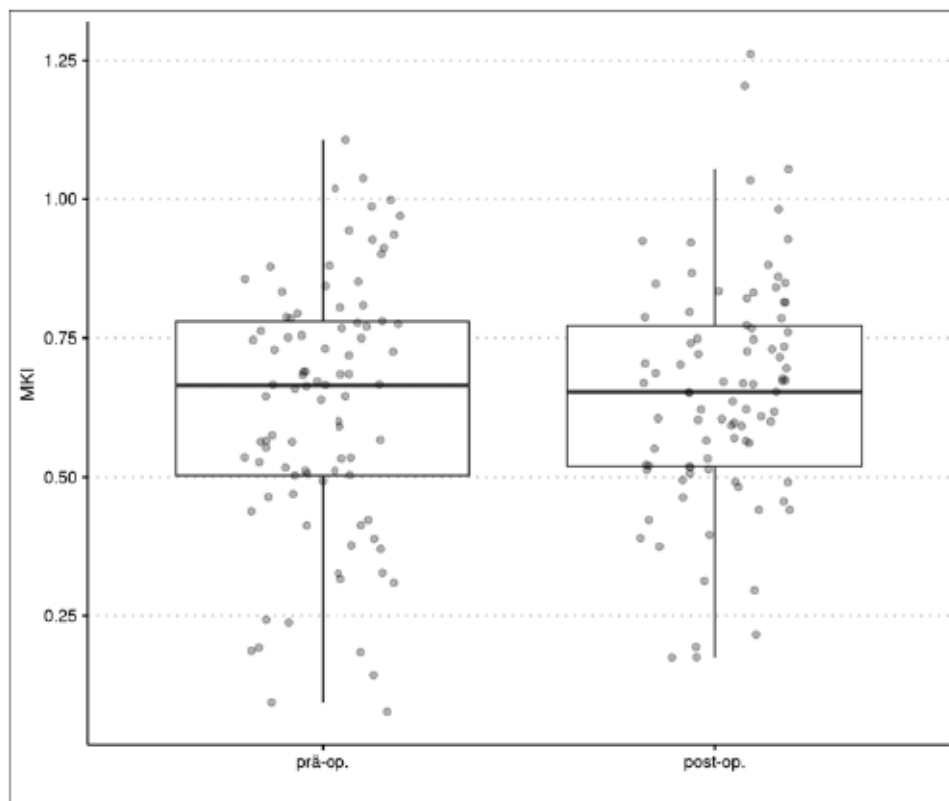


Abbildung 3.10: Boxplot des Miura-Kawamura Index (MKI) im prä- und postoperativen Vergleich.

Tabelle 3.12: Mittelwert, Standardabweichung und Spannweite des Miura-Kawamura Index im prä- zu postoperativem Vergleich.

	MW \pm SD	Spannweite
Prä-op.	0,63 \pm 0,23	0,07–1,11
Post-op.	0,65 \pm 0,2	0,17–1,26

3.3.3 Alters- und Geschlechtsunterschiede des FPHI prä- und postoperativ

Auf der Prothesen-Seite zeigte der FPHI keinerlei signifikante Effekte von Alter und Geschlecht ($p > 0,6$).

Im Gegensatz dazu weisen die Analysen für die gesunde Seite signifikante Effekte auf. Zusätzlich wurde ein signifikanter Interaktionseffekt zwischen Alter und Geschlecht festgestellt ($p = 0,0187$). Dies bedeutet, dass sich der FPHI auf der gesunden Seite in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht signifikant verändert, wobei tendenziell höhere FPHI-Werte bei weiblichen Patienten beobachtet werden.

3.3.4 Einfluss des Flexionswinkels auf den FPHI

Der Zusammenhang zwischen dem Flexionswinkel und dem FPHI der Prothesen-Seite wurde sowohl für den präoperativen als auch den postoperativen Zustand untersucht und ist in Abb. 3.11 dargestellt.

- Präoperativ ergab sich ein leicht negativer Zusammenhang zwischen dem Flexionswinkel und dem FPHI der Prothesen-Seite mit einem Pearson-Korrelationskoeffizienten von $r = -0,194$ ($p = 0,0669$).
- Postoperativ zeigte sich ein leicht positiver Zusammenhang mit einem Pearson-Korrelationskoeffizienten von $r = 0,128$ ($p = 0,2281$).

Beide Zusammenhänge waren statistisch nicht signifikant.

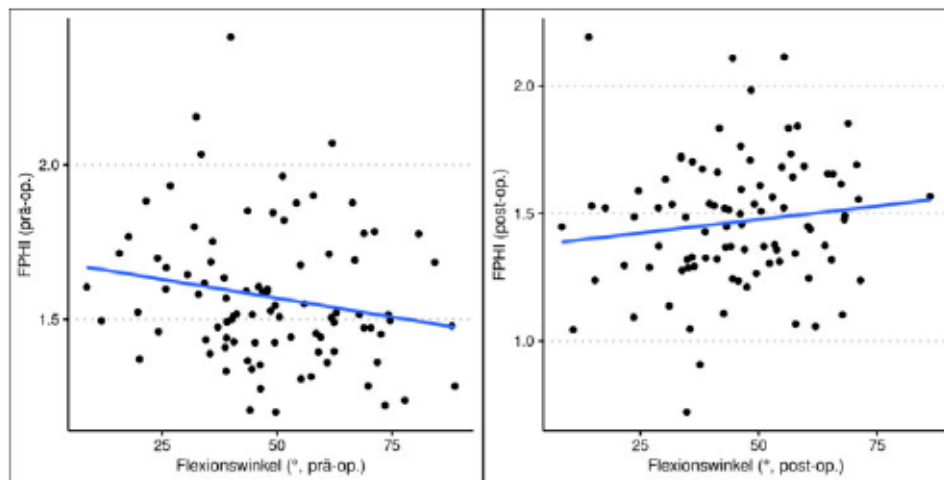


Abbildung 3.11: Zusammenhang zwischen dem prä- und postoperativen Flexionswinkel und dem Femoral Patellar Height Index (FPHI)-Wert der Prothesen-Seite.

3.3.5 Vergleich zwischen FPHI und angepasstem FPHI

Zwischen dem FPHI und dem angepassten FPHI der Prothesen-Seite präoperativ wurde der Unterschied durch einen gepaarten T-Test untersucht. Der gepaarte T-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Messmethoden ($p = 0,0368$) mit einem mittleren Unterschied von 0,097 (95%-Konfidenzintervall: [0,0061; 0,1884]).

Die Retest-Reliabilität wurde durch die Korrelation der prä- und postoperativen FPHI-Werte an der gesunden Seite quantifiziert, da hier keine relevante Veränderung zu erwarten war. Der FPHI korrelierte dabei mit $r = 0,753$ ($p < 0,001$), während der angepasste FPHI nahezu perfekt reliabel war ($r = 0,984$, $p < 0,001$).

Der Gesamtmittelwert des FPHI präoperativ betrug 1,55 (Standardabweichung $\pm 0,21$; 95%-Konfidenzintervall: [1,51; 1,60]). Die präoperativen Mittelwerte der Prothesen-Seite waren signifikant höher als die der gesunden Seite (Prothesen-Seite: 1,59, gesunde Seite: 1,52; $p < 0,001$). Von prä- zu

postoperativ sank der FPHI der Prothesen-Seite signifikant ($p = 0,022$), auf der gesunden Seite wurde keine signifikante Veränderung festgestellt ($p = 0,153$). Postoperativ betrug der Mittelwert des angepassten FPHI der Prothesen-Seite 1,47 (Standardabweichung $\pm 0,26$; 95%-Konfidenzintervall: [1,41; 1,52]), während an der gesunden Seite der FPHI postoperativ einen Mittelwert von 1,53 (Standardabweichung $\pm 0,18$; 95%-Konfidenzintervall: [1,50; 1,56]) aufwies.

Tabelle 3.13: Mittelwerte (MW) und Standardabweichung (SD) des Femoral Patellar Height Index (FPHI) und des angepassten FPHI prä- und postoperativ, jeweils für das Kniegelenk der gesunden und pathologischen Seite.

	FPHI		Angepasster FPHI	
	gesunde Seite MW \pm SD	pathologische Seite MW \pm SD	gesunde Seite MW \pm SD	pathologische Seite MW \pm SD
präoperativ	1,50 \pm 0,20	1,57 \pm 0,22	1,48 \pm 0,26	1,46 \pm 0,26
postoperativ	1,53 \pm 0,18	1,47 \pm 0,26	1,47 \pm 0,26	1,47 \pm 0,26

4. Diskussion

4.1 Diskussion des FPHI

Die Patellahöhe spielt eine entscheidende Rolle für die biomechanische Funktion des Kniegelenks, da sie die Führung der Kniescheibe und die patellofemorale Gelenkreaktion beeinflusst. Abweichungen der Patellahöhe, wie Patella alta oder baja, können zu Beschwerden wie patellofemorale Schmerzen, Instabilität des Kniegelenks und Bewegungseinschränkungen führen [86]. Ziel dieser Arbeit war es, den Femoral Patellar Height Index (FPHI) als neuen Messparameter zur Bestimmung der Patellahöhe zu überprüfen und die Normwerte, Alters- und Geschlechtsunterschiede bei 300 Patienten zu untersuchen, die in sechs Altersgruppen unterteilt wurden.

Die Bestimmung der Patellahöhe ist ein komplexes und viel diskutiertes Thema in der Orthopädie, insbesondere im Kontext von Beinachsenkorrekturen und Kniegelenksprothesen [71, 87]. Obwohl der Femoral Patellar Height Index (FPHI) als eine potenziell zuverlässige Methode betrachtet wird, gibt es mehrere kritische Aspekte, die seine allgemeine Anwendbarkeit infrage stellen.

Es konnte ein Normbereich ermittelt und anhand des 95% Konfidenzintervalls festgelegt werden. Der Normbereich stimmt annähernd mit der Studie von Ihle et al. [22] überein. Diese Studie wies eine relativ hohe Fallzahl von

135 Patienten auf, von denen 93 allen Kriterien entsprachen und auch nach 18 Monaten follow-up noch an der Studie teilnahmen. Dabei wurden Normwerte zwischen 1,5 - 1,6 für den FPHI festgelegt (Normbereich aus dieser Arbeit mittels 95% KI: 1,51 – 1,56). Die Studie von Ihle et al. befasste sich jedoch lediglich mit Patienten, welche mittels einer HTO operativ versorgt wurden, somit beziehen sich diese Werte auf pathologische Kniegelenke und limitieren die Genauigkeit eines direkten Vergleiches. Die Normwerte des ISI wurden von Insall et al. ebenfalls anhand des Konfidenzintervalls herangezogen, in diesem Fall jedoch des 98% KI. Die Patellasehne sollte nicht mehr als 20% von der Länge der Patella abweichen, diese $\pm 20\%$ wurden somit als Limit der Norm definiert und geben eine weitere Option der Normwertbestimmung [33]. Die zentrale Rolle des 95%-Konfidenzintervalls bei der Bestimmung von Normwerten wurde bereits in einer Studie von Plebani et al. [88] beschrieben, da es eine präzise Definition des Normalbereichs ermöglicht und gleichzeitig biologische Variationen berücksichtigt. Sie unterstreichen die Notwendigkeit, Referenzwerte regelmäßig zu überprüfen und zu harmonisieren, um die Vergleichbarkeit von Testergebnissen zu gewährleisten, insbesondere in einem globalen medizinischen Kontext. Diese Herangehensweise an die Normwertbestimmung bildet eine solide Grundlage für zukünftige Forschung, die auf die Verbesserung diagnostischer Genauigkeit und patientenspezifischer Behandlungen abzielt [88]. Somit bedarf es stetiger Aktualisierung und Anpassung der bisherigen Normwerte, welche gerade bei älteren Indices, wie dem ISI, erneuter Forschung und Auffrischung erfordern, um den aktuellen Stand widerzuspiegeln und Vergleichbarkeiten mit neueren Indices zu gewährleisten.

Ein signifikanter Geschlechtseffekt wurde bei der pathologischen Seite festgestellt, wobei Frauen in bestimmten Altersgruppen vermehrt eine Patella alta aufwiesen. Diese Beobachtungen stimmen mit früheren Studien über-

ein, die eine höhere Inzidenz von Patella alta bei Frauen im Vergleich zu Männern nachwies [89], möglicherweise aufgrund geschlechtsspezifischer Unterschiede in der Femur- und Patellamorphologie [90, 91, 92].

Frauen in den Gruppen W1 und W2 wiesen vermehrt eine Patella alta auf. Dasselbe Ergebnis zeigte der ISI, jedoch nicht der BPI und auch nicht der CDI, was auf die Unterschiede der einzelnen Messmethoden und ihrer Interpretation hinweist und aufzeigt, dass diese Methoden keinen direkten Vergleich zulassen und zudem beim selben Patienten, je nach Index, sich selbst in der Diagnose Patella alta, baja oder norma unterscheiden. Einen Geschlechtsunterschied ergab bereits eine Studie von Ahlbäck et al. [93], welche sich mit dem Thema Patella alta und Gonarthrose befasste. Hierbei zeigte sich auch bei nichtarthrotischen Kniegelenken ein doppelt so häufiges Auftreten von Patella alta bei Frauen als bei Männern. In dieser Studie wurden vermehrt Männer im Alter unter 50 Jahren und vermehrt Frauen im Alter über 50 Jahren untersucht, daher lassen sich leider kaum Zusammenhänge über das vermehrte Auftreten einer Patella alta bei den jüngeren weiblichen Probanden dieser Arbeit ziehen. Studien bezüglich diverser Geschlechtsunterschiede zeigten, dass Frauen im Durchschnitt einen kleineren Femur und eine kleinere Patella aufweisen [94], spezifischer wiesen Frauen bei gleicher anterioposteriorer Abmessung des distalen Oberschenkelknochens eine schmalere mediolaterale Breite auf, was im Zusammenhang mit einer kleineren Patella und einer größeren Patellasehnenlänge durchaus eine Erklärung für das vermehrte Auftreten einer Patella alta bei Frauen und einer Patella baja bei Männern sein könnte. Yiannakopoulos et al. [44] zeigte durch diverse Methoden den Einfluss des M. quadrizeps femoris auf die Patellahöhe. Die verminderte Funktion des Streckapparats, insbesondere eine Abschwächung der Quadrizepssehnenanspannung legt ein Tiefertreten der Patella im Alter nahe. Daraus abgeleitet könnte somit das vermehrte

Auftreten einer Patella alta bei jüngeren Frauen erklärt werden.

Der korrelative Vergleich zwischen FPHI und Beinachse (gemessen als Winkel zwischen mechanischer Femur- und Tibia-Achse) zeigte eine signifikante negative Korrelation für die pathologische Seite, nicht aber für die gesunde Seite. Die Korrelation war zwar signifikant, jedoch nur schwach ausgeprägt ($r = -0,128$, $p = 0,026$) so dass eine Tendenz ersichtlich ist, den Einfluss der Beinachse auf den FPHI zu vernachlässigen. Die negative Korrelation auf der erkrankten Seite resultiert vermutlich durch die mediale Lage der Patella bei einem Genu varum, welche zu einem Nähertreten der Patella in Richtung Kniegelenk führt. Diese Lageveränderung wurde bereits in einer Studie von Hongliang et al. [95] bei Osteoarthrose-Patienten beschrieben. Im Umkehrschluss entfernt sich theoretisch bei einem Genu valgus die Patella vom Kniegelenk, dazu sind jedoch keine Studien vorhanden.

Im Vergleich zu den herkömmlichen Indizes wie dem Insall-Salvati Index (ISI), dem Blackburne-Peel Index (BPI), dem Caton-Deschamps Index (CDI), dem modifizierten Insall-Salvati Index (MISI) und dem Miura-Kawamura Index (MKI) zeigte der FPHI in Bezug auf die Messung der Patellahöhe ähnliche Herausforderungen auf. So hängt der FPHI von der genauen Bestimmung von Messpunkten ab, die sich über die femoralen und patellaren Strukturen erstrecken, auch hier können geringe Messabweichungen zu signifikant unterschiedlichen Klassifikationen führen. Darüber hinaus zeigt der FPHI, obwohl er versucht, einige Limitationen der tibia-referenzierten Methoden zu umgehen, in dieser Studie vergleichbare Probleme in Bezug auf Messreproduzierbarkeit und Sensitivität gegenüber kleinen Abweichungen.

Der ISI, eine der ältesten und häufigsten Methoden [65], wird häufig von morphologischen Veränderungen der Tibia beeinflusst, was zu Ungenauigkeiten führt. Er weist in diesem ersten Teil der Arbeit durchweg eine Patella

alta auf. Dies bestätigt die Abhängigkeit der Messung anhand des Beobachters und deren Fehleranfälligkeit. Ähnliches wurde in einer Publikation von Seil et al. [41] beschrieben, welche 68% abweichende Ergebnisse zwischen den Beobachtern aufwies. Der ISI wies im Vergleich zu den anderen Indices in dieser Studie die geringste Anzahl an Patienten mit einer Patella norma auf. Der CDI diagnostizierte keine Patienten mit einer Patella alta. Der BPI hingegen wurde als zuverlässigste Methode mit der besten Darstellung einer Patella alta, baja und norma verifiziert. Ihr Resultat beschreibt, ebenso wie diese Arbeit, dass kein Vergleich zwischen den Referenzwerten der Indices möglich ist und die Diagnose je nach gewähltem Index variiert. Die unterschiedlichen Verfahren zur Normwertgenerierung bei den verschiedenen Indices tragen zu den Abweichungen in den Referenzbereichen bei. Diese Diskrepanz in der Normwertgenerierung führt zu systematischen Unterschieden in der Klassifikation der Patellahöhe.

Die prozentuale Verteilung der Diagnosen anhand der verschiedenen Indices zeigt in dieser Studie ebenso, dass je nach verwendetem Index eine unterschiedliche Diagnose entstehen kann. So gab es beispielsweise 0% Überlappung zwischen dem ISI und dem FPHI der Diagnose Patella norma und lediglich 1% zwischen FPHI und BPI/CDI in Bezug auf Patella baja. Die Diagnose mit der größten Überschneidung (41,1%) ergab sich bei einer Patella alta zwischen dem FPHI und dem ISI. Rogers et al. [32] beschreiben ähnliche Probleme und bewerteten den ISI und MISI, vor allem präoperativ als unzuverlässig, mit einer starken Abweichung zwischen den Beobachtern und führen dies auf die Schwierigkeit der korrekten Bestimmung der Patellasehneninsertion zurück. Sie legen eine sehr geringe Variabilität zwischen den Beobachtern beim Bestimmen des postoperativen BPI und CDI dar und sehen den BPI ebenso als zuverlässigste Variante. Eine weitere Studie mit ähnlichen Ergebnissen stammt von Berg et al. [36], welche bei drei

verblindeten Beobachtern den BPI als zuverlässigste Variante beschreibt. Selbst bei unterschiedlichen Flexionswinkeln (30° und 50°) kam es zu keinen nennenswerten Messabweichungen. Hingegen ergab eine Doppelblindstudie von Lee et al. [34] eine exzellente Interobserver-Reproduzierbarkeit. Diese untersuchte bei 42 Patienten 45 Kniegelenke bei einem mittleren Alter von 39 ± 20 Jahren den ISI und den BPI auf Unterschiede zwischen Röntgen-, MRT und CT-Aufnahmen. Der BPI wird erneut als beste Methode dargestellt, welche keine Interobserver-Problematik aufweist.

Der FPHI zeigt bei geringeren Werten eine Erhöhung und bei höheren Werten ein Absinken der Patellahöhe. Um eine bessere Übersicht zu gewährleisten, wäre es sinnvoll Zähler und Nenner zu tauschen. Dies wurde in dieser Studie nicht vorgenommen, um den direkten Vergleich mit der Publikation von Ihle et al. [22] besser darstellen zu können.

Grelsamer et al. [65] modifizierten den Insall-Salvati Index, um die Variabilität der Patellamorphologie besser zu berücksichtigen, da sie argumentierten, dass die Patellaposition stärker von der Gelenkfläche als vom unteren Patellapol beeinflusst wird. Dies ist wichtig, da eine größere Gelenkfläche die Patella höher erscheinen lassen kann, unabhängig von der Sehnenlänge. Besonders bei Patienten mit einer größeren Patella oder einer veränderten Gelenkfläche, wie sie häufig bei bestimmten orthopädischen Erkrankungen oder postoperativen Zuständen auftritt, könnte der untere Patellapol weniger aussagekräftig sein.

Andere Studien haben ebenfalls gezeigt, dass die Patellamorphologie einen bedeutenden Einfluss auf die Patellahöhe hat. Aparicio et al. [96] fanden heraus, dass die Variabilität der Patellagröße und -form bei Kindern unterschiedliche Ergebnisse in der Patellahöhenmessung zur Folge hatte, abhängig von der verwendeten Methode. Seil et al. [41] zeigten zudem, dass Methoden wie der Insall-Salvati und Blackburne-Peel Index je nach Patellamorphologie zu

unterschiedlichen Klassifikationen führten.

Eine Studie von Apostolopoulos et al. stellte die Theorie auf, dass wiederholte Hyperflexion des Kniegelenks über häufige mechanische Belastung die flexibleren Quadrizepsmuskelfasern stärker beeinflussen als die Patellasehnenfasern. So führt die wiederholte Hyperflexion bei alltäglichen Aufgaben im knien, wie z.B. auch dem Beten muslimisch gläubiger Menschen, zu einer Dehnung der Quadrizepsfasern und damit zu einer Patella baja [97]. Ethnische Herkunft sowie berufliche Tätigkeiten, welche mit häufigem knien einhergehen, können somit die Messergebnisse beeinflussen.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der FPHI noch keine vielversprechende Alternative zu den klassischen Indizes zur Bestimmung der Patellahöhe darstellt. Der FPHI zeigt zwar potenzielle Vorteile, wie eine höhere Robustheit gegenüber tibialen Veränderungen durch die Nutzung femurbasierter Referenzpunkte, was seine klinische Anwendbarkeit nach Operationen oder bei pathologischen Zuständen steigert. Dennoch stellt er bisher keine überzeugende Alternative zu den klassischen Indizes zur Bestimmung der Patellahöhe dar. Da der FPHI nur an einer homogenen Patientengruppe mit ähnlichen pathologischen Zuständen getestet wurde und keine Daten für Patienten unter 18 Jahren vorliegen, sind weitere Studien erforderlich, die eine größere Vielfalt an Krankheitsbildern und langfristige postoperative Messungen umfassen, um seine Validität zu bestätigen und seine Etablierung als Standardmethode zu ermöglichen.

4.2 Diskussion der Übertragung des FPHI auf KTP

Die Patellahöhe spielt eine wesentliche Rolle bei der Prognose und Funktionalität nach der Implantation einer Knieendoprothese (KTP) [8, 9]. Veränderungen der Patellahöhe können zu verschiedenen Problemen führen, darunter Patellasehnenruptur, anteriorer Knieschmerz, Bewegungsumfangeinschränkungen und Streckverzögerung [72, 98, 99, 100]. Die prä- und postoperative Bestimmung der Patellahöhe ist daher essenziell für die Wiederherstellung der mechanischen Achsen, das Gleichgewicht der Bänder und Weichteile sowie die Kniefunktion [101, 102].

In der klinischen Praxis werden häufig tibiareferenzierte Messmethoden wie der Insall-Salvati Index (ISI), der modifizierte Insall-Salvati Index (MISI), der Blackburne-Peel Index (BPI) und der Caton-Deschamps Index (CDI) verwendet [33, 35, 37, 38, 65]. Diese Methoden messen jedoch die Patellahöhe in Bezug zur Tibia, was zu ungenauen Ergebnissen führen kann, insbesondere nach einer KTP, da tibiale Orientierungspunkte durch das Implantat beeinflusst werden können. So zeigen Studien, dass die Patellahöhe nach KTP mit tibiareferenzierten Methoden ansteigt, da die anatomischen Referenzpunkte durch die Implantation verändert werden [22, 32].

Im zweiten Teil der Studie wurde der FPHI auf Oberflächenersatzprothesen vom Typ Columbus angewandt. Dabei wurden die Kniegelenke mit dem FPHI und dem angepassten FPHI vermessen, welcher die Überlagerung der Patella durch die KTP über einen Umrechnungsfaktor X ausgleichen sollte. Der Umrechnungsfaktor bedient sich dabei zusätzlich zu den bisherigen Ganzbeinstandaufnahmen an seitlichen Aufnahmen des Kniegelenks (siehe Methodik). Die Ergebnisse zeigten signifikante Veränderung prä- zu

postoperativ. In der Studie Ihle et al. [22] ergab der FPHI, ebenso wie der ISI, prä- und postoperativ keine Veränderung der Patellahöhe. Im Gegensatz zum FPHI zeigen beim angepassten FPHI hohe Werte eine Patella alta und niedrige Werte eine Patella baja an.

Die Ergebnisse zeigten, dass sich der FPHI präoperativ auf der gesunden Seite mit einem Mittelwert von 1,51 (SD \pm 0,20) und auf der pathologischen (Prothesen-)Seite mit 1,57 (SD \pm 0,22) signifikant unterscheidet ($p < 0,001$). Dies spricht für die Theorie der Patellasehnenverkürzung nach Implantation einer KTP [71, 75]. Der Pathomechanismus soll dabei über eine fehlerhafte Wiederherstellung der Gelenklinie oder iatrogene Verletzungen der Patellasehne zur Sehnenverkürzung führen [103].

Um die Differenz der beiden Messmethoden genauer zu beurteilen, wurde die Prothesen-Seite präoperativ mit dem FPHI und dem angepassten FPHI verglichen. Da in der Regel keine Indikation für seitliche Kniegelenksaufnahmen bei einem gesunden Knie besteht, sind diese Aufnahmen selten vorhanden. Daher wurde für diesen Vergleich ausschließlich die Prothesenseite verwendet. Die Ergebnisse zeigten für dasselbe Knie zur selben Zeit zwar unterschiedliche Werte zwischen dem FPHI und angepassten FPHI, jedoch mit derselben Messmethode prä- und postoperativ keine signifikanten Veränderungen. Der FPHI wies dabei Werte auf, welche im Referenzbereich der bisherigen Definition liegen (MW: 1,53). Der angepasste FPHI wies auf der Prothesen-Seite allerdings geringere Werte auf, welche definitionsgemäß in die Diagnose Patella alta fallen würden (präoperativer MW: 1,48). Er besitzt somit eigene Normwerte, diese liegen bei einem Mittelwert von 1,47 mit einem 95% KI von 1,41 – 1,52. Eine direkte Übertragbarkeit der Indices ist somit nicht möglich. Zwar besteht eine Korrelation zwischen dem FPHI und dem angepassten FPHI, und beide Indices sind an sich stabil, jedoch benötigt jeder Index eigene, spezifische Normwerte. Das bedeutet, dass ein

Patient, der präoperativ mittels FPHI gemessen wurde, nicht direkt mit einem postoperativ anhand des angepassten FPHI gemessenen Patienten verglichen werden kann. Ein neu zu definierender Umrechnungsfaktor könnte hier möglicherweise eine Lösung darstellen, um die beiden Messverfahren besser zu harmonisieren. In der klinischen Anwendung des angepassten FPHI sollte dies Berücksichtigung finden. Postoperativ kam es beim angepassten FPHI zu keiner signifikanten Veränderung. Die Werte lagen weiterhin im Referenzbereich mit einem Mittelwert von 1,47. Dies stützt die Theorie der unveränderten postoperativen Lage der Patella [22].

Die in Tabelle 3.13 dargestellten Ergebnisse wurden sowohl für den FPHI als auch für den angepassten FPHI, prä- und postoperativ, für die gesunde und die Prothesenseite berechnet. Aufgrund von postoperativen Herausforderungen, wie Überlagerungen durch die Prothese, fehlenden seitlichen Aufnahmen des Kniegelenks oder veränderten Messpunkten, wurden 10 Patienten aus der Studie ausgeschlossen. Zwar führt dieser Ausschluss zu einer Reduktion der Stichprobengröße und damit zu einer gewissen Abnahme der statistischen Aussagekraft, jedoch ist er notwendig, um die Validität und Zuverlässigkeit der erhobenen Daten sicherzustellen. Ungültige Messwerte können die Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen verzerren und zu fehlerhaften Interpretationsergebnissen führen. Durch den gezielten Ausschluss dieser Fälle wird gewährleistet, dass nur qualitativ hochwertige und vergleichbare Daten in die Analysen einfließen, was letztlich die Robustheit der Ergebnisse deutlich erhöht.

Die tibiareferenzierten Messmethoden, BPI und CDI, ergaben in dieser Studie, wie auch in der von Ihle et al. [22] ein postoperatives Höherentreten der Patella, welches auf die postoperativ nicht vorhandenen oder veränderten Messpunkte zurückzuführen ist. Dasselbe ergab eine Studie von Rogers et al. [32], welche sich ebenso mit einem prä- und postoperativen Vergleich

der Messmethoden befasste, wobei der BPI und der CDI postoperativ gering, aber signifikant anstiegen, der ISI und der MISI jedoch nur gering und nicht signifikant absanken. Die Gelenkfläche der Kniescheibe, welche für die Bestimmung des BPI, CDI und MISI relevant ist, ist nach einer endoprothetischen Versorgung möglicherweise nicht vollständig sichtbar, da sie sich teilweise in der Trochlearrinne des Oberschenkels befindet und ein exaktes Bestimmen der Länge somit nicht möglich macht.

Die Prothesenseite zeigte keine signifikanten Alters- und Geschlechtsunterschiede des FPHI, ebenso wenig des angepassten FPHI. Signifikante Veränderungen wurden auf der gesunden Seite beobachtet, diese verhalten sich entgegengesetzt den Messungen des ersten Teils der Studie und zeigen eine geringere Patellahöhe bei Frauen. Da in diesem Teil der Studie der Altersdurchschnitt mit 71,5 wesentlich höher liegt als im ersten Teil der Studie mit 49,7 Jahren, ist dies vermutlich wieder auf die verminderte Spannung der Quadrizepssehne im Alter zurückzuführen und stützt diese Theorie [44]. Außerdem unterscheiden sich die Strukturen der Quadrizepsmuskulatur, die Muskelmasse und der Body-Mass-Index (BMI) von Männern und Frauen, diese Faktoren wirken sich auf die Höhe der Patella aus [30]. Zudem fallen die jüngeren Patientinnen weg, welche im ersten Teil für den Geschlechtsunterschied verantwortlich waren und ein Höherentreten der Patella aufwiesen.

Eine Studie von Anagnostakos et al. befasste sich mit dem Einfluss der Flexionswinkel in Bezug auf verschiedene Indices [30]. Diese zeigte, dass der BPI stark vom Flexionswinkel abhängig ist, da er auf der präzisen Identifikation des Tibiaplateaus basiert, was bei zunehmender Flexion schwieriger wird. Der ISI ist ebenfalls beeinflusst, da die Länge der Patellarsehne durch die Flexion verändert wird, was die Messung verfälschen kann. Im Vergleich dazu zeigt der CDI weniger Abhängigkeit vom Flexionswinkel, bleibt jedoch bei

90° Flexion ebenfalls durch schwerer erkennbare anatomische Landmarken eingeschränkt, was die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Patellahöhenmessungen verringert. Der distale femorale Referenzpunkt am hinteren Winkel des interkondylären Daches ist eng mit der Rotationsachse des Kniegelenks verbunden. Dies bedeutet, dass der FPHI von unterschiedlichen Flexionsgraden nur gering beeinflusst wird, was sich mit den statistischen Ergebnissen dieser Studie deckt, welche im Zusammenhang des FPHI mit dem Flexionswinkel, prä- als auch postoperativ, statistisch nicht signifikant sind.

Die bisherigen Ergebnisse zum FPHI geben zwar eine Tendenz, welche ihn als potenziellen neuen Goldstandard in der Bestimmung der Patellahöhe attraktiv erscheinen lässt, jedoch reichen sie nicht aus, um den FPHI als alleinige Standardmethode zu etablieren. Für die Etablierung eines zuverlässigen Messverfahrens bedarf es umfassenderer Studien, die eine breitere und diversifiziertere Patientenkohorte einbeziehen und dabei Einflussfaktoren wie Alter, Geschlecht, BMI und ethnische Zugehörigkeit systematisch berücksichtigen. Darüber hinaus sind zusätzliche Messverfahren, beispielsweise bildgebende Methoden mittels Computertomographie (CT) oder Magnetresonanztomographie (MRT), von Bedeutung, da diese Techniken die dreidimensionale Anatomie des Kniegelenks detailliert abbilden können und somit als Ergänzung oder Vergleich zu den konventionell eingesetzten, tibia-referenzierten Messmethoden (z.B. ISI, BPI, CDI) dienen können. Insbesondere in Fällen, in denen tibiareferenzierte Methoden durch postoperativ veränderte anatomische Strukturen beeinträchtigt werden, könnte der Einsatz von CT oder MRT zu einer präziseren Erfassung der Patellahöhe beitragen. Ferner liegen bisher nur begrenzte Daten zur Korrelation des FPHI mit verschiedenen Implantatdesigns und Materialeigenschaften vor, die maßgebliche Einflussfaktoren auf die Messergebnisse darstellen könnten. Diese

Aspekte sollten in zukünftigen Studien gezielt untersucht werden, um die klinische Anwendbarkeit und Validität des FPHI weiter zu evaluieren. Bislang bleibt der FPHI eine weitere Methode, deren Potenzial durch die Einbeziehung alternativer Messverfahren und einer breiteren Datengrundlage noch weiter untermauert werden muss, bevor er als Standardmethode zur Bestimmung der Patellahöhe gelten kann.

4.3 Limitationen der Studie

Die vorliegende Studie weist mehrere Limitationen auf, die sowohl methodische als auch statistische Aspekte betreffen. Ursprünglich wird dargelegt, dass die Bestimmung der Patellahöhe ausschließlich anhand von Ganzbeinaufnahmen erfolgte und von einem einzelnen Beobachter zu nur einem Untersuchungszeitpunkt durchgeführt wurde, sodass keine Aussage zur Interobserver-Variabilität getroffen werden kann. Zudem setzt die angewandte Messmethode eine standardisierte Relaxation des M. quadrizeps sowie eine vollständige Extensionsstellung voraus, Voraussetzungen, die in der klinischen Praxis nicht immer optimal realisiert werden können und somit zu Messungenauigkeiten führen.

Als retrospektive Studie können zusätzliche, beeinflussende Parameter nicht ausgeschlossen bzw. überprüft werden. Der erste Teil dieser Arbeit befasste sich mit dem Vergleich gesunder und pathologischer Kniegelenke. Doch auch ein lediglich beschwerdefreies Knie, ohne radiologisch sichtbare Veränderungen kann bereits Erkrankungen und Veränderungen aufweisen und lässt somit keinen genauen Vergleich zwischen gesund und krank zu. Der Beobachter bediente sich zur Sammlung des Patientenkollektivs der angefertigten Arztbriefe und der radiologischen Begutachtung der Bilder, um die gesunde Seite zu befunden. Dadurch könnten Patienten mit einem äl-

teren Ereignis, welches radiologisch nicht evaluierbar war und nicht in der Krankenakte vermerkt wurde, die Studie verfälschen.

Ergänzend hierzu arbeitet die Studie ausschließlich mit Röntgenaufnahmen, wodurch rotationsbedingte Fehlstellungen und die Auswirkungen osteophytärer Anbauten nicht adäquat erfasst werden können. Moderne bildgebende Verfahren wie die Computertomographie (CT) würden eine präzisere Darstellung der anatomischen Verhältnisse ermöglichen.

Ein weiterer methodischer Einschränkungspunkt betrifft die anatomische Messmethode: Bei der Bestimmung des Femoral Patellar Height Index wird die erste Strecke der Messung (A) als die horizontale Größe des Knochens definiert. Dabei werden lediglich die Breite und nicht die vertikalen oder dreidimensionalen Aspekte erfasst. Diese Vorgehensweise lässt wichtige anatomische Variationen außer Acht, die insbesondere bei individuellen Deformationen einen erheblichen Einfluss auf die tatsächliche Patellahöhe haben können.

Zudem besteht aufgrund der retrospektiven Studienausrichtung ein Restriktionsrisiko für systematische Verzerrungen, da nicht alle potenziell störenden Einflussfaktoren vollständig kontrolliert werden konnten. Zwar wurde eine ausgeglichene Verteilung der Alters- und Geschlechtsgruppen angestrebt, jedoch führte der Ausschluss von 10 Patienten, aufgrund von Überlagerungen der Messpunkte in den Röntgenbildern, zu einer leichten Veränderung des Patientenkollektivs, was die Vergleichbarkeit in geringem Maße beeinflussen könnte.

Der FPHI ergab einen Gesamtmittelwert von 1,54 ($SD \pm 0,21$) mit einem 95%-Konfidenzintervall von 1,51 bis 1,56, welches als Normalbereich definiert wurde. Durch diese enge Spanne können bereits geringe Messabweichungen dazu führen, dass Patienten rasch in unterschiedliche Kategorien

(Patella alta: $<1,51$; Patella baja: $>1,56$) eingeordnet werden, was die diagnostische Reliabilität einschränken kann.

Die genannten Limitationen, die fehlende Mehrbeobachter-Validierung, die methodischen Einschränkungen der Röntgenbildgebung, die retrospektive Studienausrichtung mit ungleichen Gruppengrößen, Messungenauigkeiten durch suboptimale Standardisierungsbedingungen, die einseitige Erfassung der Knochenbreite sowie der Ausschluss von Patienten aufgrund von Überlagerungen, müssen bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden und bieten zugleich Ansatzpunkte für zukünftige, prospektiv angelegte Untersuchungen.

4.4 Schlussfolgerung

Die Studie analysierte 300 Patienten, die jeweils ein gesundes und ein erkranktes Kniegelenk aufwiesen, zur Bestimmung des Femoral Patellar Height Index (FPHI) sowie 100 Patienten, bei denen eine Knie totalprothese (KTP) durchgeführt wurde, zur Überprüfung des angepassten FPHI.

Im ersten Teil lag das Durchschnittsalter bei 49,7 Jahren, im zweiten bei 71,5 Jahren. Der FPHI ergab einen Gesamtmittelwert von 1,54 ($SD \pm 0,21$) mit einem 95%-Konfidenzintervall von 1,51 bis 1,56. Patella alta wurde durch Werte unter 1,51 und Patella baja durch Werte über 1,56 definiert, entgegen anderen Indizes, da ein niedrigerer FPHI-Wert eine Patella alta anzeigt.

Zwischen gesunder und pathologischer Seite gab es keinen signifikanten Unterschied im FPHI (beide MW = 1,54, $p = 0,567$). Ein Geschlechtseffekt zeigte, dass Frauen niedrigere FPHI-Werte hatten (pathologische Seite: Frauen MW = 1,52, Männer MW = 1,56; $p = 0,007$). Eine signifikante negative Korrelation bestand zwischen dem FPHI und der Beinachse auf der

pathologischen Seite ($r = -0,128$, $p = 0,026$).

Im zweiten Teil der Studie korrelierte der präoperative FPHI der Prothesen-Seite negativ mit dem angepassten präoperativen FPHI ($r = -0,562$, $p < 0,001$). Präoperativ lag der FPHI-Mittelwert auf der gesunden Seite bei 1,50 ($SD \pm 0,20$), der angepasste FPHI Wert bei 1,48 ($SD \pm 0,26$). Postoperativ lag der FPHI-Mittelwert auf der gesunden Seite bei 1,53 ($SD \pm 0,18$), der angepasste FPHI-Mittelwert bei 1,47 ($SD \pm 0,26$). Die Retest-Reliabilität war hoch, mit $r = 0,753$ für den FPHI und $r = 0,984$ für den angepassten FPHI (beide $p < 0,001$).

Der FPHI sank signifikant von prä- zu postoperativ auf der Prothesen-Seite ($p = 0,022$), nicht jedoch auf der gesunden Seite ($p = 0,153$). Postoperativ betrug der angepasste FPHI-Mittelwert auf der Prothesen-Seite 1,47, auf der gesunden Seite 1,53. Der Vergleich mit anderen Indizes (ISI, BPI, CDI) zeigte signifikante Unterschiede.

Die Studie zeigt, der FPHI sollte weiterhin kritisch betrachtet werden und bedarf weiterer Studien.

5. Zusammenfassung

Die korrekte Bestimmung der Patellahöhe ist ein essenzieller diagnostischer Bestandteil zur Beurteilung von Kniegelenkspathologien. Die präoperative Planung, sowie die postoperative Verlaufskontrolle stützen sich dabei in vielerlei Hinsicht auf diesen Parameter. Postoperative Beschwerden konnten in Verbindung mit Lageveränderungen der Patella gebracht werden. Unterschiedliche Arbeitsgruppen befassten sich bereits mit der Bestimmung der Patellahöhe, dabei wurden einige Indices entwickelt, jedoch konnte sich bisher keiner als Goldstandard durchsetzen. Die bisherigen Methoden orientieren sich größtenteils anatomisch an tibialen Messpunkten - diese können jedoch postoperativ verändert oder zum Teil nicht mehr vorhanden sein und erschweren dadurch einen Vergleich und eine adäquate Interpretation. Der FPHI (Femoral Patellar Height Index) ist eine femurbasierte Messmethode, welche aus dem Quotienten zwischen dem Abstand des Kortex der femuralen Epikondylen (A) und der Distanz zwischen Patellabasis und der Gelenkfläche der Femurkondylen (B) gebildet wird. Da es bei einer Versorgung mittels Knie totalprothese in der Ganzbeinstandaufnahme häufig zu einer Überlagerung der Patella durch das eingesetzte Implantat kommt, musste der FPHI angepasst werden. Der Umrechnungsfaktor X, welcher sich aus dem Verhältnis zwischen Distanz B (präoperative Ganzbeinstandaufnahme) und B' (Distanz der Patellabasis und der Gelenkfläche der Femurkondylen, präoperativ, laterale Kniegelenksaufnahme) bildet, wird dabei mit der Distanz

B multipliziert. Diese Arbeit sollte, bei 300 Patienten mit einem gesunden und einem pathologischen Kniegelenk, Aufschluss geben über Normwerte des FPHI, Alters- und Geschlechtsunterschiede, einen Einfluss der Beinachse auf die Lage der Patella und einem Vergleich mit den gängigen Indices (Insall-Salvati Index, Blackburne-Peel Index, Caton-Dechamp Index). Im zweiten Teil erfolgte eine Übertragung des FPHI auf 100 Patienten mit einem gesunden und einem operierten Kniegelenk (endoprothetische Versorgung Typ Columbus). Hierbei wurden die Patienten ebenfalls auf Normwerte, Alters- und Geschlechtsunterschiede, einen Einfluss der Flexionsstellung auf den angepassten FPHI und einen Vergleich der oben erwähnten Indices, einschließlich dem Miura-Kawamura Index und dem modifizierten Insall-Salvati Index, überprüft.

Als Patella norma wurden für den FPHI Werte zwischen 1,51 und 1,56 festgelegt. Werte $<1,51$ definieren eine Patella alta, Werte $>1,56$ eine Patella baja. Dies überschneidet sich mit den Werten der Studie von Ihle et al. [22]. Die Normwerte des angepassten FPHI liegen zwischen 1,49 und 1,58. Werte $<1,49$ definieren eine Patella baja, Werte $>1,58$ eine Patella alta. Prä- zu postoperativ kam es zu einer signifikanten Höhenveränderung mittels angepasstem FPHI. Alters- und Geschlechtsunterschiede wurden im ersten Teil der Studie bei jüngeren Patienten festgestellt. Dabei wiesen Frauen vermehrt eine Patella alta auf. Dies beruht auf Unterschiede der Anatomie zwischen Männern und Frauen. Der Flexionswinkel hat keinen Einfluss auf den Index. Die Beinachse zeigt eine signifikant negative Korrelation mit dem FPHI für die pathologische Seite. Die Ergebnisse lassen sich mit vorherigen Studien zur Lage der Patella bei einer varischen Beinachse vergleichen. Die zuvor genannten Indices korrelieren weder mit dem FPHI, noch untereinander und lassen somit keinen direkten Vergleich zu. Dies ist bei der Interpretation im klinischen Setting zu berücksichtigen. Abschließend ist der FPHI

als neuer Goldstandard zur Bestimmung der Patellahöhe weiterhin kritisch zu betrachten und bedarf weiteren Studien sowie einer weiteren Anpassung des FPHI, um vergleichbare Normwerte zu erhalten.

6. Literaturverzeichnis

- [1] H. Maradit Kremers u. a. "Prevalence of Total Hip and Knee Replacement in the United States". In: *J Bone Joint Surg Am* 97.17 (2015). 1535-1386 Maradit Kremers, Hilal Larson, Dirk R Crowson, Cynthia S Kremers, Walter K Washington, Raynard E Steiner, Claudia A Jiranek, William A Berry, Daniel J Journal Article United States 2015/09/04 J Bone Joint Surg Am. 2015 Sep 2;97(17):1386-97. doi: 10.2106/JBJS.N.01141., S. 1386–97. ISSN: 0021-9355 (Print) 0021-9355. DOI: 10.2106/jbjs.N.01141.
- [2] S. Kurtz u. a. "Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030". In: *J Bone Joint Surg Am* 89.4 (2007). Kurtz, Steven Ong, Kevin Lau, Edmund Mowat, Fionna Halpern, Michael Journal Article United States 2007/04/04 J Bone Joint Surg Am. 2007 Apr;89(4):780-5. doi: 10.2106/JBJS.F.00222., S. 780–5. ISSN: 0021-9355 (Print) 0021-9355. DOI: 10.2106/jbjs.F.00222.
- [3] F. Canovas und L. Dagneaux. "Quality of life after total knee arthroplasty". In: *Orthop Traumatol Surg Res* 104.1s (2018). 1877-0568 Canovas, F Dagneaux, L Lecture Review France 2017/12/01 Orthop Traumatol Surg Res. 2018 Feb;104(1S):S41-S46. doi:

- 10.1016/j.otsr.2017.04.017. Epub 2017 Nov 26., S41–s46. ISSN: 1877-0568. DOI: 10.1016/j.otsr.2017.04.017.
- [4] R. Nakamura u. a. “Femoral-varus tibial-valgus osteotomy (FVTVO) for neutrally-aligned knee osteoarthritis with severe joint line obliquity enables return to sports activities: A case series study”. In: *Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol* 31 (2023). Nakamura, Ryuichi Amemiya, Masaki Shimakawa, Tomoyuki Takahashi, Masaki Kuroda, Kazunari Katsuki, Yasuo Okano, Akira eng Case Reports Singapore 2023/02/25 Asia Pac J Sports Med Arthrosc Rehabil Technol. 2023 Feb 8;31:11-17. doi: 10.1016/j.asmart.2023.01.002. eCollection 2023 Jan., S. 11–17. ISSN: 2214-6873 (Print) 2214-6873 (Electronic) 2214-6873 (Linking). DOI: 10.1016/j.asmart.2023.01.002. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/36825133>.
- [5] S. Schroter u. a. “Surgical accuracy in high tibial osteotomy: coronal equivalence of computer navigation and gap measurement”. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 24.11 (2016). Schroter, S Ihle, C Elson, D W Dobeles, S Stockle, U Ateschrang, A eng Randomized Controlled Trial Germany 2016/10/28 Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2016 Nov;24(11):3410-3417. doi: 10.1007/s00167-016-3983-7. Epub 2016 Jan 22., S. 3410–3417. ISSN: 1433-7347 (Electronic) 0942-2056 (Linking). DOI: 10.1007/s00167-016-3983-7. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26801783>.
- [6] X. Liu u. a. “High Tibial Osteotomy: Review of Techniques and Biomechanics”. In: *J Healthc Eng* 2019 (2019). 2040-2309 Liu, Xiaoyu Chen, Zhenxian Orcid: 0000-0002-4216-7795 Gao, Yongchang Zhang, Jing Jin, Zhongmin Journal Article Research Support, Non-U.S. Gov't Review England 2019/06/14 J Healthc Eng. 2019 May 2;2019:8363128. doi: 10.1155/2019/8363128. eCollection 2019.,

S. 8363128. ISSN: 2040-2295 (Print) 2040-2295. DOI: 10.1155/2019/8363128.

- [7] J. A. D. van der Woude u. a. "Knee joint distraction compared with high tibial osteotomy: a randomized controlled trial". In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25.3 (2017). 1433-7347 van der Woude, J A D Wiegant, K van Heerwaarden, R J Spruijt, S van Roermund, P M Custers, R J H Mastbergen, S C Lafeber, F P J G Comparative Study Journal Article Randomized Controlled Trial Germany 2016/04/24 *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017 Mar;25(3):876-886. doi: 10.1007/s00167-016-4131-0. Epub 2016 Apr 22., S. 876–886. ISSN: 0942-2056 (Print) 0942-2056. DOI: 10.1007/s00167-016-4131-0.
- [8] C. Ihle u. a. "Health-related quality of life and clinical outcomes following medial open wedge high tibial osteotomy: a prospective study". In: *BMC Musculoskelet Disord* 17 (2016). 1471-2474 Ihle, Christoph Ateschrang, Atesch Grünwald, Leonard Stöckle, Ulrich Saier, Tim Schröter, Steffen Comparative Study Journal Article Research Support, Non-U.S. Gov't England 2016/05/18 *BMC Musculoskelet Disord*. 2016 May 18;17:215. doi: 10.1186/s12891-016-1076-x., S. 215. ISSN: 1471-2474. DOI: 10.1186/s12891-016-1076-x.
- [9] S. Schröter u. a. "Early full weight-bearing versus 6-week partial weight-bearing after open wedge high tibial osteotomy leads to earlier improvement of the clinical results: a prospective, randomised evaluation". In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25.1 (2017). 1433-7347 Schröter, S Ateschrang, A Löwe, W Nakayama, H Stöckle, U Ihle, C Journal Article Randomized Controlled Trial Germany 2015/04/10 *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017 Jan;25(1):325-332. doi: 10.1007/s00167-015-3592-x. Epub 2015 Apr

- 9., S. 325–332. ISSN: 0942-2056. DOI: 10.1007/s00167-015-3592-x.
- [10] P. Schuster u. a. “Open-Wedge High Tibial Osteotomy and Combined Abrasion/Microfracture in Severe Medial Osteoarthritis and Varus Malalignment: 5-Year Results and Arthroscopic Findings After 2 Years”. In: *Arthroscopy* 31.7 (2015). 1526-3231 Schuster, Philipp Schulz, Martin Mayer, Philipp Schlumberger, Michael Immendoerfer, Micha Richter, Joerg Journal Article United States 2015/04/12 Arthroscopy. 2015 Jul;31(7):1279-88. doi: 10.1016/j.arthro.2015.02.010. Epub 2015 Apr 7., S. 1279–88. ISSN: 0749-8063. DOI: 10.1016/j.arthro.2015.02.010.
- [11] D. Ghinelli u. a. “High tibial osteotomy for the treatment of medial osteoarthritis of the knee with new iBalance system: 2 years of follow-up”. In: *Eur J Orthop Surg Traumatol* 26.5 (2016). 1432-1068 Ghinelli, Diego Parma, Alessandro Baldassarri, Matteo Olivieri, Alessandra Mosca, Massimiliano Pagliuzzi, Gherardo Buda, Roberto Journal Article France 2016/03/27 Eur J Orthop Surg Traumatol. 2016 Jul;26(5):523-35. doi: 10.1007/s00590-016-1768-9. Epub 2016 Mar 26., S. 523–35. ISSN: 1633-8065. DOI: 10.1007/s00590-016-1768-9.
- [12] T. T. Niinimäki u. a. “Survivorship of high tibial osteotomy in the treatment of osteoarthritis of the knee: Finnish registry-based study of 3195 knees”. In: *J Bone Joint Surg Br* 94.11 (2012). 2044-5377 Niinimäki, T T Eskelinen, A Mann, B S Junnila, M Ohtonen, P Lepilahti, J Journal Article England 2012/10/31 J Bone Joint Surg Br. 2012 Nov;94(11):1517-21. doi: 10.1302/0301-620X.94B11.29601., S. 1517–21. ISSN: 0301-620x. DOI: 10.1302/0301-620x.94b11.29601.

- [13] E. C. Rodriguez-Merchan. "Does a Previous High Tibial Osteotomy (HTO) Influence the Long-term Function or Survival of a Total Knee Arthroplasty (TKA)?" In: *Arch Bone Jt Surg* 6.1 (2018). 2345-461x Rodriguez-Merchan, E Carlos Journal Article Review Iran 2018/02/13 Arch Bone Jt Surg. 2018 Jan;6(1):19-22., S. 19–22. ISSN: 2345-4644 (Print) 2345-461x.
- [14] K. Goshima u. a. "Open-wedge high tibial osteotomy for spontaneous osteonecrosis of the medial tibial plateau shows excellent clinical outcomes". In: *J Exp Orthop* 7.1 (2020). 2197-1153 Goshima, Kenichi Sawaguchi, Takeshi Shigemoto, Kenji Iwai, Shintaro Fujita, Kenji Yamamuro, Yuki Journal Article United States 2020/03/17 J Exp Orthop. 2020 Mar 14;7(1):14. doi: 10.1186/s40634-020-00231-z., S. 14. ISSN: 2197-1153 (Print) 2197-1153. DOI: 10 . 1186 / s40634 - 020 - 00231-z.
- [15] K. Kumagai u. a. "Factors affecting cartilage repair after medial opening-wedge high tibial osteotomy". In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 25.3 (2017). 1433-7347 Kumagai, Ken Akamatsu, Yasushi Kobayashi, Hideo Kusayama, Yoshihiro Koshino, Tomihisa Saito, Tomoyuki Journal Article Germany 2016/04/02 Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2017 Mar;25(3):779-784. doi: 10.1007/s00167-016-4096-z. Epub 2016 Mar 31., S. 779–784. ISSN: 0942-2056. DOI: 10.1007/s00167-016-4096-z.
- [16] J. F. Rudan und M. A. Simurda. "High tibial osteotomy. A prospective clinical and roentgenographic review". In: *Clin Orthop Relat Res* 255 (1990). Rudan, J F Simurda, M A Journal Article United States 1990/06/01 Clin Orthop Relat Res. 1990 Jun;(255):251-6., S. 251–6. ISSN: 0009-921X (Print) 0009-921x.

- [17] A. Amendola und D. E. Bonasia. "Results of high tibial osteotomy: review of the literature". In: *Int Orthop* 34.2 (2010). 1432-5195 Amendola, Annunziato Bonasia, Davide Edoardo Journal Article Review Germany 2009/10/20 *Int Orthop*. 2010 Feb;34(2):155-60. doi: 10.1007/s00264-009-0889-8. Epub 2009 Oct 17., S. 155–60. ISSN: 0341-2695. DOI: 10.1007/s00264-009-0889-8.
- [18] A. Hoorntje u. a. "High Rates of Return to Sports Activities and Work After Osteotomies Around the Knee: A Systematic Review and Meta-Analysis". In: *Sports Med* 47.11 (2017). 1179-2035 Hoorntje, Alexander Witjes, Suzanne Kuijer, P Paul F M Koenraadt, Koen L M van Geenen, Rutger C I Daams, Joost G Getgood, Alan Kerkhoffs, Gino M M J Journal Article Meta-Analysis Review Systematic Review New Zealand 2017/04/13 *Sports Med*. 2017 Nov;47(11):2219-2244. doi: 10.1007/s40279-017-0726-y., S. 2219–2244. ISSN: 0112-1642 (Print) 0112-1642. DOI: 10.1007/s40279-017-0726-y.
- [19] S. Wittenberg u. a. "[Importance of the tibial slope in knee arthroplasty]". In: *Orthopade* 49.1 (2020). 1433-0431 Wittenberg, Silvan Sentuerk, Ufuk Renner, Lisa Weynandt, Claude Perka, Carsten F Gwinner, Clemens Journal Article Review Germany 2019/07/05 *Orthopade*. 2020 Jan;49(1):10-17. doi: 10.1007/s00132-019-03777-8., S. 10–17. ISSN: 0085-4530. DOI: 10.1007/s00132-019-03777-8.
- [20] M. Hanada u. a. "Comparison of the change in patellar height between opening and closed wedge high tibial osteotomy: measurement with a new method". In: *Eur J Orthop Surg Traumatol* 24.4 (2014). 1432-1068 Hanada, Mitsuru Takahashi, Masaaki Koyama, Hiroshi Matsuyama, Yukihiro Comparative Study Journal Article France 2013/05/02 *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2014 May;24(4):567-70.

- doi: 10.1007/s00590-013-1226-x. Epub 2013 Apr 30., S. 567–70. ISSN: 1633-8065. DOI: 10.1007/s00590-013-1226-x.
- [21] H. El-Azab u. a. “The effect of closed- and open-wedge high tibial osteotomy on tibial slope: a retrospective radiological review of 120 cases”. In: *J Bone Joint Surg Br* 90.9 (2008). 2044-5377 El-Azab, H Halawa, A Anetzberger, H Imhoff, A B Hinterwimmer, S Journal Article England 2008/09/02 J Bone Joint Surg Br. 2008 Sep;90(9):1193-7. doi: 10.1302/0301-620X.90B9.20688., S. 1193–7. ISSN: 0301-620x. DOI: 10.1302/0301-620x.90b9.20688.
- [22] C. Ihle u. a. “No change in patellar height following open wedge high tibial osteotomy using a novel femur-referenced measurement method”. In: *Knee* 24.5 (2017). 1873-5800 Ihle, C Ahrend, M Grünwald, L Ateschrang, A Stöckle, U Schröter, S Journal Article Netherlands 2017/07/05 Knee. 2017 Oct;24(5):1118-1128. doi: 10.1016/j.knee.2017.06.006. Epub 2017 Jun 30., S. 1118–1128. ISSN: 0968-0160. DOI: 10.1016/j.knee.2017.06.006.
- [23] A. J. Carr u. a. “Knee replacement”. In: *Lancet* 379.9823 (2012). 1474-547x Carr, Andrew J Robertsson, Otto Graves, Stephen Price, Andrew J Arden, Nigel K Judge, Andrew Beard, David J Journal Article Review England 2012/03/09 Lancet. 2012 Apr 7;379(9823):1331-40. doi: 10.1016/S0140-6736(11)60752-6. Epub 2012 Mar 6., S. 1331–40. ISSN: 0140-6736. DOI: 10.1016/s0140-6736(11)60752-6.
- [24] N. Arden und M. C. Nevitt. “Osteoarthritis: epidemiology”. In: *Best Pract Res Clin Rheumatol* 20.1 (2006). Arden, Nigel Nevitt, Michael C Journal Article Review Netherlands 2006/02/18 Best Pract Res Clin Rheumatol. 2006 Feb;20(1):3-25. doi: 10.1016/j.berh.2005.09.007.,

S. 3–25. ISSN: 1521-6942 (Print) 1521-6942. DOI: 10.1016/j.berh.2005.09.007.

- [25] A. Lunebourg u. a. “Lower function, quality of life, and survival rate after total knee arthroplasty for posttraumatic arthritis than for primary arthritis”. In: *Acta Orthop* 86.2 (2015). 1745-3682 Lunebourg, Alexandre Parratte, Sebastien Gay, André Ollivier, Matthieu Garcia-Parra, Kleber Argenson, Jean-Noël Journal Article Sweden 2014/10/29 Acta Orthop. 2015 Apr;86(2):189-94. doi: 10.3109/17453674.2014.979723. Epub 2014 Oct 28., S. 189–94. ISSN: 1745-3674 (Print) 1745-3674. DOI: 10.3109/17453674.2014.979723.
- [26] R. E. Windsor, J. N. Insall und K. G. Vince. “Technical considerations of total knee arthroplasty after proximal tibial osteotomy”. In: *J Bone Joint Surg Am* 70.4 (1988). Windsor, R E Insall, J N Vince, K G Journal Article United States 1988/04/01 J Bone Joint Surg Am. 1988 Apr;70(4):547-55., S. 547–55. ISSN: 0021-9355 (Print) 0021-9355.
- [27] M. H. El Amrani u. a. “Patellar height relevance in opening-wedge high tibial osteotomy”. In: *Orthop Traumatol Surg Res* 96.1 (2010). 1877-0568 El Amrani, M H Lévy, B Scharycki, S Asselineau, A Journal Article France 2010/02/23 Orthop Traumatol Surg Res. 2010 Feb;96(1):37-43. doi: 10.1016/j.rcot.2009.11.003., S. 37–43. ISSN: 1877-0568. DOI: 10.1016/j.rcot.2009.11.003.
- [28] R. Gaillard u. a. “Influence of Patella Height on Total Knee Arthroplasty: Outcomes and Survival”. In: *J Arthroplasty* 34.3 (2019). 1532-8406 Gaillard, Romain Bankhead, Christopher Budhiparama, Nicolaas Batailler, Cécile Servien, Elvire Lustig, Sébastien Comparative Study Journal Article United States 2018/12/01 J Arthroplasty. 2019 Mar;34(3):469-477. doi: 10.1016/j.arth.2018.10.037. Epub 2018 Nov

- 8., S. 469–477. ISSN: 0883-5403. DOI: 10.1016/j.arth.2018.10.037.
- [29] K. Chareancholvanich und R. Narkbunnam. “Novel method of measuring patellar height ratio using a distal femoral reference point”. In: *Int Orthop* 36.4 (2012). 1432-5195 Chareancholvanich, Keerati Narkbunnam, Rapeepat Journal Article Germany 2011/08/30 *Int Orthop*. 2012 Apr;36(4):749-53. doi: 10.1007/s00264-011-1340-5. Epub 2011 Aug 27., S. 749–53. ISSN: 0341-2695 (Print) 0341-2695. DOI: 10.1007/s00264-011-1340-5.
- [30] K. Anagnostakos u. a. “Comparison of five patellar height measurement methods in 90° knee flexion”. In: *Int Orthop* 35.12 (2011). 1432-5195 Anagnostakos, Konstantinos Lorbach, Olaf Reiter, Sarah Kohn, Dieter Comparative Study Journal Article Germany 2011/03/19 *Int Orthop*. 2011 Dec;35(12):1791-7. doi: 10.1007/s00264-011-1236-4. Epub 2011 Mar 17., S. 1791–7. ISSN: 0341-2695 (Print) 0341-2695. DOI: 10.1007/s00264-011-1236-4.
- [31] S. Schröter u. a. “[Changes of patella position after closed and open wedge high tibial osteotomy: review of the literature]”. In: *Orthopade* 41.3 (2012). 1433-0431 Schröter, S Lobenhoffer, P Mueller, J Ihle, C Stöckle, U Albrecht, D English Abstract Journal Article Meta-Analysis Review Germany 2012/03/13 *Orthopade*. 2012 Mar;41(3):186, 188-94. doi: 10.1007/s00132-011-1872-9., S. 186, 188–94. ISSN: 0085-4530. DOI: 10.1007/s00132-011-1872-9.
- [32] B. A. Rogers u. a. “Interobserver variation in the measurement of patellar height after total knee arthroplasty”. In: *J Bone Joint Surg Br* 88.4 (2006). Rogers, B A Thornton-Bott, P Cannon, S R Briggs, T W R Journal Article England 2006/03/29 *J Bone Joint Surg Br*. 2006 Apr;88(4):484-8. doi: 10.1302/0301-620X.88B4.16407., S. 484–8.

ISSN: 0301-620X (Print) 0301-620x. DOI: 10 . 1302 / 0301 - 620x . 88b4.16407.

- [33] J. Insall und E. Salvati. "Patella position in the normal knee joint". In: *Radiology* 101.1 (1971). Insall, J Salvati, E Journal Article United States 1971/10/01 Radiology. 1971 Oct;101(1):101-4. doi: 10.1148/101.1.101., S. 101–4. ISSN: 0033-8419 (Print) 0033-8419. DOI: 10.1148/101.1.101.
- [34] P. P. Lee u. a. "Multimodality correlations of patellar height measurement on X-ray, CT, and MRI". In: *Skeletal Radiol* 41.10 (2012). 1432-2161 Lee, Pearlene P Chalian, Majid Carrino, John A Eng, John Chhabra, Avneesh Comparative Study Journal Article Germany 2012/03/27 Skeletal Radiol. 2012 Sep;41(10):1309-14. doi: 10.1007/s00256-012-1396-3. Epub 2012 Mar 25., S. 1309–14. ISSN: 0364-2348. DOI: 10.1007/s00256-012-1396-3.
- [35] J. S. Blackburne und T. E. Peel. "A new method of measuring patellar height". In: *J Bone Joint Surg Br* 59.2 (1977). Blackburne, J S Peel, T E Journal Article England 1977/05/01 J Bone Joint Surg Br. 1977 May;59(2):241-2. doi: 10.1302/0301-620X.59B2.873986., S. 241–2. ISSN: 0301-620X (Print) 0301-620x. DOI: 10.1302/0301-620x.59b2.873986.
- [36] E. E. Berg, S. L. Mason und M. J. Lucas. "Patellar height ratios. A comparison of four measurement methods". In: *Am J Sports Med* 24.2 (1996). Berg, E E Mason, S L Lucas, M J Comparative Study Journal Article United States 1996/03/01 Am J Sports Med. 1996 Mar-Apr;24(2):218-21. doi: 10.1177/036354659602400218., S. 218–21. ISSN: 0363-5465. DOI: 10.1177/036354659602400218.
- [37] J. Caton u. a. "[Patella infera. Apropos of 128 cases]". In: *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 68.5 (1982). Caton, J Deschamps, G

- Chambat, P Lerat, J L Dejour, H Journal Article France 1982/01/01 Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot. 1982;68(5):317-25., S. 317–25. ISSN: 0035-1040 (Print) 0035-1040.
- [38] J. H. Caton u. a. "Patellar height assessment in total knee arthroplasty: a new method". In: *Int Orthop* 40.12 (2016). 1432-5195 Caton, Jacques H Prudhon, Jean Louis Aslanian, Thierry Verdier, Régis Journal Article Germany 2016/08/10 Int Orthop. 2016 Dec;40(12):2527-2531. doi: 10.1007/s00264-016-3256-6. Epub 2016 Aug 9., S. 2527–2531. ISSN: 0341-2695. DOI: 10.1007/s00264-016-3256-6.
- [39] J. H. Kellgren und J. S. Lawrence. "Radiological assessment of osteo-arthrosis". In: *Ann Rheum Dis* 16.4 (1957). 1468-2060 Kellgren, j h Lawrence, j s Journal Article England 1957/12/01 Ann Rheum Dis. 1957 Dec;16(4):494-502. doi: 10.1136/ard.16.4.494., S. 494–502. ISSN: 0003-4967 (Print) 0003-4967. DOI: 10.1136/ard.16.4.494.
- [40] H. Miura u. a. "Is patellar height really lower after high tibial osteotomy?" In: *Fukuoka Igaku Zasshi* 88.6 (1997). Miura, H Kawamura, H Nagamine, R Urabe, K Iwamoto, Y Journal Article Japan 1997/06/01 Fukuoka Igaku Zasshi. 1997 Jun;88(6):261-6., S. 261–6. ISSN: 0016-254X (Print) 0016-254x.
- [41] R. Seil u. a. "Reliability and interobserver variability in radiological patellar height ratios". In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 8.4 (2000). Seil, R Müller, B Georg, T Kohn, D Rupp, S Comparative Study Journal Article Validation Study Germany 2000/09/07 Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2000;8(4):231-6. doi: 10.1007/s001670000121., S. 231–6. ISSN: 0942-2056 (Print) 0942-2056. DOI: 10.1007/s001670000121.

- [42] H. Kawakami u. a. "Effects of rotation on measurement of lower limb alignment for knee osteotomy". In: *J Orthop Res* 22.6 (2004). Kawakami, Hideo Sugano, Nobuhiko Yonenobu, Kazuo Yoshikawa, Hideki Ochi, Takahiro Hattori, Asaki Suzuki, Naoki Journal Article Research Support, Non-U.S. Gov't United States 2004/10/12 *J Orthop Res*. 2004 Nov;22(6):1248-53. doi: 10.1016/j.orthres.2004.03.016., S. 1248–53. ISSN: 0736-0266 (Print) 0736-0266. DOI: 10.1016/j.orthres.2004.03.016.
- [43] R. Narkbunnam und K. Chareancholvanich. "Effect of patient position on measurement of patellar height ratio". In: *Arch Orthop Trauma Surg* 135.8 (2015). 1434-3916 Narkbunnam, Rapeepat Chareancholvanich, Keerati Journal Article Germany 2015/07/04 *Arch Orthop Trauma Surg*. 2015 Aug;135(8):1151-6. doi: 10.1007/s00402-015-2268-9. Epub 2015 Jul 3., S. 1151–6. ISSN: 0936-8051. DOI: 10.1007/s00402-015-2268-9.
- [44] C. K. Yiannakopoulos, E. Mataragas und E. Antonogiannakis. "The effect of quadriceps contraction during weight-bearing on four patellar height indices". In: *J Bone Joint Surg Br* 90.7 (2008). 2044-5377 Yiannakopoulos, C K Mataragas, E Antonogiannakis, E Journal Article England 2008/07/02 *J Bone Joint Surg Br*. 2008 Jul;90(7):870-3. doi: 10.1302/0301-620X.90B7.20111., S. 870–3. ISSN: 0301-620x. DOI: 10.1302/0301-620x.90b7.20111.
- [45] C. Konrads u. a. "Reliability of a Caton-Deschamps-derived patella height index for knee arthroplasty". In: *Int Orthop* 45.8 (2021). 1432-5195 Konrads, Christian Grosse, Lucia C Ahmad, Sufian S Springer, Fabian Schreiner, Anna J Schmidutz, Florian Erne, Felix Journal Article Research Support, Non-U.S. Gov't Germany 2021/01/21 *Int Orthop*. 2021 Aug;45(8):2001-2005. doi: 10.1007/s00264-020-04931-

0. Epub 2021 Jan 20., S. 2001–2005. ISSN: 0341-2695 (Print) 0341-2695. DOI: 10.1007/s00264-020-04931-0.
- [46] J. Caton. “[Method of measuring the height of the patella]”. In: *Acta Orthop Belg* 55.3 (1989). Caton, J Journal Article Belgium 1989/01/01 Acta Orthop Belg. 1989;55(3):385-6., S. 385–6. ISSN: 0001-6462 (Print) 0001-6462.
- [47] B. W. Smith und G. A. Green. “Acute knee injuries: Part I. History and physical examination”. In: *Am Fam Physician* 51.3 (1995). Smith, B W Green, G A Journal Article United States 1995/02/15 Am Fam Physician. 1995 Feb 15;51(3):615-21., S. 615–21. ISSN: 0002-838X (Print) 0002-838x.
- [48] V. Herrlinger. *Taschenbuch der Anatomie 1, , ed. Auflage. , Stuttgart: Fischer., 1971.*
- [49] F.H. Netter. *Atlas der Anatomie des Menschen. Band 1-3. , Italy: Elsevier, Inc., 2003.*
- [50] H. Lippert. *Lehrbuch Anatomie: 184 Tabellen.* München: Elsevier, Urban Fischer., 2018,
- [51] U. Giwnewer u. a. “[TREATMENT FOR OSTEOARTHRITIS OF THE KNEE]”. In: *Harefuah* 155.7 (2016). Giwnewer, Uriel Rubin, Guy Orbach, Hagay Rozen, Nimrod Journal Article Review Systematic Review Israel 2017/05/18 Harefuah. 2016 Jul;155(7):403-406., S. 403–406. ISSN: 0017-7768 (Print) 0017-7768.
- [52] A. FICKLSCHERER. *BASICS Orthopädie und Traumatologie.* UrbanFischer, 2005.
- [53] M. Rabenberg. *Themenheft 54 Ärthrose*”. Generic. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.25646/3166>.

- [54] N. Orlando Júnior, M. G. de Souza Leão und N. H. de Oliveira. "Diagnosis of knee injuries: comparison of the physical examination and magnetic resonance imaging with the findings from arthroscopy". In: *Rev Bras Ortop* 50.6 (2015). 2255-4971 Orlando Júnior, Nilton de Souza Leão, Marcos George de Oliveira, Nelson Henrique Carvalho Journal Article Brazil 2016/05/25 Rev Bras Ortop. 2015 Oct 19;50(6):712-9. doi: 10.1016/j.rboe.2015.10.007. eCollection 2015 Nov-Dec., S. 712-9. ISSN: 2255-4971 (Print) 2255-4971. DOI: 10.1016/j.rboe.2015.10.007.
- [55] J. L. Jackson, P. G. O'Malley und K. Kroenke. "Evaluation of acute knee pain in primary care". In: *Ann Intern Med* 139.7 (2003). 1539-3704 Jackson, Jeffrey L O'Malley, Patrick G Kroenke, Kurt Journal Article Review United States 2003/10/08 Ann Intern Med. 2003 Oct 7;139(7):575-88. doi: 10.7326/0003-4819-139-7-200310070-00010., S. 575-88. ISSN: 0003-4819. DOI: 10.7326/0003-4819-139-7-200310070-00010.
- [56] C. Karrasch und R. A. Gallo. "The acutely injured knee". In: *Med Clin North Am* 98.4 (2014). 1557-9859 Karrasch, Christopher Gallo, Robert A Journal Article Review United States 2014/07/06 Med Clin North Am. 2014 Jul;98(4):719-36, xi. doi: 10.1016/j.mcna.2014.03.002. Epub 2014 Apr 24., S. 719-36, xi. ISSN: 0025-7125. DOI: 10.1016/j.mcna.2014.03.002.
- [57] G. Spahn u. a. "[The prevalence of radiological osteoarthritis in relation to age, gender, birth-year cohort, and ethnic origins]". In: *Z Orthop Unfall* 149.2 (2011). 1864-6743 Spahn, G Schiele, R Hofmann, G O Schiltenwolf, M Grifka, J Vaitl, T Schneider, S Liebers, F Klingger, H M Journal Article Meta-Analysis Germany 2011/01/19 Z Orthop Unfall. 2011 Apr;149(2):145-52. doi: 10.1055/s-0030-1250531.

- Epub 2011 Jan 17., S. 145–52. ISSN: 1864-6697. DOI: 10.1055/s-0030-1250531.
- [58] W. Rössler H. Rüter. *Gonarthrose Orthopädie und Unfallchirurgie, Degenerative Krankheiten des Kniegelenkes*: Urban Fischer, 2005.
- [59] M. C. Hochberg u. a. “Guidelines for the medical management of osteoarthritis. Part II. Osteoarthritis of the knee. American College of Rheumatology”. In: *Arthritis Rheum* 38.11 (1995). Hochberg, M C Altman, R D Brandt, K D Clark, B M Dieppe, P A Griffin, M R Moskowitz, R W Schnitzer, T J Guideline Journal Article Practice Guideline Research Support, Non-U.S. Gov’t United States 1995/11/01 Arthritis Rheum. 1995 Nov;38(11):1541-6. doi: 10.1002/art.1780381104., S. 1541–6. ISSN: 0004-3591 (Print) 0004-3591. DOI: 10.1002/art.1780381104.
- [60] T. Griffin u. a. “Unicompartmental knee arthroplasty for the treatment of unicompartmental osteoarthritis: a systematic study”. In: *ANZ J Surg* 77.4 (2007). Griffin, Tabatha Rowden, Neville Morgan, David Atkinson, Robert Woodruff, Peter Maddern, Guy Journal Article Review Australia 2007/03/29 ANZ J Surg. 2007 Apr;77(4):214-21. doi: 10.1111/j.1445-2197.2007.04021.x., S. 214–21. ISSN: 1445-1433 (Print) 1445-1433. DOI: 10.1111/j.1445-2197.2007.04021.x.
- [61] R. Iorio und W. L. Healy. “Unicompartmental arthritis of the knee”. In: *J Bone Joint Surg Am* 85.7 (2003). Iorio, Richard Healy, William L Journal Article Review United States 2003/07/10 J Bone Joint Surg Am. 2003 Jul;85(7):1351-64. doi: 10.2106/00004623-200307000-00025., S. 1351–64. ISSN: 0021-9355 (Print) 0021-9355. DOI: 10.2106/00004623-200307000-00025.
- [62] D. T. Felson u. a. “Osteoarthritis: new insights. Part 2: treatment approaches”. In: *Ann Intern Med* 133.9 (2000). Felson, D T Lawrence,

R C Hochberg, M C McAlindon, T Dieppe, P A Minor, M A Blair, S N Berman, B M Fries, J F Weinberger, M Lorig, K R Jacobs, J J Goldberg, V Consensus Development Conference Consensus Development Conference, NIH Journal Article Meta-Analysis Research Support, Non-U.S. Gov't Research Support, U.S. Gov't, P.H.S. Review United States 2000/11/14 Ann Intern Med. 2000 Nov 7;133(9):726-37. doi: 10.7326/0003-4819-133-9-200011070-00015., S. 726–37. ISSN: 0003-4819 (Print) 0003-4819. DOI: 10.7326/0003-4819-133-9-200011070-00015.

- [63] A. J. Fox, F. Wanivenhaus und S. A. Rodeo. “The basic science of the patella: structure, composition, and function”. In: *J Knee Surg* 25.2 (2012). Fox, Alice J S Wanivenhaus, Florian Rodeo, Scott A Journal Article Review Germany 2012/08/30 J Knee Surg. 2012 May;25(2):127-41. doi: 10.1055/s-0032-1313741., S. 127–41. ISSN: 1538-8506 (Print) 1538-8506. DOI: 10.1055/s-0032-1313741.
- [64] R. M. Biedert. “Patella Alta: When to Correct and Impact on Other Anatomic Risk Factors for Patellofemoral Instability”. In: *Clin Sports Med* 41.1 (2022). 1556-228x Biedert, Roland M Journal Article Review United States 2021/11/17 Clin Sports Med. 2022 Jan;41(1):65-76. doi: 10.1016/j.csm.2021.07.002., S. 65–76. ISSN: 0278-5919. DOI: 10.1016/j.csm.2021.07.002.
- [65] R. P. Grelsamer und S. Meadows. “The modified Insall-Salvati ratio for assessment of patellar height”. In: *Clin Orthop Relat Res* 282 (1992). Grelsamer, R P Meadows, S Comparative Study Journal Article United States 1992/09/01 Clin Orthop Relat Res. 1992 Sep;(282):170-6., S. 170–6. ISSN: 0009-921X (Print) 0009-921x.
- [66] J. Insall, K. A. Falvo und D. W. Wise. “Chondromalacia Patellae. A prospective study”. In: *J Bone Joint Surg Am* 58.1 (1976). Insall, J

- Falvo, K A Wise, D W Journal Article United States 1976/01/01 J Bone Joint Surg Am. 1976 Jan;58(1):1-8., S. 1–8. ISSN: 0021-9355 (Print) 0021-9355.
- [67] J. Insall, V. Goldberg und E. Salvati. "Recurrent dislocation and the high-riding patella". In: *Clin Orthop Relat Res* 88 (1972). Insall, J Goldberg, V Salvati, E Journal Article United States 1972/01/01 Clin Orthop Relat Res. 1972;88:67-9. doi: 10.1097/00003086-197210000-00012., S. 67–9. ISSN: 0009-921X (Print) 0009-921x. DOI: 10.1097/00003086-197210000-00012.
- [68] U. M. Kujala u. a. "Factors predisposing to patellar chondropathy and patellar apicitis in athletes". In: *Int Orthop* 10.3 (1986). Kujala, U M Osterman, K Kvist, M Aalto, T Friberg, O Comparative Study Journal Article Research Support, Non-U.S. Gov't Germany 1986/01/01 Int Orthop. 1986;10(3):195-200. doi: 10.1007/BF00266208., S. 195–200. ISSN: 0341-2695 (Print) 0341-2695. DOI: 10.1007/bf00266208.
- [69] B. N. Møller, B. Krebs und A. G. Jurik. "Patellofemoral incongruence in chondromalacia and instability of the patella". In: *Acta Orthop Scand* 57.3 (1986). Møller, B N Krebs, B Jurik, A G Journal Article England 1986/06/01 Acta Orthop Scand. 1986 Jun;57(3):232-4. doi: 10.3109/17453678608994384., S. 232–4. ISSN: 0001-6470 (Print) 0001-6470. DOI: 10.3109/17453678608994384.
- [70] M. Flören u. a. "A mini-midvastus capsular approach with patellar displacement decreases the prevalence of patella baja". In: *J Arthroplasty* 22.6 Suppl 2 (2007). Flören, Markus Davis, Jack Peterson, Margaret G E Laskin, Richard S Journal Article United States 2007/10/11 J Arthroplasty. 2007 Sep;22(6 Suppl 2):51-7. doi: 10.1016/j.arth.2007.05.008. Epub 2007 Jul 27., S. 51–7. ISSN: 0883-5403 (Print) 0883-5403. DOI: 10.1016/j.arth.2007.05.008.

- [71] B. N. Robin u. a. "Plateau-patella angle in evaluation of patellar height after total knee arthroplasty". In: *J Arthroplasty* 29.7 (2014). 1532-8406 Robin, Brett N Ellington, Matthew D Jupiter, Daniel C Allen, Bryce C Journal Article United States 2014/03/13 J Arthroplasty. 2014 Jul;29(7):1394-7. doi: 10.1016/j.arth.2014.01.026. Epub 2014 Jan 28., S. 1394–7. ISSN: 0883-5403. DOI: 10.1016/j.arth.2014.01.026.
- [72] R. M. Meneghini u. a. "The effect of the Insall-Salvati ratio on outcome after total knee arthroplasty". In: *J Arthroplasty* 21.6 Suppl 2 (2006). Meneghini, R Michael Ritter, Merrill A Pierson, Jeffery L Meding, John B Berend, Michael E Faris, Philip M Journal Article United States 2006/09/05 J Arthroplasty. 2006 Sep;21(6 Suppl 2):116-20. doi: 10.1016/j.arth.2006.04.014., S. 116–20. ISSN: 0883-5403 (Print) 0883-5403. DOI: 10.1016/j.arth.2006.04.014.
- [73] O. Portner und H. Pakzad. "The evaluation of patellar height: a simple method". In: *J Bone Joint Surg Am* 93.1 (2011). 1535-1386 Portner, Oliver Pakzad, Hossein Journal Article United States 2011/01/07 J Bone Joint Surg Am. 2011 Jan 5;93(1):73-80. doi: 10.2106/JBJS.I.01689., S. 73–80. ISSN: 0021-9355. DOI: 10.2106/jbjs.I.01689.
- [74] J. Brilhault und M. D. Ries. "Measuring patellar height using the lateral active flexion radiograph: Effect of total knee implant design". In: *Knee* 17.2 (2010). 1873-5800 Brilhault, Jean Ries, Michael D Journal Article Netherlands 2009/09/02 Knee. 2010 Mar;17(2):148-51. doi: 10.1016/j.knee.2009.07.008. Epub 2009 Aug 31., S. 148–51. ISSN: 0968-0160. DOI: 10.1016/j.knee.2009.07.008.
- [75] A. E. Weale u. a. "The length of the patellar tendon after unicompartmental and total knee replacement". In: *J Bone Joint Surg Br*

- 81.5 (1999). Weale, A E Murray, D W Newman, J H Ackroyd, C E Clinical Trial Journal Article Randomized Controlled Trial Research Support, Non-U.S. Gov't England 1999/10/26 J Bone Joint Surg Br. 1999 Sep;81(5):790-5. doi: 10.1302/0301-620x.81b5.9590., S. 790–5. ISSN: 0301-620X (Print) 0301-620x. DOI: 10.1302/0301-620x.81b5.9590.
- [76] D. J. Dandy und S. S. Desai. “The results of arthroscopic lateral release of the extensor mechanism for recurrent dislocation of the patella after 8 years”. In: *Arthroscopy* 10.5 (1994). Dandy, D J Desai, S S Journal Article United States 1994/10/01 Arthroscopy. 1994 Oct;10(5):540-5. doi: 10.1016/s0749-8063(05)80010-6., S. 540–5. ISSN: 0749-8063 (Print) 0749-8063. DOI: 10.1016/s0749-8063(05)80010-6.
- [77] B. S. Shaffer und J. E. Tibone. “Patellar tendon length change after anterior cruciate ligament reconstruction using the midthird patellar tendon”. In: *Am J Sports Med* 21.3 (1993). Shaffer, B S Tibone, J E Journal Article United States 1993/05/01 Am J Sports Med. 1993 May-Jun;21(3):449-54. doi: 10.1177/036354659302100321., S. 449–54. ISSN: 0363-5465 (Print) 0363-5465. DOI: 10.1177/036354659302100321.
- [78] R. F. Closkey und R. E. Windsor. “Alterations in the patella after a high tibial or distal femoral osteotomy”. In: *Clin Orthop Relat Res* 389 (2001). Closkey, R F Windsor, R E Journal Article Review United States 2001/08/15 Clin Orthop Relat Res. 2001 Aug;(389):51-6. doi: 10.1097/00003086-200108000-00009., S. 51–6. ISSN: 0009-921X (Print) 0009-921x. DOI: 10.1097/00003086-200108000-00009.
- [79] M. Kar u. a. “Comparative Study on Insall-Salvati Index by Radiological and Clinical Methods in a Tertiary Care Centre of North Bengal,

- India". In: *J Clin Diagn Res* 11.3 (2017). 0973-709x Kar, Maitreyee Bhaumik, Dipankar Deb, Samar Ishore, Kaushik Kar, Chinmaya Journal Article India 2017/05/18 J Clin Diagn Res. 2017 Mar;11(3):AC05-AC07. doi: 10.7860/JCDR/2017/25434.9363. Epub 2017 Mar 1., Ac05-ac07. ISSN: 2249-782X (Print) 0973-709x. DOI: 10.7860/jcdr/2017/25434.9363.
- [80] Y. F. Leung, Y. L. Wai und Y. C. Leung. "Patella alta in southern China. A new method of measurement". In: *Int Orthop* 20.5 (1996). Leung, Y F Wai, Y L Leung, Y C Journal Article Germany 1996/01/01 Int Orthop. 1996;20(5):305-10. doi: 10.1007/s002640050083., S. 305–10. ISSN: 0341-2695 (Print) 0341-2695. DOI: 10.1007/s002640050083.
- [81] A. Jawhar u. a. "Alteration of the patellar height following total knee arthroplasty". In: *Arch Orthop Trauma Surg* 134.1 (2014). 1434-3916 Jawhar, A Sohoni, S Shah, V Scharf, H P Journal Article Germany 2013/11/30 Arch Orthop Trauma Surg. 2014 Jan;134(1):91-7. doi: 10.1007/s00402-013-1896-1. Epub 2013 Nov 28., S. 91–7. ISSN: 0936-8051. DOI: 10.1007/s00402-013-1896-1.
- [82] T. M. Moore und Jr. Harvey J. P. "Roentgenographic measurement of tibial-plateau depression due to fracture". In: *J Bone Joint Surg Am* 56.1 (1974). Moore, T M Harvey, J P Jr Journal Article United States 1974/01/01 J Bone Joint Surg Am. 1974 Jan;56(1):155-60., S. 155–60. ISSN: 0021-9355 (Print) 0021-9355.
- [83] J. Brazier u. a. "[Evaluation of methods for radiographic measurement of the tibial slope. A study of 83 healthy knees]". In: *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 82.3 (1996). Brazier, J Migaud, H Gougeon, F Cotten, A Fontaine, C Duquennoy, A Comparative Study Journal Article France 1996/01/01 Rev Chir Orthop Reparatrice Ap-

- par Mot. 1996;82(3):195-200., S. 195–200. ISSN: 0035-1040 (Print) 0035-1040.
- [84] A. Amendola u. a. “Total knee arthroplasty following high tibial osteotomy for osteoarthritis”. In: *J Arthroplasty* 4 Suppl (1989). Amendola, A Rorabeck, C H Bourne, R B Apyan, P M Journal Article United States 1989/01/01 J Arthroplasty. 1989;4 Suppl:S11-7. doi: 10.1016/s0883-5403(89)80002-6., S11–7. ISSN: 0883-5403 (Print) 0883-5403. DOI: 10.1016/s0883-5403(89)80002-6.
- [85] J. M. Bland und D. G. Altman. “Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement”. In: *Lancet* 1.8476 (1986). Bland, J M Altman, D G Clinical Trial Comparative Study Journal Article Randomized Controlled Trial England 1986/02/08 Lancet. 1986 Feb 8;1(8476):307-10., S. 307–10. ISSN: 0140-6736 (Print) 0140-6736.
- [86] C. L. Phillips u. a. “The measurement of patellar height: a review of the methods of imaging”. In: *J Bone Joint Surg Br* 92.8 (2010). 2044-5377 Phillips, C L Silver, D A T Schranz, P J Mandalia, V Journal Article Review England 2010/08/03 J Bone Joint Surg Br. 2010 Aug;92(8):1045-53. doi: 10.1302/0301-620X.92B8.23794., S. 1045–53. ISSN: 0301-620x. DOI: 10.1302/0301-620x.92b8.23794.
- [87] C. E. Scott u. a. “Predicting dissatisfaction following total knee replacement: a prospective study of 1217 patients”. In: *J Bone Joint Surg Br* 92.9 (2010). 2044-5377 Scott, C E H Howie, C R MacDonald, D Biant, L C Journal Article England 2010/08/28 J Bone Joint Surg Br. 2010 Sep;92(9):1253-8. doi: 10.1302/0301-620X.92B9.24394., S. 1253–8. ISSN: 0301-620x. DOI: 10.1302/0301-620x.92b9.24394.
- [88] M. Plebani und G. Lippi. “Reference values and the journal: why the past is now present”. In: *Clin Chem Lab Med* 50.5 (2012). 1437-4331

- Plebani, Mario Lippi, Giuseppe Editorial Introductory Journal Article Germany 2012/05/26 Clin Chem Lab Med. 2012 May;50(5):761-3. doi: 10.1515/cc1m-2012-0089., S. 761–3. ISSN: 1434-6621. DOI: 10.1515/cc1m-2012-0089.
- [89] F. Figueroa u. a. “Specific considerations in female patients with patellar instability: current concepts”. In: *J isakos* 9.3 (2024). 2059-7762 Figueroa, Francisco Guiloff, Rodrigo Bolton, Sarah Figueroa, David Tapasvi, Sachin Stocker, Esteban Journal Article Review England 2024/04/06 J ISAKOS. 2024 Jun;9(3):457-463. doi: 10.1016/j.jisako.2024.03.014. Epub 2024 Apr 3., S. 457–463. ISSN: 2059-7754. DOI: 10.1016/j.jisako.2024.03.014.
- [90] I. J. Jung u. a. “Population-based, three-dimensional analysis of age- and sex-related femur shaft geometry differences”. In: *Osteoporos Int* 32.8 (2021). 1433-2965 Jung, I J Choi, E J Lee, B G Kim, J W Orcid: 0000-0002-3524-8706 2018R1D1A1B07050224/Ministry of Education/ Journal Article England 2021/01/28 Osteoporos Int. 2021 Aug;32(8):1631-1638. doi: 10.1007/s00198-021-05841-6. Epub 2021 Jan 26., S. 1631–1638. ISSN: 0937-941x. DOI: 10.1007/s00198-021-05841-6.
- [91] M. Frysz u. a. “Sex differences in proximal femur shape: findings from a population-based study in adolescents”. In: *Sci Rep* 10.1 (2020). 2045-2322 Frysz, Monika Gregory, Jennifer Orcid: 0000-0002-6328-4560 Aspden, Richard M Paternoster, Lavinia Orcid: 0000-0003-2514-0889 Tobias, Jonathan H 20244/VAC_/Versus Arthritis/United Kingdom MC_PC_19009/MRC_/Medical Research Council/United Kingdom 20244/ARC_/Arthritis Research UK/United Kingdom MC_PC_15018/MRC_/Medical Research Council/United Kingdom G9815508/MRC_/Medical Research Council/Uni-

- ted Kingdom MC_UU_00011/1/RCUK | Medical Research Council (MRC)/International 105504/Z/14/Z/Wellcome Trust (Wellcome)/International Journal Article Research Support, Non-U.S. Gov't England 2020/03/14 Sci Rep. 2020 Mar 12;10(1):4612. doi: 10.1038/s41598-020-61653-4., S. 4612. ISSN: 2045-2322. DOI: 10.1038/s41598-020-61653-4.
- [92] L. A. B. Wilson u. a. "Sex differences in patellar facet shape among healthy and osteoarthritic cohorts". In: *Osteoarthritis Cartilage* 32.11 (2024). 1522-9653 Wilson, Laura A B Lynch, Joseph T Ménard, Jo M Galvin, Catherine R Smith, Paul N Journal Article England 2024/07/11 Osteoarthritis Cartilage. 2024 Nov;32(11):1433-1442. doi: 10.1016/j.joca.2024.06.018. Epub 2024 Jul 8., S. 1433–1442. ISSN: 1063-4584. DOI: 10.1016/j.joca.2024.06.018.
- [93] S. Ahlbäck und S. Mattsson. "Patella alta and gonarthrosis". In: *Acta Radiol Diagn (Stockh)* 19.4 (1978). Ahlbäck, S Mattsson, S Journal Article Sweden 1978/01/01 Acta Radiol Diagn (Stockh). 1978;19(4):578-84. doi: 10.1177/028418517801900404., S. 578–84. ISSN: 0567-8056 (Print) 0567-8056. DOI: 10.1177/028418517801900404.
- [94] A. E. Rankin, Mathias Bostrom und William; Hozack. "Gender-specific knee replacements: a technology overview". In: *J Am Acad Orthop Surg* 16.2 (2008). American Academy of Orthopaedic Surgeons Journal Article Review United States 2008/02/07 J Am Acad Orthop Surg. 2008 Feb;16(2):63-7., S. 63–67. ISSN: 1067-151X (Print) 1067-151x.
- [95] H. Ma und D. Zhou. "[Effects of varus of knee osteoarthritis on patellar position]". In: *Zhonghua Yi Xue Za Zhi* 94.15 (2014). Ma, Hongliang Zhou, Diange Journal Article China 2014/06/14 Zhonghua Yi Xue Za

- Zhi. 2014 Apr 22;94(15):1176-8., S. 1176–8. ISSN: 0376-2491 (Print) 0376-2491.
- [96] G. Aparicio u. a. “Patellar height ratios in children: an interobserver study of three methods”. In: *J Pediatr Orthop B* 8.1 (1999). Aparicio, G Abril, J C Albiñana, J Rodríguez-Salvanés, F Clinical Trial Comparative Study Journal Article United States 2000/03/10 J Pediatr Orthop B. 1999 Jan;8(1):29-32., S. 29–32. ISSN: 1060-152X (Print) 1060-152x.
- [97] A. P. Apostolopoulos u. a. “Patella Height in Different Ethnic Populations: An Observational Multicenter Study”. In: *J Long Term Eff Med Implants* 29.3 (2019). 1940-4379 Apostolopoulos, Alexandros P Najim, Wissam Suhail Fanous, Rafik Balfousias, Theodore Angelis, Stavros Zoumboulis, George Saavedra, Enrique Zafiroopoulos, George Journal Article Multicenter Study Observational Study United States 2019/01/01 J Long Term Eff Med Implants. 2019;29(3):169-173. doi: 10.1615/JLongTermEffMedImplants.2019032873., S. 169–173. ISSN: 1050-6934. DOI: 10.1615/JLongTermEffMedImplants.2019032873.
- [98] H. P. van Jonbergen u. a. “Determinants of anterior knee pain following total knee replacement: a systematic review”. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22.3 (2014). 1433-7347 van Jonbergen, Hans-Peter W Reuver, Joost M Mutsaerts, Eduard L Poolman, Rudolf W Journal Article Review Systematic Review Germany 2012/11/20 Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2014 Mar;22(3):478-99. doi: 10.1007/s00167-012-2294-x. Epub 2012 Nov 18., S. 478–99. ISSN: 0942-2056. DOI: 10.1007/s00167-012-2294-x.
- [99] R. Gandhi u. a. “Predictive risk factors for stiff knees in total knee arthroplasty”. In: *J Arthroplasty* 21.1 (2006). Gandhi, Rajiv de Beer,

- Justin Leone, James Petruccelli, Danielle Winemaker, Mitchell Adili, Anthony Journal Article United States 2006/02/01 J Arthroplasty. 2006 Jan;21(1):46-52. doi: 10.1016/j.arth.2005.06.004., S. 46–52. ISSN: 0883-5403 (Print) 0883-5403. DOI: 10.1016/j.arth.2005.06.004.
- [100] M. Thaunat und P. J. Erasmus. “Recurrent patellar dislocation after medial patellofemoral ligament reconstruction”. In: *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 16.1 (2008). Thaunat, Mathieu Erasmus, Pieter J Case Reports Journal Article Germany 2007/11/02 Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2008 Jan;16(1):40-3. doi: 10.1007/s00167-007-0418-5. Epub 2007 Nov 1., S. 40–3. ISSN: 0942-2056 (Print) 0942-2056. DOI: 10.1007/s00167-007-0418-5.
- [101] J. L. Prudhon u. a. “How is patella height modified after total knee arthroplasty?” In: *Int Orthop* 42.2 (2018). 1432-5195 Prudhon, Jean Louis Orcid: 0000-0001-6413-6749 Caton, Jacques H Aslani-an, Thierry Verdier, Régis Journal Article Germany 2017/07/09 Int Orthop. 2018 Feb;42(2):311-316. doi: 10.1007/s00264-017-3539-6. Epub 2017 Jul 7., S. 311–316. ISSN: 0341-2695. DOI: 10.1007/s00264-017-3539-6.
- [102] T. Tischer u. a. “Patella height influences patellofemoral contact and kinematics following cruciate-retaining total knee replacement”. In: *J Orthop Res* 41.4 (2023). 1554-527x Tischer, Thomas Geier, Andreas Lutter, Christoph Enz, Andreas Bader, Rainer Keibach, Maeruan Orcid: 0000-0001-9564-7963 Journal Article Research Support, Non-U.S. Gov’t United States 2022/08/12 J Orthop Res. 2023 Apr;41(4):793-802. doi: 10.1002/jor.25425. Epub 2022 Aug 27., S. 793–802. ISSN: 0736-0266. DOI: 10.1002/jor.25425.

- [103] B. H. Hwang u. a. "Patellar Impingement on Tibial Polyethylene after Primary Total Knee Arthroplasty without Patellar Resurfacing". In: *J Knee Surg* 34.3 (2021). 1938-2480 Hwang, Bo-Hyun Jung, Kwang-Am Ong, Alvin Ahn, Hye-Sun Moon, Seong-Hwan Lee, Su-Chan Journal Article Germany 2019/08/31 *J Knee Surg*. 2021 Feb;34(3):280-286. doi: 10.1055/s-0039-1695704. Epub 2019 Aug 30., S. 280–286. ISSN: 1538-8506. DOI: 10.1055/s-0039-1695704.

7. Erklärung zum Eigenanteil

Der in dieser Arbeit vorgestellte Forschungsbeitrag wurde durch Herrn Prof. Dr. med Ihle betreut und in Zusammenarbeit mit dem Autor konzipiert. Die Datenerhebung, inklusive Messungen wurde vom Autor persönlich durchgeführt. Die statistische Auswertung der Daten mittels SPSS und R erfolgte selbstständig unter beratender Funktion von Yvonne Y. Feng aus dem Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie Tübingen und technischer Unterstützung durch Leon van Ess. Die Interpretation der Ergebnisse und deren Diskussion im Kontext der aktuellen Literatur wurden vom Autor ohne direkte Unterstützung anderer Wissenschaftler vorgenommen. Die gesamte schriftliche Ausarbeitung der Dissertation wurde eigenständig vom Autor verfasst. Röntgenbilder aus der BG Unfallklinik Tübingen wurden vom Autor anonymisiert. Beiträge Dritter werden in den jeweiligen Kapiteln der Arbeit entsprechend gewürdigt.

Tübingen, den 28.11.2025

Christoph Michael Paquet

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Personen meinen aufrichtigen Dank aussprechen, die zum Gelingen dieser Doktorarbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt zunächst meinem Doktorvater, Prof. Dr. med. Christoph Ihle, für seine fortwährende Unterstützung, seine wertvollen Ratschläge und die wissenschaftliche Freiheit, die er mir während meiner Promotionszeit gewährt hat.

Ebenso möchte ich PD Dr. med Marc Ahrend, herzlich danken, der mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand und mich sowohl fachlich als auch persönlich gefördert hat.

Mein Dank gilt Frau You-Shang Feng vom „Institut für Klinische Epidemiologie und Angewandte Biometrie“ des Universitätsklinikums Tübingen für ihre herausragende medizinisch statistische Beratung.

Ein ganz besonderer Dank geht an meine Brüder, Dr. med Dennis Paquet und Dr. med Patrick Paquet. Ihre ständige Unterstützung, ihre Motivation und ihr Glaube an mich haben mir in schwierigen Momenten stets den nötigen Halt gegeben. Ohne euch wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Mein Dank gilt auch Leon van Ess und Anne Thaler, die mich während meiner Arbeit in vielfältiger Weise unterstützt haben. Sei es durch fachlichen Rat, motivierende Gespräche oder tatkräftige Hilfe – ich bin euch beiden zutiefst dankbar.

Ich bedanke mich bei meiner Mutter, Renita Prieß, sie war immer eine wichtige Stütze und hat mir durch ihre Fürsorge und Ermutigung den nötigen Rückhalt gegeben

Zuletzt möchte ich meinem Vater, Dr. med Willi Paquet danken. Durch seine

bedingungslose Unterstützung und sein Vertrauen in mich habe ich die Kraft und Ausdauer gefunden, dieses Projekt erfolgreich abzuschließen. Er hat mir stets den Rücken gestärkt und mir gezeigt, wie wichtig es ist, an seinen Zielen festzuhalten.

Allen, die mich auf diesem Weg begleitet und unterstützt haben, gilt mein herzlicher Dank.

Lebenslauf

[Redacted]

[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]
[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

[Redacted]