

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

**Einfluss der Patellahöhe auf die klinischen Ergebnisse nach
Knieendoprothesenimplantation**

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

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

vorgelegt von

Rejaibia, Jesin

2022

Dekan: Professor Dr. B. Pichler

1. Berichterstatter: Privatdozent Dr. C. Konrads

2. Berichterstatter: Professor Dr. U. K. Hofmann

Tag der Disputation: 13.04.2021

Meiner Familie

Danke

Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung.....	1
1.1	Grundlagen	1
1.1.1	Anatomie und Biomechanik des Kniegelenks.....	1
1.1.2	Arthrose des Kniegelenks.....	5
1.1.3	Knieendoprothetik	7
1.2	Ziel der Studie	11
1.2.1	Der vordere Knieschmerz.....	11
1.2.2	Das Problem der Patellahöhenmessung mit radiologischen Indizes	12
1.2.3	Fragestellung	14
2	Material und Methoden	16
2.1	Studiendesign und Patientenkollektiv	16
2.2	Operation.....	18
2.3	Postoperative Nachbehandlung	20
2.4	Klinische Nachuntersuchung.....	21
2.4.1	Anamnese	21
2.4.2	Körperliche Untersuchung.....	21
2.4.3	Fragebögen	22
2.4.4	Radiologische Untersuchung.....	25
2.4.5	Statistik.....	31
3	Ergebnisse.....	35
3.1	Radiologische Bestimmung der Patellahöhe.....	35
3.2	Einteilung in Gruppen anhand der Patellahöhe.....	37

3.3	Fragebögen	40
3.3.1	Oxford Knee Score (OKS)	40
3.3.2	Knee Society Score (KSS).....	41
3.3.3	Modifizierter Lysholm-Score und Tegner-Aktivitätsscore	42
3.3.4	Short Form-36 Health Survey (SF-36)	44
3.3.5	Kujala Anterior Knee Pain Scale.....	47
3.4	Anamnese	48
3.5	Klinische Ergebnisse	49
3.5.1	Schmerzen	49
3.5.2	Stabilität des Kniegelenks	50
3.5.3	Bewegungsausmaß des Kniegelenks.....	51
4	Diskussion.....	59
4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	59
4.2	Die echte tiefstehende Patella „True Patella Infera (TPI)“	61
4.3	Die relativ tiefstehende Patella „Pseudo Patella infera (PPI)“	63
4.4	Die femorotibiale Gelenklinie und ihre biomechanische Bedeutung.....	65
4.5	Bewertung der Studienergebnisse	68
4.6	Fazit.....	71
4.7	Ausblick.....	72
5	Zusammenfassung.....	74
6	Abbildungsverzeichnis	76
7	Tabellenverzeichnis.....	79
8	Anhangsverzeichnis.....	81

9	Literaturverzeichnis.....	82
10	Erklärung zum Eigenanteil	90
11	Veröffentlichungen.....	91
12	Anhang	92
13	Danksagung	108

Abkürzungsverzeichnis

AKP	Anterior Knee Pain; vorderer Knie Schmerz
AM	Arithmetischer Mittelwert
BPI	Blackburne-Peel-Index
CDI	Caton-Deschamps-Index
dCDI	derived Caton-Deschamps-Index
ISI	Insall-Salvati-Index
Knie-TEP	Knietotalendoprothese
KSS	Knee Society Score
LP	Length of patella; Patellalänge
LT	Length of tendon; Sehnenlänge
Mdn	Median
mISI	Modifizierter Insall-Salvati-Index
OKS	Oxford Knee Score
PPI	Pseudo Patella infera/baja
ROM	Range of Motion; Bewegungsamplitude
SD	Standardabweichung
SF-36	Short Form-36 Health Survey
TPI	True Patella infera/baja
WOMAC	Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index

1 Einleitung

1.1 Grundlagen

1.1.1 Anatomie und Biomechanik des Kniegelenks

Das Kniegelenk ist das größte Gelenk des menschlichen Körpers und stellt als Verbindungsstück zwischen Femur und Tibia eine Sonderform des Drehscharniergelenks dar. Das distale Femur besteht aus zwei kufenartigen Kondylen, zwischen denen die Fossa intercondylaris liegt. Das Tibiaplateau wird ebenfalls von zwei Kondylen gebildet, die selbst aber keine gute Gelenkfläche für das Femur darstellt. Erst durch die zwei C- bzw. halbmondförmigen Menisken aus Faserknorpel entsteht ein passender pfannenartiger Gelenkpartner für das distale Femur [67]. Die Gelenkfläche der Tibia ist etwa 3-8° nach hinten geneigt (posteriorer slope) [83]. Dieser slope wirkt agonistisch zum hinteren Kreuzband. Die Gelenkflächen von Tibia und Femur sind mit hyalinem Knorpel bedeckt.

Im Kniegelenk selbst werden zwei Gelenke unterschieden. Das Gelenk zwischen Femur und Tibia (Articulatio femorotibialis) und das Gelenk zwischen Kniescheibe (Patella) und Femur (Articulatio femoropatellaris).

Die Patella gleitet in einer Art Rinne im Femur, der Trochlea ossis femoris. Bei Extension des Kniegelenks liegt die Patella leicht oberhalb dieser Rinne und bei Flexion fest in ihr. Als größtes Sesambein des Körpers ist sie in der Patellasehne (Ligamentum patellae) eingebettet. Diese beginnt in der Ansatzsehne des M. quadriceps femoris und endet unterhalb des Kniegelenks an der Tuberositas tibiae. Die Patella dient als Verlängerung des Hebelarms und somit des Drehmoments des M. quadriceps. Die Patella dient außerdem als Führung der Sehne über das Kniegelenk hinweg und verringert dessen Widerstand [102]. Abb. 1 und 2 illustriert die Anatomie des Kniegelenks.

1 Einleitung

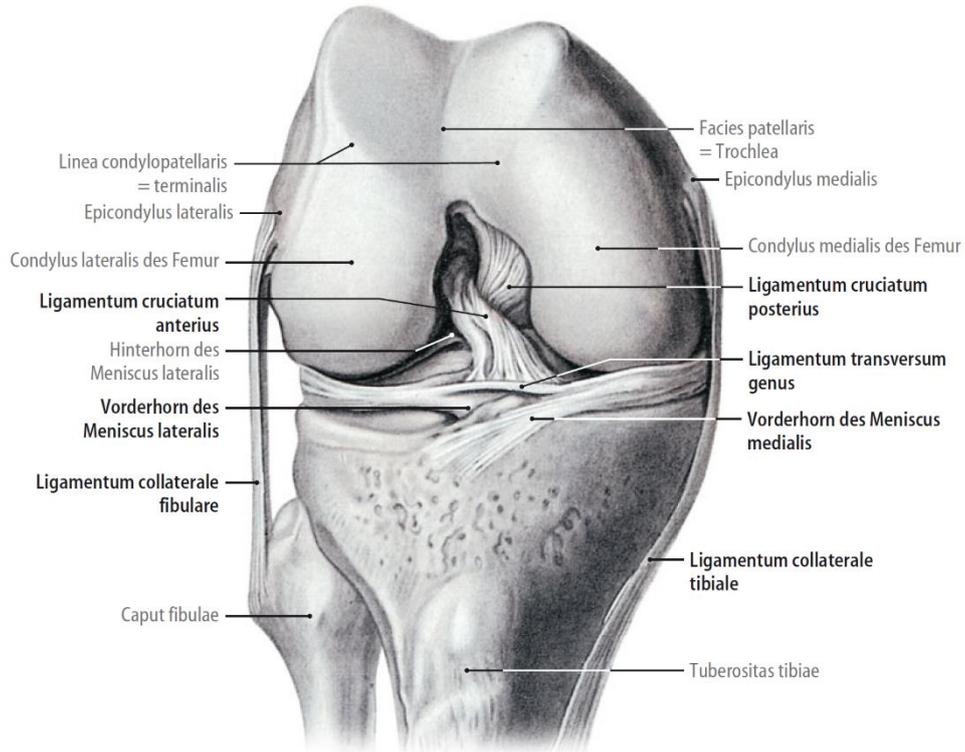


Abbildung 1: Anatomie des rechten Kniegelenks mit Ansicht von anterior [83]. (Abb. mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlags)

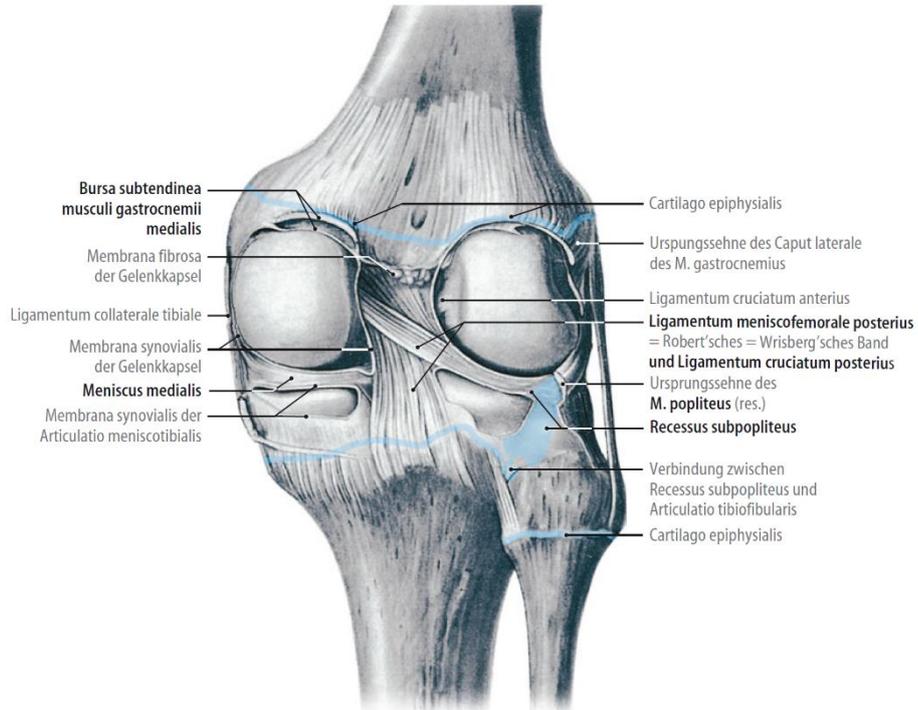


Abbildung 2: Anatomie des rechten Kniegelenks mit Ansicht von posterior [83]. (Abb. mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlags)

Aufgrund der Inkongruenz zwischen Femur und Tibia dienen die im Querschnitt keilförmigen Menisken als Ausgleich und Dämpfer (siehe Abb. 3). Außerhalb dieser Strukturen wird das Kniegelenk von einem Kapselapparat und Bändern stabilisiert.

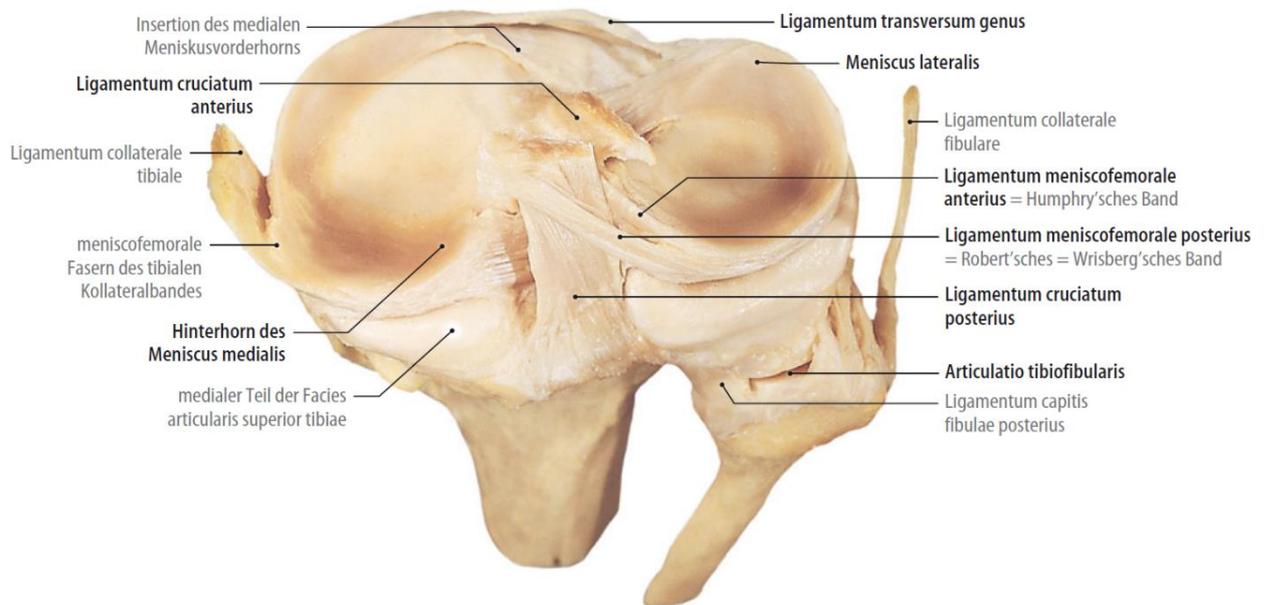


Abbildung 3: Tibiaplateau mit aufliegenden Menisken sowie Anheftungsstellen von Menisken und Kreuzbändern [83]. (Abb. mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlags)

Auf beiden Seiten gibt es Kollateralbänder, das Ligamentum collaterale mediale und laterale, die am jeweiligen Epikondylus femoris entspringen und medial an der Tibia und lateral am Fibulaköpfchen inserieren (siehe Abb. 1). Das mediale Kollateralband ist mit dem medialen Meniskus verwachsen. Durch ihre mediolaterale Stabilisierung schützen diese Bänder das Kniegelenk vor Valgus- und Varus-Stress [99].

Auch die Kreuzbänder (Lig. Cruciatum anterius und posterius) stabilisieren das Kniegelenk bei Vor- und Rückschub des Tibiakopfes sowie bei Rotationsbewegungen. Die Kreuzbänder entspringen an der Innenfläche der jeweiligen Femurkondyle und inserieren am Tibiaplateau an der entsprechenden Eminentia intercondylaris [99].

Flexion/Extension und Innenrotation/Außenrotation sind die Hauptfreiheitsgrade des Kniegelenks. Die Extension des Kniegelenks bis etwa 5-10° und die Flexion des Kniegelenks bis etwa 160° ist eine Kombination aus Roll- und Gleitbewegungen [61]. Bei maximaler Extension des Gelenks kommt es zu einer sogenannten Schlussrotation,

wobei der Unterschenkel etwas nach außen rotiert. Der Kondylenradius selbst nimmt nach dorsal ab, sodass es bei Flexion zu einer Annäherung der Achse zum Tibiaplateau kommt und sich die vorher straffen Bänder etwas lockern [61, 91]. Rotation ist dadurch nur in flektiertem Kniegelenk möglich. Während die ersten 20° der Beugung eine Rollbewegung darstellen, bei der es zu einer automatischen Innenrotation kommt, überwiegt in der restlichen Beugung die Gleitbewegung. Im 90° gebeugten Kniegelenk kann der Unterschenkel durch die etwas gelockerten Kollateralbänder und Kreuzbänder bis 10° nach innen und 40° nach außen rotieren.

Begrenzt wird das Gelenk von einer bindegewebigen Kapsel. Die Innenhaut dieser Kapsel, die Membrana synovialis, bildet auch die gleichnamige Synovialflüssigkeit. Diese Flüssigkeit dient neben der Ernährung des hyalinen Gelenkknorpels hauptsächlich als Gleitmittel im Gelenk. Die Synovialflüssigkeit reichert sich im hyalinen Knorpel an und wird je nach Be- oder Entlastung des Gelenks aufgenommen oder abgegeben. Als Dialysat des Blutplasmas ist die Synovialflüssigkeit in gesundem Zustand etwas gelblich, viskös und klar. Für die Viskosität ist vor allem Hyaluronsäure zuständig, die zum größten Teil aus Zellen der Membrana synovialis stammt. Auch für Kniegelenke nach Prothesenimplantation ist eine funktionierende Synovialflüssigkeit äußerst wichtig.

Durch die biomechanisch komplexe Abfolge der Bewegungsabläufe im Kniegelenk, die ein Wechselspiel zwischen Stabilität und Bewegung voraussetzt, ist ein funktionierendes System aus passiven und aktiven Strukturen notwendig. Während die Kapsel- und Bandstrukturen überwiegend passiv schützen, sind für den aktiven Schutz des Kniegelenkes hauptsächlich Muskeln verantwortlich. Diese Muskeln können das Gelenk willkürlich wie auch unwillkürlich vor Schub- und Scherkräften schützen.

Zusätzlich bewegen die Muskeln das Kniegelenk. Für die Streckung ist der M. quadriceps mit seinen vier Anteilen, den Mm. vastus medialis, lateralis, intermedius und dem M. rectus femoris verantwortlich. Dieser ist über die Patella und ihre Patellasehne mit der Tibia verbunden. Die Zugrichtung bildet durch die leichte Valgusstellung des Oberschenkels zur mechanischen Achse den sogenannte Q-Winkel. Der Q-Winkel ist der Winkel zwischen der Linie von Spina iliaca anterior superior zum Patellazentrum und der Linie vom Patellazentrum zur Tuberositas tibiae [14]. Durch den Q-Winkel wirkt eine

nach lateral wirkende Kraft auf die Patella, die gleichzeitig auch Femur und Tibia aneinander presst [4]. M. biceps femoris (lateral), M. semitendinosus, M. gracilis, M. sartorius und M. semimembranosus beugen als ischiokrurale Muskeln das Kniegelenk. M. semitendinosus, M. gracilis und M. sartorius bilden mit ihrem sehnigen Ansatz das Pes anserinus superficialis medial und etwas distal der Tuberositas tibiae. Der M. biceps femoris zählt zusammen mit dem M. tensor fasciae latae auch zu den Außenrotatoren im Kniegelenk. Der M. tensor fasciae latae dient nur im bereits flektierten Gelenk zusätzlich als Beuger und Außenrotator. Zu den Innenrotatoren zählen M. sartorius, M. gracilis, M. semitendinosus, M. semimembranosus und der M. popliteus [99].

Die in Streckstellung auf zwei Beinen wirkende Kraft ist eine axial wirkende Druckkraft, die im Normalfall durch das Zentrum des Kniegelenks zieht (4-8 mm medial). Diese physiologische Traglinie, auch mechanische Beinachse oder Mikulicz-Linie genannt, verläuft durch den Mittelpunkt des Hüftkopfes, des Kniegelenks und des oberen Sprunggelenks. Weicht das Kniegelenk von dieser Linie nach lateral oder medial ab, spricht man von einem Genu varum bzw. Genu valgum [64].

1.1.2 Arthrose des Kniegelenks

Zu einer Arthrose des Kniegelenks, auch Gonarthrose genannt, zählen alle degenerativen nicht entzündlichen Erkrankungen des Kniegelenks, die zu einer fortschreitenden Zerstörung des Gelenkknorpels und seinen zugehörigen Strukturen wie Knochen, Kapsel und periartikuläre Muskulatur führen [23]. Die Prävalenz der Gonarthrose wird bei über 60-jährigen zwischen 27% und 90% angegeben und ist damit eine der häufigsten Gelenkerkrankungen im höheren Lebensalter [23, 58].

Man unterscheidet eine primäre von einer sekundären Gonarthrose. Die primäre Arthrose wird auch idiopathische Arthrose genannt und geht mit einem qualitativ minderwertigem Knorpelgewebe einher. Die genaue Ursache ist noch nicht genau bekannt. Diskutiert werden aber Veränderungen der Chondrozyten mit Produktion von minderwertigem Kollagen und Proteinase, die zum Abbau der Grundsubstanz beitragen [70]. Die sekundäre Arthrose ist die Folge von Gelenkfehlstellungen, Traumata,

Stoffwechselerkrankungen, Überlastungen oder entzündlichen Prozessen [39]. Neben der Achsfehlstellung und der ligamentären Kniegelenkinstabilität sind ein hohes Alter, aber auch ein erhöhtes Körpergewicht Risikofaktoren für die Entstehung einer Gonarthrose. Somit erhöht sich die Prävalenz in der Gesamtbevölkerung auch mit der zunehmenden Lebenserwartung. Dennoch sind neben der alterskorrelierenden Degeneration der Menisken und des Knorpels auch äußere Einflüsse, wie belastende Sportarten oder besonders belastende Berufe, ein Risikofaktor [23].

Im Kniegelenk unterscheidet man nach Lokalisation des Gelenkflächenverschleißes zwischen einer Retropatellararthrose, einer medialen Gonarthrose bei Arthrose im medialen Kompartiment des femorotibialen Gelenks und einer lateralen Gonarthrose bei einer Arthrose des lateralen femorotibialen Gelenkkompartiments. Bei gleichzeitiger Valgusstellung der Beinachse spricht man bei einer lateralen Gonarthrose auch von einer Valgus-Gonarthrose und bei einer varischen Beinachse bei einer medialen Gonarthrose von einer Varus-Gonarthrose. Bei der sog. Pangonarthrose sind alle drei Kompartimente betroffen [2].

Patienten mit einer Gonarthrose klagen vor allem über Schmerzen bei Belastung und in fortgeschrittenem Stadium auch über Ruheschmerz. Je nach Fortschreiten der Gonarthrose kommt es häufiger zu Kniegelenkergüssen und Schonhaltung des betroffenen Kniegelenks.

Der Verlauf der Degeneration kann nach Kellgren und Lawrence radiologisch in vier Stadien eingeteilt werden [50]. Dieser Verlauf ähnelt auch dem Verlauf der Pathogenese, ist aber durch einen fließenden Übergang nur schwer von dieser zu differenzieren. Anfänglich sind Veränderungen des subchondralen Knochens mit Sklerose und dann eine Gelenkspaltverschmälerung durch Abnahme der Knorpelsubstanz zu beobachten. Es kommt zur Bildung von Osteophyten. Bei stark fortschreitendem Krankheitsverlauf kommt es nicht selten zu Zysten im subchondralen Knochen (Geröllzysten), bis im Endstadium sogar eine vollständige knöcherne Einsteifung (Ankylose) des Gelenks möglich ist. Die irreversible Schädigung des Gelenks führt im fortschreitenden Prozess zu Gelenkdeformierungen (Arthrosis deformans). Begleitend findet man regelhaft eine Bewegungseinschränkung, in vielen Fällen auch eine zunehmende Achsdeformität.

Konservative Therapien beinhalten lokale sowie systemische Analgetika, Antiphlogistika, physikalische Therapien, Thermotherapien und Elektrotherapien. Auch Medikamente zur Verbesserung der Durchblutung und des Knorpelstoffwechsels wie beispielsweise Hyaluronsäure werden seit vielen Jahren verabreicht. Diese Verfahren dienen oft nur der kurzzeitigen Linderung der Symptome und so bleibt bei starken Gelenkdestruktionen häufig nur eine operative Therapie als Alternative [23].

Zu den kleineren operativen Verfahren zählt arthroskopische Adressierung von mechanisch störenden Meniskusrissen [7, 47, 68]. Zu den größeren Operationen zählen eine Umstellungsosteotomie zur Korrektur von Fehlstellungen der Achse und die Implantation einer Kniegelenkendoprothese als künstlicher Ersatz der verschlissenen Gelenkflächen [90].

1.1.3 Knieendoprothetik

1.1.3.1 Entwicklung der Knieendoprothetik

Die ersten Überlieferungen von Prothesen der Gliedmaßen gab es schon 2000 v. Chr. Im Jahre 2000 beschrieb Nerlich et al. im Lancet eine hölzerne Prothese der Großzehe einer ägyptischen Frau aus dem Jahr 1000 v. Chr. [62]. Auch in Indien sollten bereits 1500 v. Chr. künstliche Prothesen der Beine, Augen oder Zähne verpflanzt worden sein [71]. Im Mittelalter wurde hauptsächlich Holz und Eisen als Materialien für künstliche Gliedmaßen verwendet.

Der Ersatz eines Kniegelenks wurde erstmal in Berlin vom Chirurgen Themistokles Gluck im Jahre 1890 durchgeführt. Er implantierte einem Patienten mit tuberkulöser Gonarthrit eine Scharnierprothese aus Elfenbein (siehe Abb. 4). Als Verbindung zum Knochen wurde Kolophoniumharz, als Produkt eines Baumharzes, und Gips genutzt [33, 73]. Gluck galt dadurch als Erfinder des ersten künstlichen Kniegelenkersatzes, auch wenn das Bein später aufgrund einer Infektion amputiert werden musste [33, 98].

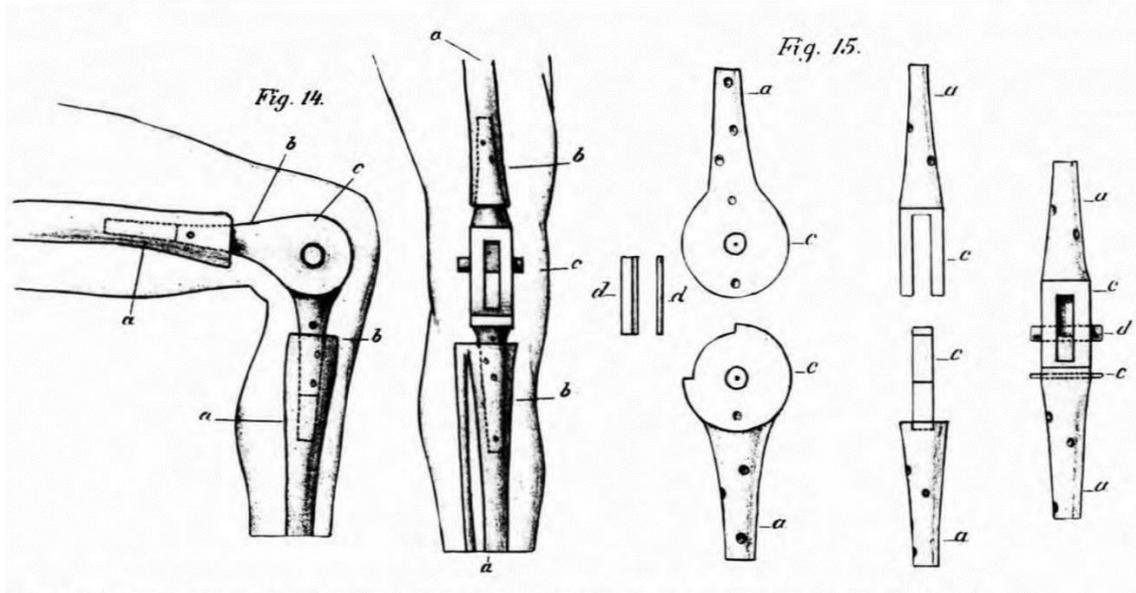


Abbildung 4: Kniescharnierapparat nach Gluck (Fotomontage von Wessinghage 1991) [98].

Viele Modelle einer Scharnierendoprothese für den Ersatz eines Kniegelenks folgten, unter anderem von Walldius 1951 aus Acrylharz [92, 93]. Diese Modelle hatten gemeinsam, dass sie nur eine Flexion und Extension im Kniegelenk erlaubten und dadurch den Rotationsbewegungen, die für den physiologischen Bewegungsablauf nötig waren, nicht lange standhielten. Diese Prothesenmodelle zeigten dadurch im Verlauf eine hohe Komplikationsrate und führten oft zu aseptischen Lockerungen [45]. Es musste ein neues Modell für den Ersatz des Kniegelenks entwickelt werden.

Die ersten Prothesen ohne großförmige Achse wurden im Jahre 1966 von Gunston entwickelt und mit Zement implantiert. Seine Prothesen aus Metall und Plastik sollten einen physiologischen Ablauf des Kniegelenks simulieren. Dafür wurden die meisten Bänder im Gelenk erhalten [37]. Diese Prothesen waren teilgekoppelt und der Beginn der Entwicklung von oberflächenersetzenden Knieprothesen.

Einen weiteren Schritt in dem Versuch, eine möglichst anatomische Knieprothese zu entwickeln, unternahmen Goodfellow und O'Connor im Jahre 1978. Mit einer Doppelschlittenprothese und der Intention, sich einem physiologischem Bewegungsablauf anzunähern, wurde der Bandapparat idealerweise erhalten [34].

Den Prothesentypen von heute wohl am ähnlichsten sind die 1985 von Insall et al. publizierten Oberflächen Ersatzmodelle [43]. Diese bestanden schon wie heute aus drei Komponenten. Ein Femurteil, dessen Kondylenform der anatomischen Form entspricht, einer Tibiakomponente, die zusätzlich mit einem Schaft verankert war und darauf ein passend zur Femurkondyle konkav geformtes Kunststoffplateau (siehe Abb. 5).



Abbildung 5: Knieprothesenmodelle der Firma Aesculap®; Links die drei Komponenten einer e.motion Prothese mit Femurkomponente, Polyethylen-Inlay und Tibiaplateau mit Verankerungsschaft; Rechts ein Beispiel des Typ Columbus® für die moderne Standardversorgung wie sie auch in dieser Studie verwendet wurde. (Abb. mit freundlicher Genehmigung der © B. Braun Melsungen AG)

Bis zum heutigen Zeitpunkt werden immer neue Modelle und Techniken für die Implantation entwickelt. Mit knochenparenden zementlosen Operationstechniken und einer Vielzahl an unterschiedlichen Modelltypen gibt es heute für jedes Kniegelenk das passende Implantat.

Auch für den Fall einer Revision gibt es für jedes Modell bestimmte Revisionsysteme, um auch bei einem Wechsel des Implantats das restliche Kniegelenk zu schonen und eine gute Funktionsfähigkeit des Kniegelenks für den Patienten wiederherzustellen.

1.1.3.2 Prothesenmodelle

Man unterscheidet zwischen unikondylären Prothesen und bikondylären Totalendoprothesen. Totalendoprothesen werden nach internationaler Norm (ISO 7207-1: 2007) in vollgekoppelte, teilgekoppelte und ungekoppelte Knie-Totalendoprothesen (Knie-TEP) unterschieden.

Unikondyläre Endoprothesen, auch Schlittenprothesen genannt, ersetzen nur den medialen oder selten auch nur den lateralen Teil der Oberfläche des Femorotibialgelenks. Diese Prothese wird nur implantiert, sollte die nicht erkrankte Seite des Gelenks frei von Arthrose sein. Darüber hinaus müssen die Ligamente intakt sein und es darf keine starke Achsdeviation vorliegen. Die Operation ist weniger belastend für den Patienten und es kann mehr eigenes Knochengewebe erhalten bleiben. Diese Prothesen sind ungekoppelt [45].

Bikondyläre Endoprothesen ersetzen die Gelenkflächen des medialen und des lateralen Kniekompartiments und werden auch Totalendoprothesen genannt. Die Bandstrukturen müssen größtenteils erhalten bleiben, weil ein zu lockeres Bindegewebe zu einem erhöhten Abrieb des Inlays führt und es durch die erhöhten Scherkräfte häufiger zu aseptischen Lockerungen der Prothese kommt. Aber auch ein zu fester Bandapparat ist kontraproduktiv und führt postoperativ zu Bewegungseinschränkungen. Bei den meisten Operationstechniken wird das vordere Kreuzband entfernt und das hintere Kreuzband kann je nach Prothesenmodell erhalten bleiben, wie auch bei den Prothesentypen dieser Studie. Diese Prothesen sind ebenfalls ungekoppelt und machen über 60% der in Deutschland implantierten Prothesenmodelle aus [45].

Sollte das hintere Kreuzband doch entfernt, oder bereits präoperativ geschädigt worden sein, gibt es die Prothesenmodelle auch als eine posterior stabilisierende Variante mit

einem Zapfen auf dem Tibiaplateau. Diese Modelle gehören nach internationaler Norm zu den teilgekoppelten Knieendoprothesen.

Sollte die Patella Symptome bereiten und/oder an ihrer Rückfläche radiologisch fortgeschrittene Arthrosezeichen vorliegen, ist ein Ersatz der Patellarückfläche möglich.

Gekoppelte oder achsgeführte Endoprothesen werden heute nur noch bei bestimmten Indikationen verwendet. Die Implantate sind hier größer. Wenn die Bandstruktur des Kniegelenks keine Stabilität mehr aufweist, kann die achsgeführte Prothese verwendet werden. Außerdem wird dieses Modell bei Rheumatikern, bei sehr starken Achsabweichungen, starken Knochendefekten oder Revisionseingriffen verwendet. Durch den Mangel an Rotation zwischen Ober- und Unterschenkel kommt es bei achsgeführten Knieendoprothesen früher zu aseptischen Prothesenlockerungen. Außerdem haben Patienten mit diesem Endoprothesentyp häufiger Probleme mit der Patella und eine erhöhte Infektionsrate [25].

1.2 Ziel der Studie

Über viele Jahre ist die Erstimplantation von Kniegelenktotalendoprothesen stetig angestiegen und momentan auf hohem Niveau konstant. [97]. Die Patientenzufriedenheit nach erfolgter Erstimplantation variiert zwischen 75 und 89%. Jedoch steigt die Zahl an Revisions- und Wechseloperationen weiter an [65].

1.2.1 Der vordere Knieschmerz

Eine bekannte Komplikation im Bereich des patellofemorales Gelenks ist der sogenannte „vordere Kniegelenkschmerz“ (Anterior knee pain, AKP) [95]. Die Inzidenz des „vorderen Knieschmerzes“ nach Knieprothesen-Implantation beläuft sich laut Literatur zwischen 4 und 49% [86]. Gründe für die Symptomatik des Schmerzes sind oft multifaktoriell.

Grob kann die Problematik in eine funktionelle und eine strukturelle Gruppe eingeteilt werden.

Beispiele für funktionelle Gründe [65]:

- Muskelschwäche des M. quadriceps femoris
- Muskuläre Dysbalance der Quadricepsanteile
- Dynamische Valgusfehlbelastung im Kniegelenk durch Schwäche der Hüftbeuge und Hüftaußenrotatorenmuskulatur
- Komorbiditäten an Hüftgelenk und Lendenwirbelsäule

Beispiele für strukturelle Gründe [65]:

- Tatsächlicher Tiefstand der Patella (True Patella infera) durch Verkürzung der Patellasehne
- Relativer Tiefstand der Patella (Pseudo Patella infera) durch Veränderung der Gelenkstellung
- Offset-Fehler
- Rotationsfehlstellungen der Prothesenkomponenten
- Gelenkinstabilität

Es wird diskutiert, ob die resultierenden Änderungen in der Stellung der Gelenkkomponenten zueinander sowie die erhöhte dynamische Gelenkbelastung und die veränderte Muskelhebelwirkung den „vorderen Kniegelenkschmerz“ begünstigen [65, 87].

1.2.2 Das Problem der Patellahöhenmessung mit radiologischen Indizes

Nach Erstimplantation einer Kniegelenktotalendoprothese kommt es häufig zu einer Erniedrigung der Patellahöhe, der sogenannten Patella infera, die häufig auch als Patella baja bezeichnet wird. Die Häufigkeit variiert hier zwischen 10 und 82% [60, 69]. Wie es jedoch zu dieser Veränderung der Patellahöhe kommen kann, ist von dem Zusammenwirken mehrerer Ursachen abhängig. Eine Patella infera ist zu diagnostizieren, wenn die Patella im Bezug zur femorotibialen Gelenklinie zu tief steht. In der Klinik kann man das an einer streng seitlichen Röntgenaufnahme des Kniegelenks erkennen. Gründe für einen Tiefstand der Patella sind eine Verkürzung der Patellasehne oder eine Proximalisierung der femorotibialen Gelenklinie [36].

Die Verkürzung der Patellasehne wird als echte Patella infera oder True Patella infera (TPI) bezeichnet. Als Grund für die Verkürzung wird eine Reizung mit folgender Vernarbung der Patellasehne während der Operation durch direkte Beschädigung oder durch bloßen Zug an ihr beschrieben [29, 63]. Vergangene Operationen am Kniegelenk, bestimmte Operationstechniken und die Entfernung des Hoffa-Fettkörpers sind als Risikofaktoren für eine Verkürzung der Patellasehne beschrieben [29, 36, 38]. Die TPI wird nicht nur als struktureller Grund für den vorderen Knieschmerz in Betracht gezogen, sondern führt nach Yang et al. auch zur Veränderung der patellofemorale Biomechanik und dadurch zur Verschlechterung der Bewegungsamplitude mit Flexionseinschränkung des Kniegelenks und zu funktionellen Beschwerden [101].

Die relative Veränderung der Patella zur Trochlea femoris durch Erhöhung der femorotibialen Gelenklinie ohne Patellasehnenverkürzung wird als Pseudo Patella infera (PPI) bezeichnet [36]. Als Grund für die Erhöhung der Gelenklinie werden beispielsweise ein knochensparendes Verfahren am Tibiaplateau oder eine zu großzügige Resektion am distalen Femur für die femorale Endoprothesenkomponente beschrieben. Bei Kollateralbandinsuffizienz (zu großer Streck- und Beugespalt) muss, um im Gelenk die Stabilität zu erhalten, das Polyethylen-Inlay höher ausfallen. Auch dies kann zu einer Pseudo Patella infera führen [3]. Die Erhöhung der Gelenklinie ist ein Zustand, der durch Implantation einer Knie totalendoprothese häufig vorkommt, dessen Häufigkeit zwischen 10 und 92% jedoch sehr unterschiedlich beschrieben wird [8, 49, 78, 100]. Auch die PPI hat laut biomechanischen Studien einen signifikanten Effekt auf die patellofemorale Kontaktverhältnisse, den retropatellaren Druck und auf die Kinematik des Kniegelenks insgesamt [30, 53]. Eine PPI wird als potenzieller Faktor des „vorderen Kniegelenkschmerzes“ angesehen und soll auch eine wesentliche Rolle bei der Zufriedenheit der Patienten und dem klinischen Outcome nach der Operation spielen. Die Konsequenzen einer PPI auf das Outcome der Patienten wurden in verschiedenen Studien untersucht, deren Ergebnisse aber sehr unterschiedlich beschrieben worden sind und kontrovers diskutiert werden.

Einige Autoren publizierten Studien mit keinem signifikanten Unterschied im Outcome der Patienten mit PPI [1, 8, 27, 60], wohingegen andere bei Patienten mit PPI von eingeschränkter Funktionsfähigkeit mit einer eingeschränkten Bewegungsamplitude

(ROM) und erhöhter Angabe von Schmerzen berichteten [3, 49, 72]. Die Differenzierung zwischen einer TPI oder einer PPI ist nicht nur wichtig, um zukünftig Operationstechniken der Endoprothetik zu verbessern, sondern auch um nicht optimale Ergebnisse bei bereits implantierten Knieendprothesen besser zu verstehen und bei Bedarf eine adäquate Behandlung anbieten zu können.

Die Patellahöhe kann mit einzelnen Indices bestimmt werden [3]. Eine häufige Fehlerquelle in bereits publizierten Studien ist die Verwendung ungeeigneter Indices zur Messung der Stellung der Patella zur femorotibialen Gelenklinie, insbesondere bei Kniegelenken mit implantierter Endoprothese. Das Hauptproblem liegt hier oft an der Veränderung der anatomischen Landmarken durch die Operation und dem damit verbundenen Wegfall der Referenzpunkte für die Ausmessung der Indices. Daher haben wir die bereits etablierten Indices zur Analyse der Patellahöhe anhand von präoperativen und postoperativen Röntgenaufnahmen geprüft und gegenseitig auf Eignung getestet. Hierzu zählten u.a. der Insall-Salvati-Index (ISI) [42], der modifizierte Insall-Salvati-Index (mISI) [35], der Caton-Deschamps-Index (CDI) [11] und der Blackburn-Peel-Index (BPI) [5]. Nach Überprüfung der Korrelation untereinander auf Reliabilität (Interrater und Intrarater), wurde nach Berücksichtigung der Stärken und Schwächen der einzelnen Indices ein Konzept der Analyse zur Bestimmung der Patellahöhe entwickelt. Das Konzept beinhaltet zur Quantifizierung der Komponenten einer echten Patella infera (TPI) den Insall-Salvati Index (ISI) und zur Bestimmung einer relativen Patellahöhenverminderung (PPI) den originalen Caton-Deschamps Index (CDI) (vor Endoprothesenimplantation) sowie eine neue Variante des Caton-Deschamps Index (dCDI) bei implantierter Knieendoprothese.

1.2.3 Fragestellung

Es zeigt sich in aktueller Literatur eine unübersichtliche Anzahl von Studien mit teils inhaltlichen und qualitativen Schwächen in einer sehr breiten und unterschiedlichen Studienlage. Viele Studien zeigen, dass sogar bis 82% eine Patellahöhenerniedrigung nach Knieendprothesenimplantation im Vergleich zur präoperativen Patellahöhe

gemessen wurde. Durchschnittlich kam es dadurch aber zu keiner signifikanten Verschlechterung der Funktionsfähigkeit [69].

Als zentraler Bestandteil dieser Studie wurden Daten von Patienten erhoben, die in der BG Klinik Tübingen eine Knie totalendoprothesenerstimplantation erhalten haben. Die Daten umfassen eine ausführliche Anamnese, eine körperliche Untersuchung des Kniegelenks und Fragen zur Patientenzufriedenheit. Unser Konzept zur Bestimmung der Patellahöhe wurde genutzt, um eine Gruppe an Patienten zu identifizieren, die durch die Operation eine verminderte Patellahöhe erlangten. Diese Gruppe von Patienten wurde mit einer Gruppe ohne Verminderung der Patellahöhe verglichen.

Ziel dieser Studie ist es, den Einfluss einer Patellahöhenverminderung auf das klinische Outcome und die Patientenzufriedenheit nach Knie totalendoprothesenerstimplantation zu analysieren. Wir wollen eruieren, ob eine verminderte Patellahöhe zu einer funktionellen Einschränkung führt, oder ob es andere Faktoren gibt, auf die eine erniedrigte Patella einen Effekt hat.

Unsere Hypothese ist, dass ein neu auftretender oder verstärkter Patellatiefstand nach einer Knie totalendoprothese im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Patellatiefstand nach Knie totalendoprothesenerstimplantation zu einer reduzierten Kniebeugefähigkeit und einem erhöhten Risiko für einen vorderen Knieschmerz führt. Die Erkenntnisse dieser Studie könnten genutzt werden, um zukünftig die Operationsplanung und -durchführung zu optimieren und somit die klinischen Ergebnisse der Knieendoprothesen zu verbessern.

2 Material und Methoden

2.1 Studiendesign und Patientenkollektiv

Für diese retrospektive Studie bekamen wir von der Ethikkommission der Universität Tübingen ein positives Votum mit der Nummer 764/2018BO2. Um die Patellahöhe unserer Studienpatienten zu ermitteln und diese mit den klinischen Ergebnissen sowie mit der Patientenzufriedenheit zu vergleichen, wurde eine Anzahl von ungefähr 100 Kniegelenken angestrebt. Zuerst erfolgte eine zufällige Auswahl von 150 Patienten, die 2015 an der BG Klinik Tübingen eine Kniegelenktotalendoprothesenerstimplantation erhalten hatten. Patienten mit Röntgenbildern von schlechter Qualität oder fehlender Röntgendokumentation wurden direkt ausgeschlossen. Hierzu zählte im seitlichen Röntgenbild eine Verdrehung des Kniegelenks in der Frontalebene, da durch Verkippung der Femurkondylen zum Inlay keine Abgrenzung zur genauen Messung der Indices möglich war. Auch Röntgenbilder mit verdrehtem Kniegelenk in der Transversalebene wurden ausgeschlossen, da durch Verkippung der Femurkondylen zur Patella, diese sich nicht mehr genau zur Messung der Indices darstellen lässt. Toleriert wurden Verkippungen der Femurkondylen jeweils um $<5\text{mm}$. Die ausgewählten 150 Patienten ($n=150$) wurden anhand ihrer Patientendaten auf Eignung geprüft. Folgende Kriterien führten ebenfalls zum Ausschluss der Studie:

- Patienten ohne bikondyläre ungekoppelte Prothese oder mit Patellarückflächenersatz ($n=20$)
- Zwischenzeitlicher Revisionsoperation an der Knie-TEP ($n=5$)
- Klinische Komorbiditäten wie Rückenschmerzen oder Hüftschmerzen, die ins Kniegelenk ausstrahlten ($n=10$)
- Zwischenzeitlich verstorbener Patient ($n=4$)

Nach Abzug der oben genannten Ausschlusskriterien wurden 111 Patienten telefonisch zur Teilnahme für die Studie angefragt. Die Anfrage zur Studienteilnahme erfolgte mit einer Einladung zur ohnehin jährlich empfohlenen Kontrolluntersuchung. Einige

Patienten waren telefonisch nicht erreichbar (n=24) oder lehnten die Teilnahme an der Studie ab (n=16). Schließlich konnten 71 Patienten in die Studie eingeschlossen werden. An 21 Patienten wurden bereits beidseits Kniegelenkendoprothesen implantiert, die ebenfalls in diese Studie aufgenommen werden konnten. Da die Endoprothesenimplantation auf der Gegenseite bereits vor oder nach oben genannter Indexoperation stattfand, beinhaltet unser Studienkollektiv Prothesen von 92 Kniegelenken mit einem Follow-Up von mindestens zwei Jahren mit Operationsdaten im Zeitraum zwischen 03/08 und 09/17.

Nach Einbestellung der Patienten im Zeitraum vom 16.09.2019 bis 09.10.2019 in unserer Ambulanz, wurden die Patienten mündlich sowie schriftlich zur Studie aufgeklärt. Bei entsprechender Einwilligung der schriftlichen Einverständniserklärung sowie zur Datenerfassung begann die Datenerhebung mit einer Anamnese und körperlichen Untersuchung der Kniegelenke. Zum späteren Vergleich der Daten wurde die klinische Untersuchung stets von einem erfahrenen Arzt direkt durchgeführt, von ihm mitbetreut oder nachuntersucht und kontrolliert. Im Anschluss mussten die Patienten Fragebögen zur Bestimmung der Scores für die Patientenzufriedenheit ausfüllen. Bei Schwierigkeiten bekamen die Patienten Hilfestellungen, oder wurden konkret nach Daten abgefragt. Zur Nachsorge gehörte ebenfalls die Durchführung einer Routinebildgebung des betroffenen Kniegelenks in unserer Röntgenabteilung (konventionelles Röntgen des Kniegelenks in zwei Ebenen und der Patella tangential). Abschließend wurde die aktuelle Bildgebung mit dem Patienten und einem dafür zuständigen Arzt besprochen. Der zeitliche Aufwand für den einzelnen Patienten belief sich auf ca. 45 Minuten. Die im Rahmen der Kontrolluntersuchung angefertigten Röntgenbilder wurden für die Studie genutzt.

Zur weiteren Studienplanung erfolgte nach Messung der Indices und Einteilung der Kniegelenke in Gruppen eine Poweranalyse. Hier zeigte sich bereits, dass die Wahrscheinlichkeit einen großen Effekt zu entdecken, sollte es ihn in dieser Stichprobe geben, zwischen 72 - 80% liegt (0,72 - 0,80). Mehr hierzu unter *2.4.5.1 Studienplanung und Poweranalyse*.

Um mögliche kleine bis mittlere Effekte entdecken zu können müsste die Anzahl enorm gesteigert werden, sodass dies für unsere Studie nicht als möglich erschien. Mehr hierzu unter *4.5 Bewertung der Studienergebnisse*.

Insgesamt wurden 71 Patienten eingeladen (30 Männer und 41 Frauen). 21 Patienten hatten beidseits eine Knieprothese implantiert. Es wurden 92 Kniegelenke untersucht, darunter 45 linke und 47 rechte Kniegelenke, 41 männliche und 51 weibliche. Durchschnittsalter unseres Patientenkollektivs war 73 Jahre (Minimum 52 Jahre und Maximum 88 Jahre). Durchschnittliche Zeit seit der Operation waren 60 Monate (Minimum 24 Monate und Maximum 138 Monate) [55].

Um die Anonymität unserer Patienten während des Auswertungsprozesses zu gewährleisten, wurden die erhobenen Daten in Form von Anamnesebögen, Fragebögen und ausgemessenen Daten aus den Röntgenbildern pseudonymisiert und mit einer zufälligen Nummer in eine Exceltabelle übertragen.

2.2 Operation

Zur präoperativen Planung wurden jeweils Röntgenbilder in zwei Ebenen des zu operierenden Kniegelenks (a.p. in Streckung und lateral in ca. 30° Beugung) und eine Ganzbeinstandaufnahme zur Beinachsvermessung angefertigt. Das laterale Röntgenbild nutzen wir zur präoperativen Beurteilung der Patellahöhe.

Alle Patienten wurden von einem erfahrenen Operateur operiert. Die Knieendoprothesenimplantation ist ein standardisierter Eingriff. Im Folgenden wird stichwortartig das chirurgische Vorgehen beschrieben.

Implantation einer zementierten bikondylären Oberflächenersatzprothese unter Einsatz des Navigationssystems Orthopilot, Denervierung der Patella und Abtragen von Osteophyten:

Das zu operierende Bein wird desinfiziert und steril abgedeckt. Der Patient erhält prophylaktisch ein Cephalosporin der ersten Generation und Tranexamsäure zur Blutungsreduktion. Über den ca. 15 cm langen medianen Hautschnitt wird die Kapsel freipräpariert. Alle Patienten bekommen eine anteromediale parapatellare Arthrotomie zur Eröffnung der Gelenkkapsel. Die Kapsel wird mobilisiert und der Hoffa'sche Fettkörper partiell entfernt. Verwachsungen werden gelöst. Es folgt die Denervierung der Patella und Abtragung überstehender Osteophyten. Nach Aufstellen des Kniegelenks werden Menisken sowie das vordere Kreuzband reseziert.

Nach Anlage der Navigationssonden femoral und über einen Extraschnitt tibial wird eine kinematische Analyse mit dem Navigationssystem Orthopilot® durchgeführt. Das System unterstützt den Operateur bei der Wahl der richtigen Prothesengrößen und folgenden Resektionsschnitte. Das Tibiaplateau wird durch Resektionsschnitte vorbereitet und die Größe der Tibiakomponente mit einer Prüfplatte abgemessen. Nach Entfernung der Osteophyten tibial sowie femoral wird die Bandspannung in Streckung und 90° Beugung überprüft und anschließend die Größe für die Femurkomponente sowie das Inlay bestimmt. Entsprechend der ausgemessenen Größen wird nun das distale Femur reseziert. In der Kniekehle werden mit einem Kufenmeißel posteriore Osteophyten femoral abgetragen. Nach Einbringung der restlichen Probekomponenten und Überprüfung der Stabilität in Streckung (Streckspalt) und 90° Beugung (Beugespalt) folgt die Bohrung der Verankerungslöcher femoral und die Entfernung der Probekomponenten. Das Tibiaplateau wird mit einem Verankerungsloch und Finnen präpariert.

Es folgt die Anlage einer Oberschenkelblutsperre und das Aufblasen auf ca. 350 mmHg. Anschließend werden mit einer Jet-Lavage alle spongiösen Flächen gereinigt und getrocknet. Die Tibiakomponente wird mit Knochenzement bestrichen und eingeschlagen. Überstände werden entfernt. Bei Bedarf folgen Nachschläge. Das Polyethylen-Inlay wird eingelegt und das Femur vorbereitet. Ebenfalls wird die Femurkomponente mit Zement bestrichen und eingeschlagen. Nach dem Übergang in Streckung und Entfernung der überstehenden Zementanteile wird die Aushärtung abgewartet.

Abschließend folgt eine kinematische Analyse mit Hilfe des Orthopilots®. Nach erneuter Stabilitätsprüfung und Kontrolle des Patellatrackings über den gesamten Bewegungsverlauf wird die Wunde sorgfältig gespült und die Blutsperre geöffnet. Eine Redondrainage wird intraartikulär eingelegt und die Kapsel verschlossen. Erneut folgen eine Stabilitätsprüfung und Kontrolle des Patellatrackings über den Bewegungsverlauf. Letztlich erfolgt eine Subcutannaht und die Haut wird mit Hautklammern verschlossen. Desinfektion und Anlage eines sterilen Verbandes beenden die Operation.

2.3 Postoperative Nachbehandlung

Ab dem ersten postoperativen Tag wird unter Anleitung der Physiotherapie das Kniegelenk bewegt. Am zweiten postoperativen Tag findet der erste Verbandswechsel statt und die Drainage wird gegebenenfalls entfernt. Abhängig von der Wundheilung und dem Allgemeinzustand des Patienten findet nun unter Anleitung der Physiotherapeuten die erste Mobilisation (Gehversuche am Gehwagen oder mit Unterarmstütze) statt. Ab dem fünften postoperativen Tag kann der Patient bei guter Wundheilung und erfolgter Röntgenkontrolle mit Unterarmgehstützen im Zwei-Punkt-Gang und mit Vollbelastung laufen. Ab dem achten postoperativen Tag ist bei guter Beweglichkeit und Wundheilung die Entlassung möglich. Im Anschluss an den Aufenthalt in der BG Klinik Tübingen wird eine Behandlung in einer Rehabilitationseinrichtung angeboten. Ein bis zwei Wochen nach der Operation können bei einem guten symmetrischen Gangbild die Unterarmgehstützen abtrainiert werden. Ab dem 14. postoperativen Tag können bei guter Wundheilung die Hautklammern entfernt werden. Eine Wiedervorstellung zur ersten Röntgenkontrolle nach Operation erfolgt meist zwölf Wochen postoperativ. Die zu diesem Zeitpunkt angefertigten Röntgenbilder nutzten wir für unsere Studie und bestimmten auch hier die Patellahöhe unserer Studienpatienten.

2.4 Klinische Nachuntersuchung

2.4.1 Anamnese

Das Anamnesegespräch folgte einer klaren Gliederung und wurde genau dokumentiert. Für die Einhaltung einer einheitlichen Erfassung und genauen Protokollierung des Gesprächsinhaltes nutzten wir einen vorher angefertigten Anamnesebogen mit folgenden Punkten.

- Abgleich des Namens, Geburtsdatum und operierte Seite
- Zufriedenheit momentan und Besserung im Vergleich zum Zustand vor der Operation
- Ruhe- und Belastungsschmerz auf einer Numerischen Rating Skala (NRS)
- Schmerzfrequenz pro Woche und Schmerzmittelgebrauch pro Tag
- Gehstrecke in Metern, Gehhilfen im und außer Haus

2.4.2 Körperliche Untersuchung

Die körperliche Untersuchung wurde auf dem gleichen Bogen protokolliert wie das Anamnesegespräch und folgte einer standardisierten orthopädisch-unfallchirurgischen Untersuchung des Kniegelenks [54].

Folgende Unterpunkte wurden protokolliert:

- Gangbild und Entkleiden des Patienten
- Druckschmerz an Patellafacetten, Patellapolen und Gelenkspalt
- Druckschmerz an Seitenbändern und Fibulaköpfchen
- Erguss, Schwellung, Rötung und Überwärmung des Kniegelenks
- Zohlen-Zeichen und Apprehension-Zeichen
- Kraftgrade in Streckung und Beugung sowie Streckung gegen Widerstand
- Bewegungsausmaß aktiv und passiv nach der Neutral-0-Methode
- Stabilität der Seitenbänder in Streckung sowie in 20° Beugung

- Vordere und hintere Schublade/Sagittale Stabilität in 20° und 90° Beugung
- Muskelatrophie der Ober - und Unterschenkel
- Sensibilität am Kniegelenk und Fuß
- Durchblutung/Fußpulse
- Motorik

2.4.3 Fragebögen

2.4.3.1 Oxford Knee Score (OKS)

Der Oxford Knee Score ist ein etablierter und validierter Test aus 12 Fragen. Jeweils fünf Fragen beziehen sich auf die Schmerzen und sieben Fragen auf die funktionellen Einschränkungen des Patienten mit Knie-TEP. Die Antwortmöglichkeiten sind festen Werten von 1 bis 5 zugeordnet, wobei 1 Punkt keine Einschränkung und 5 Punkte die höchste Einschränkung beschreibt. Anschließend werden die Werte addiert und zur Beurteilung des Patienten herangezogen. Die Gesamtpunktzahl erstreckt sich von minimal 12 Punkten bei geringgradiger Einschränkung, bis zu maximal 60 Punkten bei höchstem Schweregrad der Einschränkung [22]. Mit seiner hohen Validität und Reliabilität ist der Test auch dank seiner Kürze und Übersichtlichkeit gut für unseren Studienablauf geeignet [26]. Jedoch ist zu beachten, dass er aufgrund seiner geringen Spezifität bei Problemen in angrenzenden Gelenken zu falschen Werten führen kann [40] (Anhang 1).

2.4.3.2 Knee Society Score (KSS)

Die Originalversion des Knee Society Score (KSS) besteht aus dem Knie-Score (kKSS) und dem Funktion-Score (fKSS) [44]. Die Daten setzen sich zusammen aus Fragen an den Patienten und den Werten, die der Untersucher zu erheben hat. Der Knie-Score enthält Informationen über Knieschmerzen, Bewegungsumfang sowie vordere, hintere, mediale und laterale Instabilität des zu untersuchenden Knies. Für die Antworten erhält

man jeweils eine bestimmte Anzahl an Punkten, die anschließend addiert werden. Abzüge gibt es für Flexionskontrakturen, Streckdefizite und Achsabweichungen, die in der Ganzbeinstandaufnahme gemessen werden. Der Funktion-Score enthält Informationen über die Gehfähigkeit und das Treppensteigen und erhält bestimmte Abzüge, wenn der Patient zum Gehen eine Unterstützung in Form von Gehstützen oder eines Rollators benötigt. Die zu erreichenden Werte liegen zwischen 0 und 100. Bei negativen Werten wird der Score mit 0 angegeben. Je höher die Gesamtpunktzahl, desto besser kann der Patient in der jeweiligen Kategorie beurteilt werden (Anhang 2).

2.4.3.3 Modifizierter Lysholm-Score und Tegner-Aktivitätsscore

Der Lysholm Score wurde erstmals 1982 publiziert [59]. Die Daten mussten vom Arzt direkt durch klinische Untersuchungen erhoben werden. Die modifizierte Form erlaubt es, einen Fragebogen vom Patienten direkt ausfüllen zu lassen bzw. zusammen mit dem Patienten zu erarbeiten. Der Fragebogen ist für Verletzungen des vorderen Kreuzbandes und des Kniegelenks konzipiert. Die acht Fragen des Tests beinhalten Informationen über physische Funktion, Schmerzen und Symptome des Patienten. Die vorgegebenen Punktzahlen für jede Antwortmöglichkeit werden addiert und ergeben somit den Lysholm Score. Die zu erreichenden Werte liegen zwischen 0 und 100. Je höher die Gesamtpunktzahl, desto weniger ist der Patient beeinträchtigt. Der modifizierte Lysholm Score ist etabliert, validiert und wird häufig genutzt. Als Ergänzung zum modifizierten Lysholm-Score wurde der Tegner-Aktivitätsscore benutzt, der aus einer Liste von Aktivitätsgraden besteht, denen jeweils ein Punktwert zugeordnet wurde. Hierbei ist 0 als niedrigster Wert anzusehen und beschreibt die niedrigste Aktivität. Hier wäre normales Gehen nicht möglich und eine Arbeitsunfähigkeit sehr wahrscheinlich. Der größtmögliche Wert ist 10 und setzt eine große physische Aktivität voraus, die mit einer aktiven Ausübung im Leistungssport gleichzusetzten wäre. Die Studienpatienten mussten sich für den Wert mit der Aktivität entscheiden, die mit ihrer Knieprothese noch maximal möglich ist [6, 52, 59, 82] (Anhang 3).

2.4.3.4 Short Form-36 Health Survey (SF-36)

Der SF-36 Fragebogen ist ein allgemeiner Gesundheitsfragebogen, der physische wie auch psychische Gesundheitszustände erfasst. Er besteht aus 36 Fragen und ist in acht Dimensionen unterteilt. Die Allgemeine Gesundheitswahrnehmung ist mit fünf Fragen, die körperliche Funktionsfähigkeit mit zehn Fragen, die körperliche Rollenfunktion mit vier Fragen, körperliche Schmerzen mit zwei Fragen, Vitalität mit vier Fragen, mentale Gesundheit mit fünf Fragen, emotionale Rollenfunktion mit drei Fragen und die soziale Funktionsfähigkeit mit zwei Fragen vertreten.

Erstmals 1992 von Ware und Sherbourne beschrieben [94], wurde er 1995 von Bullinger ins Deutsche übersetzt [9]. Er ist das meistgenutzte *Patient Reported Outcome-Instrument (PRO)* und stellt als dieser den etabliertesten PRO-Score in der Medizin dar. Er ist in 170 Sprachen verfügbar und wurde in vielen Studien auch hinsichtlich seiner Korrelation zwischen klinischen und radiologischen Befunden wie auch mit der Lebensqualität nach Knieprothesenimplantation validiert [9, 31, 46].

Zur Auswertung rekodiert man Antworten in bestimmte Punktwerte und berechnet anschließend den Mittelwert aller Fragen einer Dimension. Die zu erreichende Punktzahl liegt zwischen 0 und 100, wobei 0 Punkte die größte Einschränkung der Gesundheit und 100 Punkte keine Einschränkung darstellt [41] (Anhang 4).

2.4.3.5 Kujala Anterior Knee Pain Scale

Der Kujala Fragebogen (1993 von Kujala et al. beschrieben), wird grundsätzlich für Patienten mit Kniegelenkbeschwerden benutzt [56]. Er besteht aus 13 Fragen, bei der jede Antwortmöglichkeit eine bestimmte Punktzahl ergibt, die am Ende addiert wird und zu einer Gesamtpunktzahl führt. Die zu erreichende Gesamtpunktzahl liegt zwischen 0 und 100 Punkten, wobei 100 Punkte keine Einschränkung und 0 Punkte die maximale Einschränkung bedeutet. Der Test wurde mehrfach validiert und eignet sich besonders für Patienten mit anteriorem Knieschmerz und patellofemorale Problemen [19]. 2013 wurde der Test von Kievit et al. auch für Patienten nach Knie-TEP validiert und letztlich 2018 von Dammerer et al. ins Deutsche übersetzt und an Patienten mit patellofemorale

Instabilität erfolgreich getestet [20, 51]. Besonders wegen seiner schnellen Durchführung und unkomplizierten Auswertung eignet sich dieser Test für unsere Studie sehr gut (Anhang 5).

2.4.4 Radiologische Untersuchung

Für die Definition unserer Patientengruppen mit keiner Patellahöhenveränderung nach Knie-TEP Implantation einerseits und mit Patellahöhenveränderung nach Implantation andererseits werden die Indices mit einer guten Reliabilität (sowohl Interrater, Intrarater und digital vs. analog) verwendet. Hinsichtlich der tatsächlichen anatomischen Korrelate und um zu unterscheiden, ob es sich um eine wirkliche Patella infera (TPI) oder eine Pseudo Patella infera (PPI) handelt, werden der Insall-Salvati-Index (ISI) und der Caton-Deschamps-Index (CDI) bzw. eine Modifikation des Caton-Deschamps-Index (dCDI) für die Messungen verwendet [11, 42, 100].

2.4.4.1 Insall-Salvati Index

Diese Methode wurde 1971 von Insall und Salvati beschrieben und eignet sich zur Bestimmung der Patellaposition im Kniegelenk auf einem Röntgenbild in lateraler Ansicht [42]. Die Beugung des Kniegelenks sollte zwischen 20° und 70° sein. Die Patellasehne, als unelastisches Band und ihrem Ansatz an der Tuberositas tibiae, eignet sich als gutes Maß zur Bestimmung der Patellahöhe. Da die Messung unabhängig von Gelenkgröße und Projektion des Bildes sein sollte, berechnet man beim Insall-Salvati-Index (ISI) einen Quotienten aus Patellasehnenlänge (LT) und Länge der Patella (LP). Die Sehnenlänge (LT) wurde am distalen Pol der Patella bis zur Insertion an der Tuberositas tibiae gemessen. Als Länge der Patella (LP) wurde die größte diagonale Länge der Patella gemessen (Abb. 6).



Abbildung 6: Röntgenbild Kniegelenk rechts mit Messung zur Beurteilung der Patellahöhe nach Insall und Salvati (eigene Aufnahme).

Der $ISI = LT/LP$ beträgt bei normaler Patellahöhe durchschnittlich ungefähr 1 und sollte nicht mehr als 20% von diesem Wert abweichen.

Bei einem Quotienten von $>0,8$ und $<1,2$ spricht man also von einer Patella norma, bei $\geq 1,2$ von einer Patella alta (PA) und $\leq 0,8$ von einer Patella infera (PI) bzw. Patella baja.

Als guter Index zur Messung der Patellahöhe bewerteten wir unsere Patientenbilder und beurteilten nach oben genannten Kriterien die Patellahöhe [89]. Ist der $ISI \leq 0,8$, entspricht dies einer wirklichen Verkürzung der Patellasehne und man spricht auch von einer True Patella infera (TPI). Da sich nach einer Knie-TEP-Implantation die Bezugspunkte für LT und LP gut darstellen lassen, ist der ISI auch postoperativ gut anwendbar. In Abb. 6 und 7 sind Beispiele der Messungen abgebildet.



Abbildung 7: Röntgenbild Knie rechts mit Knie-TEP zur Messung der Patellahöhe nach Insall und Salvati (eigene Aufnahme).

2.4.4.2 Caton-Deschamps Index

Die im Jahre 1982 von Caton und Deschamps beschriebene Methode nutzt ebenfalls einen Quotienten zur Einschätzung der Patellahöhe. Die Messungen sind unabhängig der Flexion des Kniegelenks, sobald die Patellasehne unter leichter Spannung steht. Dieser Zustand ist spätestens ab 30° Flexion sicher erreicht, wobei in der Originalbeschreibung an Kniegelenken mit einer Flexion von 20° bis 80° gemessen wurde [5, 11, 35]. Beim Caton-Deschamps-Index (CDI) wird, wie auch beim ISI, ein Röntgenbild in lateraler Ansicht zur Messung genutzt. Ein Verhältnis zwischen der Distanz vom distalen Ende der patellofemorale Gelenkfläche zum oberen vorderen Punkt der Tibia und der Länge der Patellagelenkfläche stellt den CDI dar [11]. Siehe Abb. 8 als Beispiel einer Messung des CDI im nativen Kniegelenk.



Abbildung 8: Röntgenbild eines rechten Kniegelenks zur Messung der Patellahöhe nach Caton und Deschamps (eigene Aufnahme).

A: Die kürzeste Strecke vom distalen Punkt der Patellagelenkfläche zum anteriorsten Punkt des Tibiaplateaus.

B: Die Länge der Patellagelenkfläche

Der $CDI = A/B$ beträgt bei normaler Patellahöhe einen Wert von $>0,6$ und $<1,2$. Bei einem Wert $\geq 1,2$ wird von einer PA und bei einem Wert $\leq 0,6$ von einer PI gesprochen [11, 12].

Eine PPI ist, unabhängig von der Patellasehnenlänge, eine relative Patellahöhenverminderung bezogen auf die femorotibiale Gelenklinie. Da die PPI unabhängig von der Patellasehnenlänge ist, kann die PPI nicht vom ISI erfasst werden. Der CDI zeigt uns die funktionelle Patellahöhe an. Durch Messung des CDI und ISI gemeinsam kann man bei Patella infera den Anteil an TPI und PPI bestimmen.

Für die Bestimmung der Patellahöhe nach Caton-Deschamps an Kniegelenken mit implantierter Endoprothese verwendeten wir eine von unserer Arbeitsgruppe erstmals validierte spezielle Modifikation des CDI (dCDI). Da bei der Operation der oberste Teil der Tibia durch die tibiale Prothesenkomponente und durch das röntgenstrahlentransparente Inlay ersetzt wurde, gibt es optisch im Röntgenbild keinen Bezugspunkt mehr zur Messung der Strecke A. Das Inlay bildet sich im Röntgenbild nicht ab, da es aus Polyethylen besteht und dieses Material keine Röntgenstrahlen absorbiert.



Abbildung 9: Röntgenbild Knie rechts mit Knie-TEP zur Messung der Patellahöhe mit dCDI (eigene Aufnahme).

Zur Bestimmung des dCDI ziehen wir eine Hilfslinie (HL'2) parallel zum sichtbaren Tibiaplateau (HL'1) der Prothese am untersten Punkt der Femurkondyle (Tangente zur

Femurkomponente). Anschließend setzten wir orthogonal dazu eine senkrechte Linie (HL'3) am vordersten Teil des Tibiaplateaus der Prothese an. An dem Punkt, an dem sich diese beiden Linien kreuzen, erhalten wir unseren neuen Bezugspunkt für die Länge A. Siehe Abb. 9 als Beispiel einer Messung des dCDI eines Kniegelenks mit Knie-TEP. Diese Vorgehensweise wurde durch eine interne Vorarbeit von Lucia Grosse mit anderen Indices wie dem Blackburne-Peel-Index (BPI) verglichen und zeigte eine sehr gute Korrelation [55]. Diese Modifikation des CDI erschien erstmals in Form einer Abbildung in einer Arbeit von Xu et al. 2017 [100].

2.4.4.3 Bewertung der Patellahöhe

Zur Bewertung der Patellahöhe wird folgendes Schema verwendet:

Eine TPI durch Verkürzung der Patellasehne wird bei ISI von $\leq 0,8$ mit einem CDI von $\leq 0,6$ diagnostiziert.

Um eine reine PPI handelt es sich bei einem CDI $\leq 0,6$ und einer ausbleibenden Verkürzung der Patellasehne bei normalem ISI $> 0,8$ aber $< 1,2$.

PA wird bei einem ISI oder einem CDI/dCDI $\geq 1,2$ diagnostiziert.

Eine normale Patellahöhe wird demnach bei einem ISI $> 0,8$ und $< 1,2$ mit einem CDI/dCDI $> 0,6$ und $< 1,2$ diagnostiziert [11, 13, 21, 42, 100].

Gemessen wurde direkt an ausgedruckten Röntgenbildern von Hand. Dazu wurde jedes Bild doppelt ausgedruckt und an die Untersucher pseudonymisiert verteilt.

Um die Interobserver Variabilität zu minimieren, führten zwei Untersucher unabhängig voneinander die Messungen an den Röntgenbildern analog durch. Einer dieser Untersucher war ich persönlich. Die zweite Messung wurde von Lucia Grosse durchgeführt, die sich selbst ebenfalls in vorherigen Studien mit anderen erfahrenen Untersuchern und den gleichen Indices beschäftigt hatte. Bei größeren Abweichungen wurde eine unabhängige dritte Person hinzugezogen, um diese zu klären. Letztlich gab es keine größeren Abweichungen mehr, sodass bei weiteren statistischen Tests mit dem Mittelwert unserer beiden Messungen gerechnet wurde.

2.4.5 Statistik

Für die statistische Auswertung wurde das Statistikprogramm IBM SPSS Statistics der Version 26 benutzt. Zum Vergleich der unabhängigen Stichproben auf Variablen, die rangskaliert waren, oder deren Verteilung stark unsymmetrisch erschien, wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet. Einzig im Vergleich des SF-36 Tests wurde ein Zweistichproben t-Test verwendet, weil in älteren Literaturen und Publikationen die Werte auf dieser Variablen üblicherweise als kontinuierlich und innerhalb von Gruppen, die homogen hinsichtlich der potenziellen Einflussfaktoren sind, symmetrisch verteilt behandelt werden.

Für die Überprüfung der Messwerte präoperativ und postoperativ wurde der t-Test für abhängige Stichproben verwendet. Eine Normalverteilung wurde geprüft und optisch bestätigt. Laut aktuellen Studien ist der t-Test robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilung und es kann laut Literatur bei einer Stichprobenanzahl >50 darauf verzichtet werden [32, 76]. Deshalb wurde im weiteren Vorgehen nicht mehr darauf eingegangen.

Für die klinischen Ergebnisse lauten die Null- und Alternativhypothese bezüglich der Patienten-Gruppen:

- H_0 : Es gibt keinen Unterschied in klinischen Ergebnissen und der Patientenzufriedenheit zwischen den Gruppen.
- H_1 : Es gibt einen Unterschied in klinischen Ergebnissen und der Patientenzufriedenheit zwischen den Gruppen.

Das Signifikanzniveau legen wir bei $p = 0,05$ fest.

Bei einem Test mit vielen gleichen Werten (sogenannten „ties“), kann es durch den Algorithmus zu falsch hohen exakten p-Werten kommen. In einem Vergleich von ordinalen Daten, wie es bei unseren Fragebögen und klinischen Tests der Fall war, wurde daher immer der asymptotische p-Wert angegeben [24].

Zur besseren Darstellung eines Trends in den Daten wurde ein Box-Whiskers-Plot (Box-Plot) angelegt. Bei diesem Plot handelt es sich um eine grafische Darstellung statistischer Werte. Die Box entspricht dem Bereich der mittleren 50% und wird durch das obere und untere Quartil ergänzt. Der Median teilt als durchgehender Strich das gesamte Diagramm in zwei Hälften, in denen jeweils 50% der Werte liegen. Über die *Whiskers* oder Antennen erhält man Informationen über Minimum und Maximum der Werte und dadurch auch die Spannweite der Daten.

Zur Testung auf lineare Abhängigkeit in intervallskalierten Variablen wurde für normalverteilte Variablen der Pearson-Korrelationskoeffizient r verwendet.

Zur Testung auf lineare Abhängigkeit in rangskalierten Variablen wurde der Spearman-Korrelationskoeffizient r_{sp} verwendet.

Die Ergebnisse der linearen Abhängigkeit wurden nach Cohen (1992) bewertet [18].

2.4.5.1 Studienplanung und Poweranalyse

Für die Studienplanung wurde eine Abfrage der möglichen Patienten im Informationssystem der Klinik durchgeführt. Es wurden zufällig 150 Patienten ausgewählt. Nach Abzug der Ausschlusskriterien und Prüfen der Durchführbarkeit der Studie während des Klinikbetriebes wurde eine Fallzahl an Kniegelenken von 100 angestrebt. Letztendlich konnten davon 92 Kniegelenke in die Studie aufgenommen werden. Die Gruppe der TPI ($n=2$) konnte aufgrund der geringen Anzahl nicht mit den anderen verglichen werden.

90 Kniegelenke wurden in die Gruppen eingeteilt, die wir miteinander vergleichen konnten. Hiervon wurden an 10% ($n=9$) postoperativ eine PPI festgestellt, die wir mit den restlichen 90% ($n=81$) verglichen haben.

Für die hier mögliche Stichprobe einer Gesamtstichprobengröße von $N=90$ (PPI-Gruppe: 9, Vergleichsgruppe: 81) ergaben sich bei einer festgelegten Typ-I-Fehlerwahrscheinlichkeit $\alpha=0,05$ und exemplarische Effektgrößen von $r=[0,1;0,3;0,5]$ (klein, mittel, groß nach Cohen) die folgenden β -Fehlerwahrscheinlichkeiten und damit Power ($1-\beta$ in den angegebenen Höhen) [17]:

Tabelle 1: Poweranalyse bei $N=90$ mit einer PPI-Gruppe von 9, einer Vergleichsgruppe von 81 und $\alpha=0,05$.

Effektgröße r	Effektgröße A	Power
0,1	0,55	0,06 – 0,08
0,3	0,65	0,26 – 0,30
0,5	0,75	0,72 – 0,80

Hierbei wird die Effektstärke r als rang-biseriale Korrelation jeweils umgerechnet in Vargha und Delaney's A [88, 96]. Dann mit dem Algorithmus von Shieh, der im R-Paket 'wmpow' (Version 0.1.2) umgesetzt ist, der Bereich berechnet, in dem die Power für verschiedene mögliche Verteilungen (normal, exponentiell, doppelt exponentiell) der Werte in den beiden Gruppen liegt [81, 85].

Effektgröße A bezieht sich auf Vargha und Delaney's A , eine Effektgröße zum Mann-Whitney-U-Test. Sie gibt die Wahrscheinlichkeit dafür an, dass ein Wert aus der Gruppe mit den insgesamt höheren Werten höher ist als ein zufällig ausgewählter Wert aus der Gruppe mit den insgesamt niedrigeren Werten. Sie kann auch angegeben werden als $1-A$, sie bezeichnet dann die Wahrscheinlichkeit, dass ein Wert aus der Gruppe mit insgesamt niedrigeren Werten höher ist als ein zufällig ausgewählter Wert aus der Gruppe mit den insgesamt höheren Werten.

Umrechnung von A in r möglich mit folgender Formel:

$$r = A - (1 - A) = 2A - 1$$

$$A = \frac{r+1}{2}$$

Es zeigt sich hier bereits, dass die Wahrscheinlichkeit, einen kleinen oder mittleren Effekt im gegenwärtigen Sample zu entdecken, wenn es ihn in der Population gibt, klein ist (0,06-0,08, bzw. 0,26-0,30). Praktisch war aber eine größere Stichprobe für die gegenwärtige Studie (um höhere Power zu erreichen) nicht möglich. Daher müssen insbesondere die im Folgenden gefundenen nicht signifikanten Unterschiede jeweils mit Vorsicht interpretiert werden, da diese Unterschiede verständlicherweise sowohl Anzeichen für einen Effekt sein können, der so klein ist, dass er praktisch als Nulleffekt betrachtet werden kann, als auch als Anzeichen für Effekte, die verschieden von Null sind, aber durch die geringe Stichprobengröße kaum Gelegenheit haben, sich als signifikant herauszustellen.

3 Ergebnisse

3.1 Radiologische Bestimmung der Patellahöhe

Vorerst ist festzustellen, ob es laut unseren Messungen der Indices überhaupt zu einer Veränderung der Patellahöhe im Gesamtkollektiv zwischen den gemessenen Zeitpunkten gekommen ist. Mit einem t-Test für abhängige Stichproben wird der Unterschied auf Signifikanz geprüft.

Insall-Salvati-Index

Die Messwerte des ISI im präoperativen Zustand (AM: 1,06; SD: 0,14) unterscheiden sich nicht signifikant zum postoperativen Zustand der ersten Kontrolluntersuchung (AM: 1,07; SD: 0,15). $t(87) = -0,580$; $p = 0,563$; $d = -0,124$; $r = 0,062$

Die Messwerte des ISI im postoperativen Zustand der ersten Kontrolluntersuchung (AM: 1,07; SD: 0,15) unterscheiden sich signifikant zum Zustand postoperativ der letzten Kontrolluntersuchung (AM: 1,02; SD: 0,15). Der Mittelwert ist im Durchschnitt um 0,04 gesunken. $t(87) = 6,615$; $p < 0,001$; $d = 1,418$; $r = 0,578$

Die gesamten Messwerte des ISI vom präoperativen Zustand (AM: 1,06; SD: 0,14) unterscheiden sich signifikant zum Zustand postoperativ der letzten Kontrolluntersuchung (AM: 1,02; SD: 0,14). Der Mittelwert ist im Durchschnitt um 0,04 gesunken. $t(89) = 4,200$; $p < 0,001$; $d = 0,890$; $r = 0,407$. In Abb. 10 sind die Messungen in einem Box-Plot abgebildet.

Der ISI hat sich somit insgesamt um 3,8% verringert [55].

Caton-Deschamps-Index

Die Messwerte des CDI im präoperativen Zustand (AM: 0,90; SD: 0,14) unterscheiden sich signifikant zum Zustand postoperativ der ersten Kontrolluntersuchung (AM: 0,86; SD: 0,13). Der Mittelwert ist im Durchschnitt um 0,04 gesunken $t(87) = 2,278$; $p = 0,025$; $d = 0,488$; $r = 0,237$

Die Messwerte des CDI im postoperativen Zustand der ersten Kontrolluntersuchung (AM: 0,86; SD: 0,13) unterscheiden sich signifikant zum Zustand postoperativ der letzten Kontrolluntersuchung (AM: 0,81; SD: 0,14). Der Mittelwert ist im Durchschnitt um 0,05 gesunken. $t(87) = 4,724$; $p < 0,001$; $d = 1,013$; $r = 0,452$

Die gesamten Messwerte des CDI vom präoperativen Zustand (AM: 0,90; SD: 0,14) unterscheiden sich signifikant zum Zustand postoperativ der letzten Kontrolluntersuchung (AM: 0,80; SD: 0,14). Der Mittelwert ist im Durchschnitt um 0,09 gesunken. $t(89) = 4,874$; $p < 0,001$; $d = 1,033$; $r = 0,459$. In Abb. 10 sind die Messungen in einem Box-Plot abgebildet.

Der CDI hat sich somit insgesamt um 10% verringert [55].

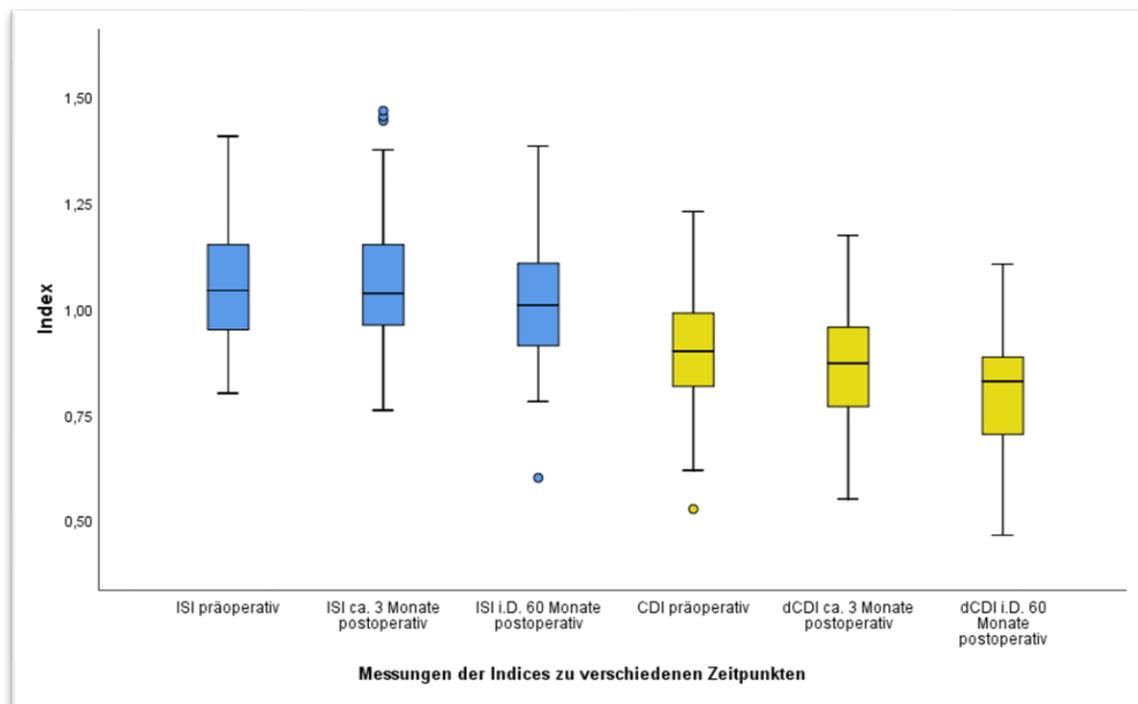


Abbildung 10: Box-Plot mit Verlauf der Indices präoperativ, nach ca. 3 Monaten zur ersten Kontrolluntersuchung und im Durchschnitt nach 60 Monaten zur letzten Kontrolluntersuchung [55].

3.2 Einteilung in Gruppen anhand der Patellahöhe

Präoperativ

Präoperativ wurden 75 Kniegelenke mit normaler Patellahöhe (83,3%), kein Kniegelenk mit einer TPI und ein Kniegelenk mit einer PPI (1,1%) gemessen. 14 Kniegelenke wurden mit PA (15,6%) nach ISI, aber normal nach CDI gemessen. Insgesamt wurden 90 Kniegelenke präoperativ gemessen. (Zwei präoperative Röntgenbilder fehlten.)

Postoperativ erste Kontrolluntersuchung nach Operation

Bei der ersten Kontrolluntersuchung ca. 3 Monate nach der Operation wurden 73 Kniegelenke mit normaler Patellahöhe (83%), kein Kniegelenk mit TPI und zwei Kniegelenke mit einer PPI (2,3%) gemessen. 13 Kniegelenke wurden nach ISI mit PA (14,7%) gemessen, nach CDI aber normal. Insgesamt wurden 88 Kniegelenke zur ersten Kontrolluntersuchung gemessen. (Vier Patienten waren nicht bei der Nachkontrolle.)

Postoperativ letzte Kontrolluntersuchung

Zum Zeitpunkt unserer Studie sind bei allen Patienten durchschnittlich 60 Monate vergangen. Es wurden 70 Kniegelenke mit einer normalen Patella (76%) gemessen. Zwei Kniegelenke hatten nach unseren Kriterien zum Zeitpunkt der Studie eine TPI (2,2%) und neun Kniegelenke wurden mit PPI diagnostiziert (9,8%). Elf Kniegelenke (12%) wurden nach ISI zu diesem Zeitpunkt mit einer PA gemessen, waren aber nach CDI immer noch normal. Insgesamt wurden 92 Kniegelenke zum Studienzeitpunkt gemessen.

PPI versus Vergleichsgruppe

Da aus einer eigenen Gruppe von zwei Patienten (TPI) keine vernünftige statistische Aussage zu treffen ist, wird von einem statistischen Vergleich mit dieser Gruppe abgesehen. Somit umfasst die Studienkohorte für unseren Vergleich auf Unterschied zwischen den Gruppen mit verschiedener Patellahöhe 90 Kniegelenke. Die Vergleichsgruppe wird gebildet aus 81 Kniegelenken mit normaler Patellahöhe und PA.

In Tabelle 2 sind die Einteilungen der Gruppen abgebildet.

Das Kniegelenk mit bereits präoperativer PPI wurde durch die Operation zu einer PA. Unter den neun Patienten mit PPI waren keine Kniegelenke, die bereits präoperativ eine tieferstehende Patella (PPI oder TPI) hatten.

Tabelle 2: a.) Bewertung der Gruppen nach Patellahöhe präoperativ, postoperativ zur ersten und letzten Kontrolluntersuchung; b.) Einteilung des Studienkollektivs in Vergleichsgruppe und Gruppe der PPI.

a.) Anzahl/Prozent	Normale Patellahöhe	Patella alta (PA)	Pseudo Patella infera (PPI)	True Patella infera (TPI)	Gesamt
Präoperativ	75/83,3%	14/15,6%	1/1,1%	0/0%	90/100%
Postoperativ erste Kontrolluntersuchung	73/83%	13/14,7%	2/2,3%	0/0%	88/100%
Postoperativ letzte Kontrolluntersuchung des Gesamtkollektivs	70/76%	11/12%	9/9,8%	2/2,2%	92/100%
b.) Anzahl/Prozent	Vergleichsgruppe		Pseudo Patella infera (PPI)	Gesamt	
Studienkollektiv für vergleichende Statistik	81/90%		9/10%	90/100%	

Für alle weiteren Tests ohne Vergleich zwischen der PPI- und der Vergleichsgruppe wurde das Gesamtkollektiv von 92 Kniegelenken genutzt. Bei Ausnahmen, beispielsweise bei fehlenden Werten eines Patienten, wird explizit die Gesamtzahl (n) angegeben.

Fehlende Bilder

Wie in Tabelle 2 abgebildet, fehlen präoperativ zwei und zur ersten Kontrolluntersuchung vier Röntgenbilder. Es handelt sich um zwei Kniegelenke, bei denen jeweils nur das aktuelle Bild vorhanden ist, welches aber eine normale Patellahöhe aufweist, es also zu keiner relevanten Verringerung der Patellahöhe kam und somit für die Vergleichsgruppe genutzt werden konnte. Zwei Kniegelenke, bei denen es kein Bild der ersten Kontrolluntersuchung gab, konnten eindeutig durch die präoperativen und aktuellen Bilder der normalen Gruppe sowie der Gruppe der PPI zugeordnet werden. Somit konnten trotz fehlender Bilder 92 Kniegelenke einer Gruppe zugeordnet werden und auch ihre Werte mit in die Studie einfließen.

Patella alta

Da PA eine eigene Gruppe darstellt, wird sie in manchen Studien komplett ausgeschlossen oder kann als eigene Gruppe mit den anderen Gruppen verglichen werden. Schwierig war vor allem die Situation, dass die Bewertung zu PA nur aus Messungen des ISI hervorging und es sich nach Messungen des CDI um Kniegelenke mit normaler Patellahöhe handelte. Als kurze Entscheidungshilfe wurde das Outcome der Gruppe der PA mit der Gruppe der Patienten mit normaler Patellahöhe verglichen ($p > 0,05$ siehe hierzu auch Seite 55 ff). Es konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Um eine möglichst zahlreiche und heterogene Vergleichsgruppe der Gruppe der PPI gegenüberzustellen, wurde diese aus Patienten mit normaler Patellahöhe und Patienten mit PA gebildet. Dadurch ergab sich für folgende vergleichende statistische Auswertung eine Gruppe von neun Kniegelenken mit einer PPI, die wir mit den restlichen 81 Kniegelenken (Vergleichsgruppe) ohne bzw. mit geringer Verminderung der Patellahöhe vergleichen (Siehe Tabelle 2 b.).

3.3 Fragebögen

3.3.1 Oxford Knee Score (OKS)

Der OKS bewertet mit seinen 12 Fragen den Zustand des Kniegelenks der Patienten und wird mit dem Mann-Whitney-U-Test zwischen den Gruppen verglichen. Die Vergleichsgruppe mit einem Median von 16 (AM: $18,0 \pm 5,8$) und die Gruppe mit PPI mit einem Median von 15 (AM: $16,4 \pm 5,1$) ergaben keinen signifikanten Unterschied des OKS-Scores. $U = 284,500$; $Z = -1,083$; $p = 0,279$; $r = -0,114$ [55]. In Tabelle 3 und Abb. 11 sind die Werte abgebildet. Beim OKS steht ein hoher Score für eine größere Einschränkung des Patienten.

Tabelle 3: OKS in den jeweiligen Gruppen.

Score	Vergleichsgruppe			PPI			Mann-Whitney-U-Test	Effektstärke
	Mdn	AM	SD	Mdn	AM	SD	p	r
OKS Score	16	18,0	5,8	15	16,4	5,1	0,279	-0,114

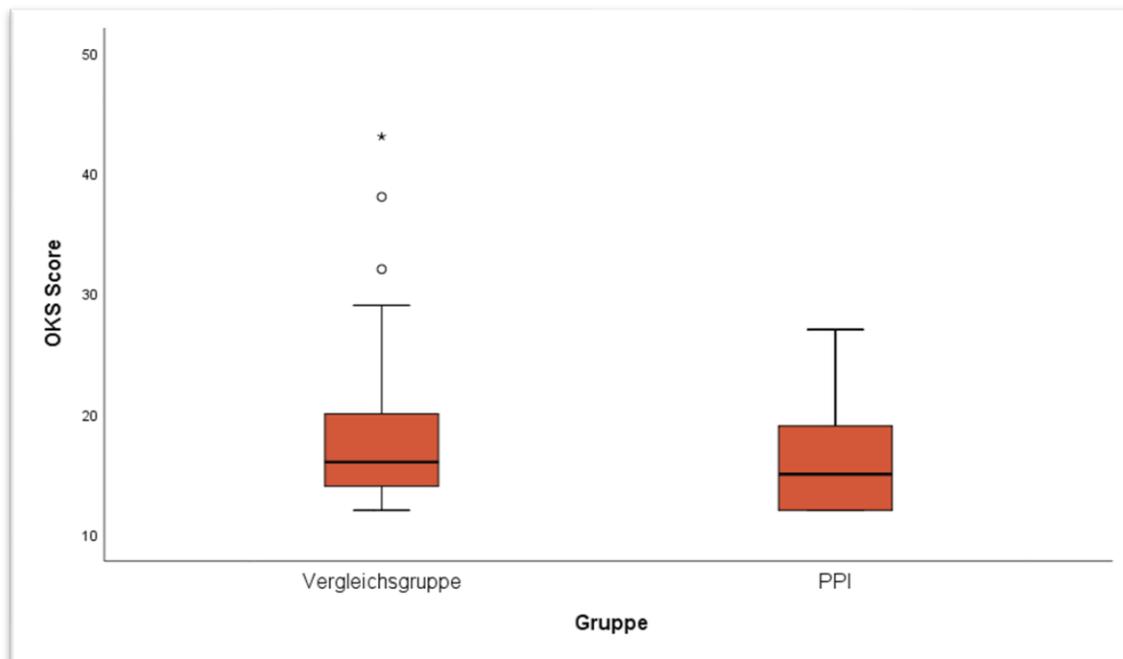


Abbildung 11: OKS im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen.

3.3.2 Knee Society Score (KSS)

Der Knee Society Score bestehend aus zwei Subkategorien, dem Knee-Score (kKSS) und dem Funktions-Score (fKSS), wird hier zwischen den beiden Gruppen mit dem Mann-Whitney-U-Test verglichen. In beiden Scores sind maximal 100 Punkte zu erreichen. Im kKSS ergab sich mit einem Median von 82 (AM: $79,6 \pm 12,5$) in der Vergleichsgruppe und einem Median von 88 (AM: $85,7 \pm 8,2$) in der PPI-Gruppe kein signifikanter Unterschied der Scores. $U = 254,000$; $Z = -1,399$; $p = 0,162$; $r = -0,147$ [55]. Im fKSS ergab sich mit einem Median von 80 (AM: $81 \pm 19,9$) in der Vergleichsgruppe und einem Median von 100 (AM: $86,7 \pm 22,9$) in der PPI-Gruppe ebenfalls kein signifikanter Unterschied im Score. $U = 280,000$; $Z = -1,184$; $p = 0,237$; $r = -0,125$ [55]. In Tabelle 4 und Abb. 12 sind die Werte abgebildet.

Tabelle 4: KSS in der jeweiligen Gruppe.

Score	Vergleichsgruppe			PPI			Mann-Whitney-U-Test	Effektstärke
	Mdn	AM	SD	Mdn	AM	SD	p	
kKSS	82	79,6	12,5	88	85,7	8,2	0,162	-0,147
fKSS	80	81,0	19,9	100	86,7	22,9	0,237	-0,125

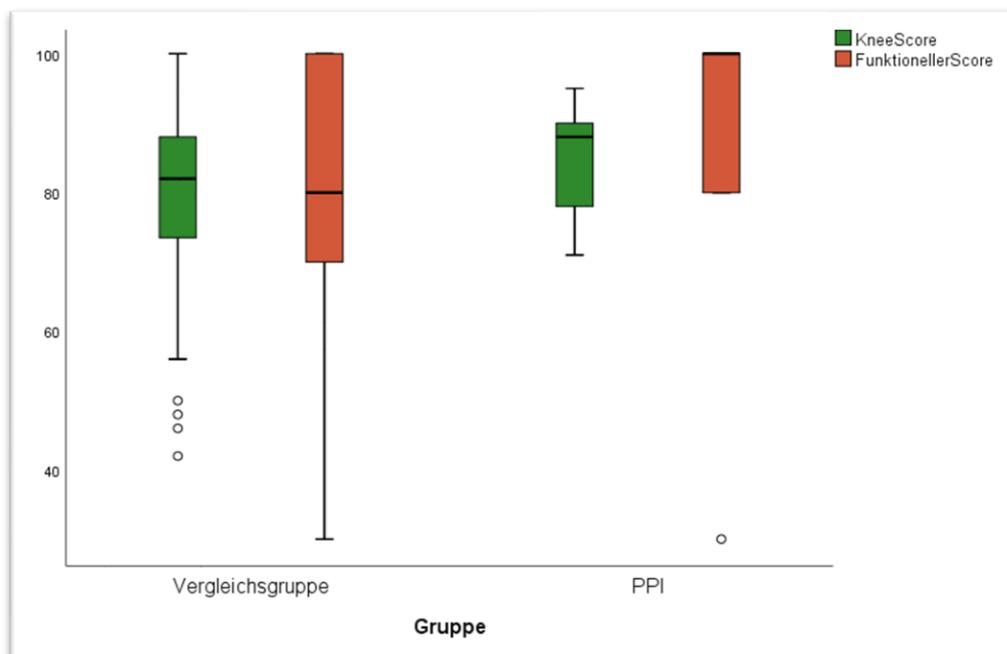


Abbildung 12: Knee Score (kKSS) und Funktioneller Score (fKSS) im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen.

3.3.3 Modifizierter Lysholm-Score und Tegner-Aktivitätsscore

Der modifizierte Lysholm-Score mit seinen maximal 100 Punkten bei bestmöglichem Outcome der Patienten und die dazugehörige Aktivitätsskala von 0 bis 10 Punkten zeigte jeweils in beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede im Mann-Whitney-U-Test [55]. In der Vergleichsgruppe zeigte der Lysholm-Score ein Median von 91 (AM: $88,7 \pm 11,7$) und der Aktivitätsscore nach Tegner ein Median von 3 (AM: $3,3 \pm 1,2$). In der Gruppe der PPI zeigte der Lysholm-Score ein Median von 91 (AM: $90,7 \pm 7,3$) und der Aktivitätsscore nach Tegner ein Median von 4 (AM: $3,4 \pm 1,0$).

Lysholm-Score: $U = 359,500$; $Z = -0,068$; $p = 0,946$; $r = -0,007$.

Aktivitätsscore nach Tegner: $U = 282,500$; $Z = -1,067$; $p = 0,286$; $r = -0,112$.

In Tabelle 5 und Abb. 13 und 14 sind die Werte abgebildet.

Tabelle 5: Lysholm-Score und Tegner-Aktivitätsscore in den jeweiligen Gruppen.

Score	Vergleichsgruppe			PPI			Mann-Whitney-U-Test	Effektstärke
	Mdn	AM	SD	Mdn	AM	SD	p	r
Lysholm-Score	91	88,7	11,7	91	90,7	7,3	0,946	-0,007
Tegner-Aktivitätsscore	3	3,3	1,2	4	3,4	1,0	0,286	-0,112

3 Ergebnisse

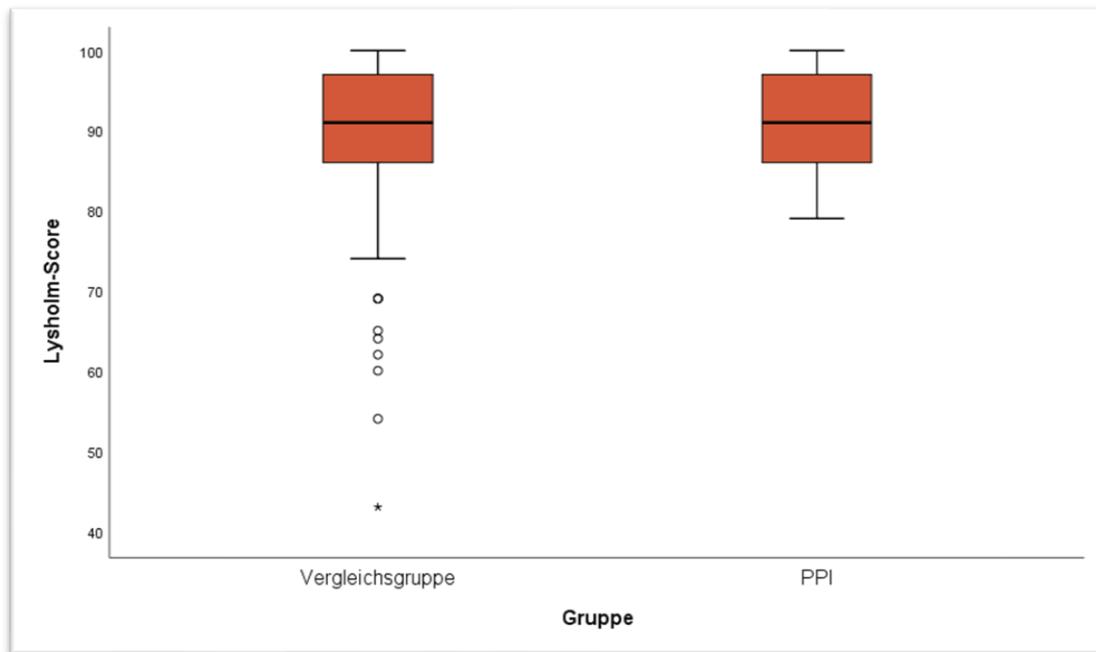


Abbildung 13: Lysholm-Score im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen.

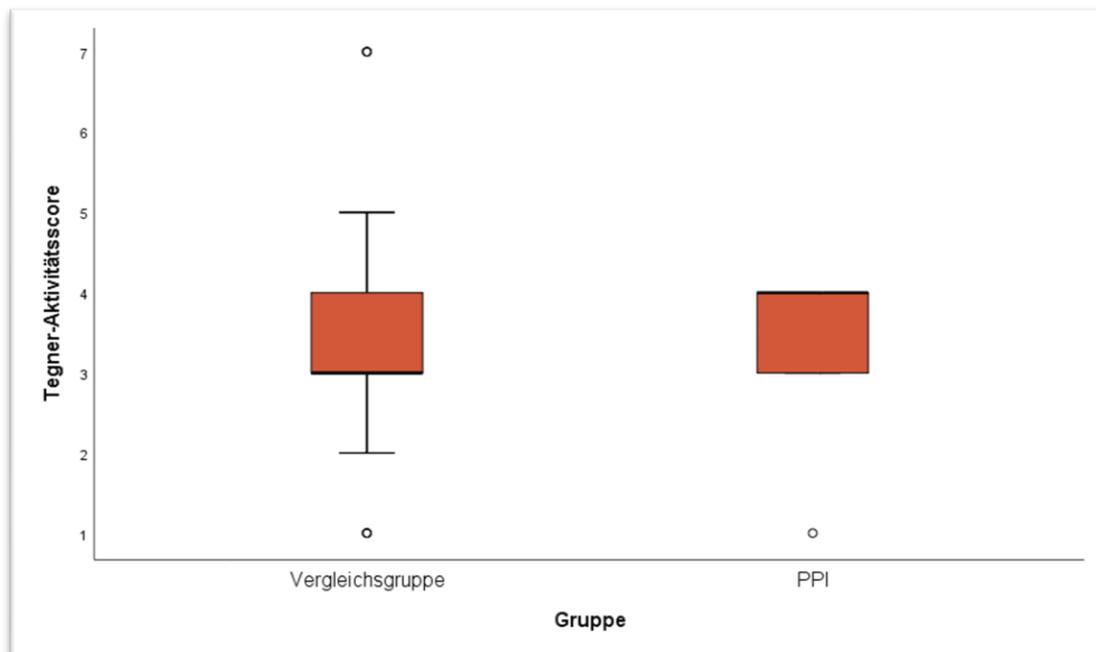


Abbildung 14: Tegner-Aktivitätsgrad im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen.

3.3.4 Short Form-36 Health Survey (SF-36)

Beim SF-36 mit seinen acht Dimensionen wird in vergangenen Publikationen von einer Normalverteilung der Daten ausgegangen und daher auch hier mit einem T-Test für unabhängige Stichproben verglichen. Alle acht Dimensionen werden in Prozent (max.100%) angegeben.

Die allgemeine Gesundheit (AG), die körperliche Funktionsfähigkeit (KF), die körperliche Rollenfunktion (KR), die körperlichen Schmerzen (SCH), die Vitalität (VIT), die mentale Gesundheit (MG), die emotionale Rollenfunktion (ER) und die soziale Funktionsfähigkeit (SF) werden anhand der Mittelwerte der Gruppen unterschieden.

Im Abb. 15 ist der gleichförmige Verlauf der Mittelwerte in den unterschiedlichen Dimensionen beider Gruppen dargestellt, mit einem etwas geringeren Wert der körperlichen Rollenfunktion und der Schmerzen in der Gruppe der PPI. Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen dem Ergebnis der acht Dimensionen des SF-36 in der Vergleichsgruppe und den Patienten mit PPI ($p > 0,05$) [55].

Die deskriptiven Werte der einzelnen Dimensionen sowie die Ergebnisse der T-Tests sind in Tabelle 6 dargestellt.

In Abb. 16 sind die jeweiligen Konfidenzintervalle der Mittelwerte zum Niveau 95% dargestellt.

3 Ergebnisse

Tabelle 6: SF-36 mit seinen acht Dimensionen im Vergleich zwischen den jeweiligen Gruppen.

Score	Vergleichsgruppe			PPI			t-Test		Effektstärke	
	Mdn	AM	SD	Mdn	AM	SD	t(88)	p	d	r
AG	70	66,1	16,7	65	65,6	11,8	0,097	0,923	0,021	0,010
KF	75	73,8	20,9	85	75,0	28,3	0,154	0,878	0,033	0,016
KR	75	66,7	37,9	50	50,0	50,0	1,211	0,229	0,258	0,128
SCH	80	74,1	28,4	67,5	67,2	32,0	0,680	0,499	0,145	0,072
VIT	70	64,9	19,8	70	66,7	16,4	0,252	0,801	0,054	0,027
MG	80	78,7	13,5	84	79,1	19,6	0,080	0,937	0,017	0,009
ER	100	83,1	30,3	100	85,2	29,4	0,194	0,847	0,041	0,021
SF	100	93,1	15,6	100	88,9	22,9	0,724	0,471	0,154	0,077

AG=Allgemeine Gesundheit; KF=Körperliche Funktionsfähigkeit; KR=Körperliche Rollenfunktion; SCH=Körperliche Schmerzen; VIT=Vitalität; MG=Mentale Gesundheit; ER=Emotionale Rollenfunktion; SF=Soziale Funktionsfähigkeit.

3 Ergebnisse

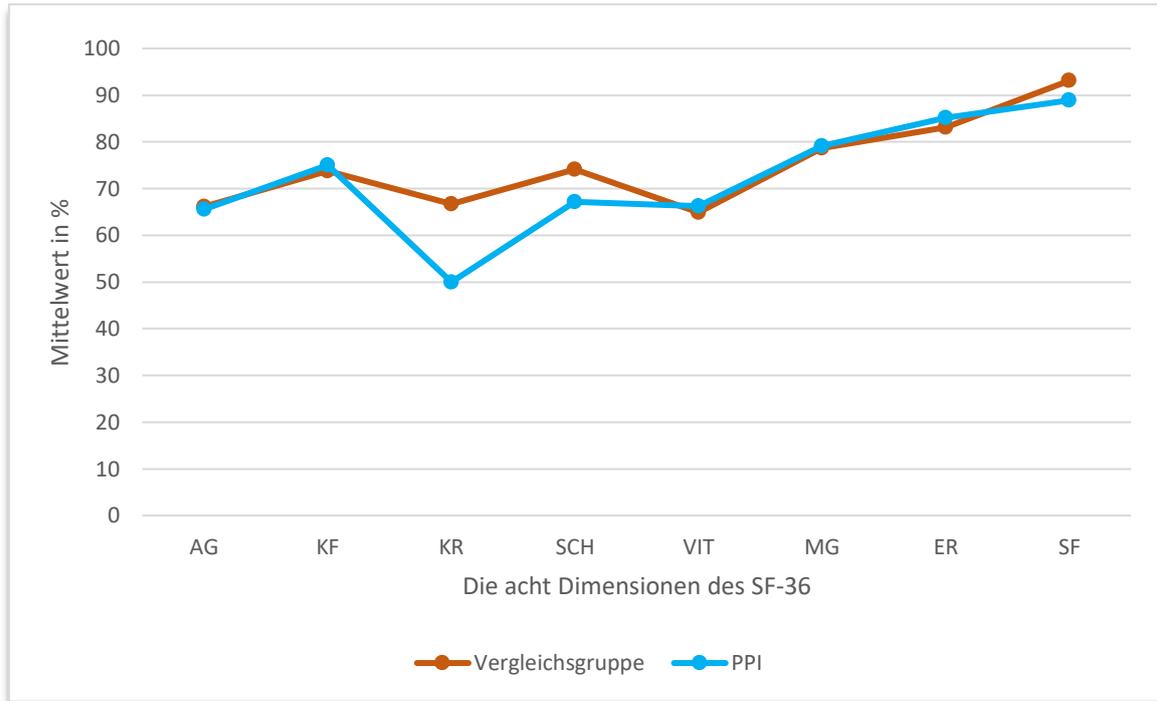


Abbildung 15: Mittelwerte der acht Dimensionen des SF-36 verglichen zwischen der Vergleichsgruppe und der Patienten mit PPI.

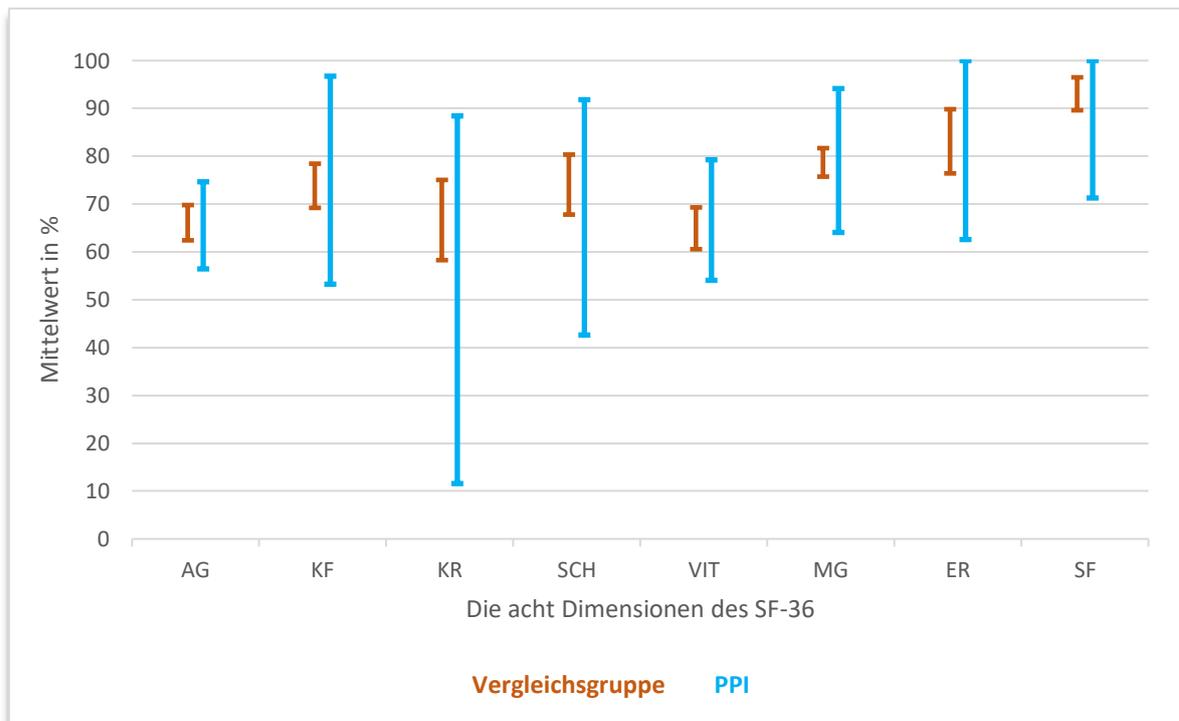


Abbildung 16: Vergleich der 95% Konfidenzintervalle der Mittelwerte in den acht Dimensionen des SF-36 zwischen den Gruppen.

3.3.5 Kujala Anterior Knee Pain Scale

Der Kujala-Test für vorderen Knieschmerz mit seinen 13 Fragen und den maximal 100 Punkten zeigt im Mann-Whitney-U-Test keinen signifikanten Unterschied zwischen den jeweiligen Gruppen [55]. $U = 322,500$; $Z = -0,566$; $p = 0,572$; $r = -0,060$.

Die Vergleichsgruppe ergab einen Median von 72 (AM: $71,2 \pm 11,7$) und die Gruppe der PPI einen Median von 73 (AM: $74,3 \pm 14,0$). In Tabelle 7 und Abb. 17 sind die Werte abgebildet.

Tabelle 7: Kujala Anterior Knee Pain Scale in den jeweiligen Gruppen.

Score	Vergleichsgruppe			PPI			Mann-Whitney-U-Test	Effektstärke
	Mdn	AM	SD	Mdn	AM	SD	p	r
Kujala Knee Scale	72	71,2	11,7	73	74,3	14,0	0,572	-0,060

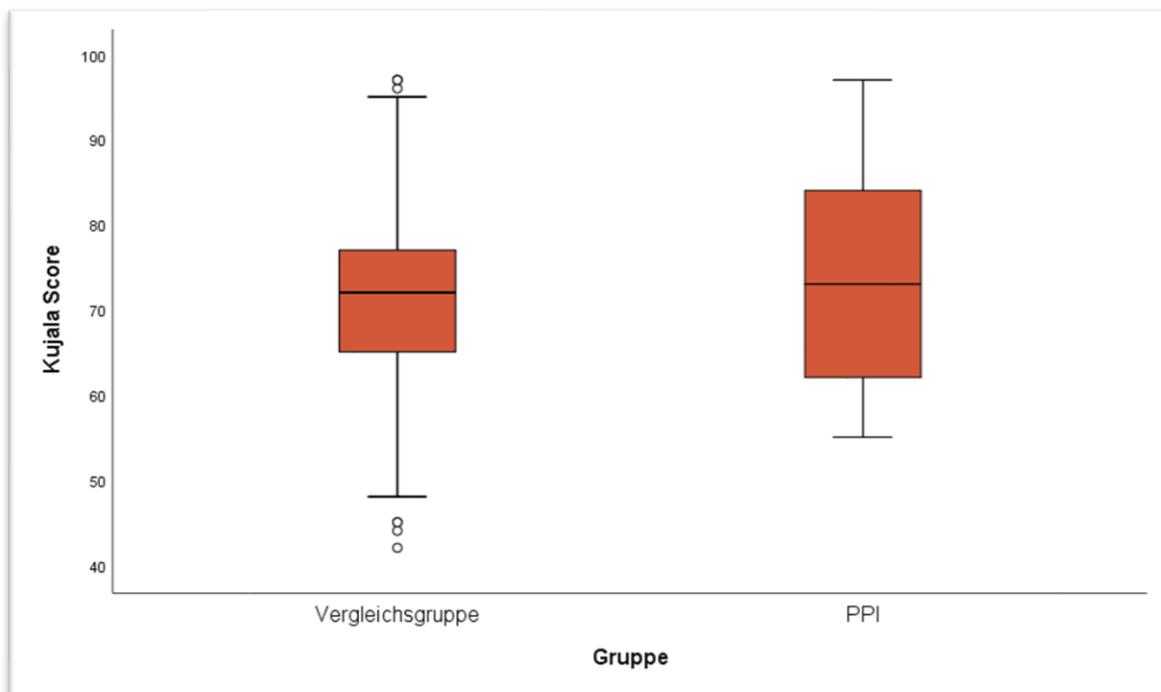


Abbildung 17: Kujala Anterior Knee Pain Scale im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen.

3.4 Anamnese

In der Vergleichsgruppe waren 76 Patienten zufrieden mit ihrem Kniegelenk und fünf waren es nicht. Davon gaben 77 eine Besserung zum Zustand vor der Operation an.

In der PPI-Gruppe waren acht Patienten zufrieden und einer nicht. Davon gaben alle eine Besserung zum Zustand vor der Operation an [55].

In der Vergleichsgruppe gaben 49 Patienten an, problemlos mehr als 2000m gehen zu können. 23 konnten bis zu 2000m gehen oder weniger (n=72). Neun Patienten gaben keine Gehstrecke an.

In der PPI-Gruppe gaben sieben Patienten eine Gehstrecke über 2000m an. Ein Patient gab eine Gehstrecke von 400m an (n=8). Ein Patient gab keine Gehstrecke an [55].

Die Häufigkeit der verschiedenen Angaben der Gruppen ist in Abb. 18 dargestellt.

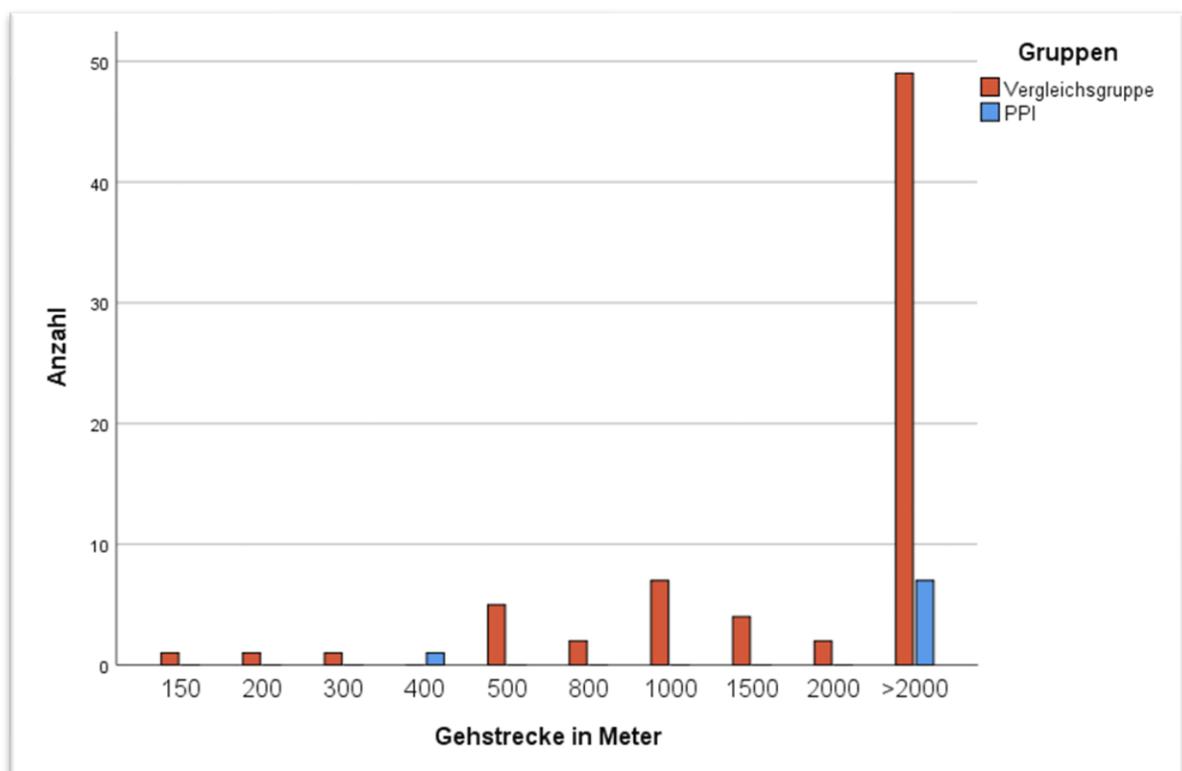


Abbildung 18: Angabe der Gehstrecke in Meter.

3.5 Klinische Ergebnisse

In der Vergleichsgruppe wurde bei 12 Kniegelenken ein Erguss festgestellt. In der PPI-Gruppe an keinem Kniegelenk.

In der Vergleichsgruppe wurde bei vier Patienten eine Schwellung festgestellt. In der PPI-Gruppe an keinem.

In der Vergleichsgruppe wurde an einem Kniegelenk eine Überwärmung festgestellt. In der PPI-Gruppe an keinem Kniegelenk.

Eine Rötung konnte in keiner Gruppe festgestellt werden.

In beiden Gruppen war jeweils einmal das Zohlenzeichen positiv. Ein positives Apprehensionzeichen wurde in keiner der Gruppen festgestellt [55].

Alle Kniegelenke konnten gegen Widerstand gestreckt werden. Davon konnten drei Kniegelenke der Vergleichsgruppe mit einem Kraftgrad von 4 strecken und beugen. Die restlichen Kniegelenke erreichten einen vollen Kraftgrad von 5 hinsichtlich Extension und Flexion.

In der Vergleichsgruppe wurde an zwei Kniegelenken eine Hypästhesie und an drei Kniegelenken eine Dysästhesie festgestellt. In der PPI-Gruppe wurde an einem Kniegelenk eine Dysästhesie festgestellt. Die Sensibilität der restlichen Kniegelenke war intakt.

Die Pulse, Sensibilität und Motorik an den Füßen konnte bei allen Patienten als intakt beschrieben werden.

3.5.1 Schmerzen

In der Numerischen Rating Skala (NRS) gaben beide Gruppen in Ruhe und unter Belastung kaum Schmerzen an. Beide Gruppen ergaben mit einem Median von 0 keinen statistisch signifikanten Unterschied im Mann-Whitney-U-Test in der Schmerzangabe [55]. Ruheschmerz: $U = 343,000$; $Z = -0,728$; $p = 0,466$; $r = -0,077$. Belastungsschmerz: $U = 357,000$; $Z = -0,116$; $p = 0,907$; $r = -0,012$. In Tabelle 8 sind die Werte abgebildet.

Tabelle 8: Schmerzskala NRS in Ruhe und unter Belastung der jeweiligen Gruppe.

NRS	Vergleichsgruppe			PPI			Mann-Whitney-U-Test	Effektstärke
	Mdn	AM	SD	Mdn	AM	SD	p	r
In Ruhe	0	0,2	1,1	0	0,3	1,0	0,466	-0,077
Unter Belastung	0	1,1	2,2	0	1,0	1,8	0,907	-0,012

In der Vergleichsgruppe klagten vier Patienten über Druckschmerzen an der Patellafecette medial und zwei lateral. Einer klagte über Druckschmerz am Patellapol distal, keiner proximal.

Keiner der Patienten der PPI-Gruppe klagte über Druckschmerz an den Patellafacetten medial/lateral oder den Patellapolen distal/proximal.

3.5.2 Stabilität des Kniegelenks

In der klinischen Untersuchung wurde die Stabilität in der Frontalebene (mediolateral) des Kniegelenks in drei Kategorien unterteilt. Der Untersucher teilte das Kniegelenk nach Aufklappbarkeit in Millimeter medial oder lateral in die jeweilige Kategorie zu. Der Test in Frontalebene wurde in Streckung und in 20° Flexion durchgeführt.

Die sagittale Stabilität des Kniegelenks wurde in ähnlicher Form in drei Kategorien eingeteilt. Der Untersucher teilte die Instabilität nach Translation in Millimeter ein. Die Untersuchung wurde in 20° und 90° Flexion durchgeführt.

Bei den Tests auf Stabilität wurden die gleichen Kategorien verwendet:

3-5mm; 6-10mm; >10mm;

In Tabelle 9 ist die Häufigkeit angegeben.

Tabelle 9: Häufigkeitstabelle der mediolateralen und sagittalen Stabilität der beiden Gruppen VG/PPI.

Stabilität		3-5mm	6-10mm	>10mm	Gesamt n=VG/PPI
In Frontalebene in Streckung	medial	66/8	12/1	0/0	78/9
	lateral	69/8	9/1	0/0	78/9
In Frontalebene bei 20° Flexion	medial	11/1	45/4	22/4	78/9
	lateral	6/1	57/4	15/4	78/9
Sagittale bei 20° Flexion		54/9	24/0	1/0	79/9
Sagittale bei 90° Flexion		26/4	50/5	2/0	78/9

3.5.3 Bewegungsausmaß des Kniegelenks

3.5.3.1 Bewegungsamplitude der Gruppen

Mit der Neutral-0-Methode wurde in der letzten Kontrolluntersuchung zur Studie die maximale passive Beugung und Streckung des Kniegelenks unter Zuhilfenahme eines Goniometers gemessen. Die maximale Extension des Kniegelenks zusammen mit der maximalen Flexion ergab die gesamte Bewegungsamplitude (ROM = Range of motion). Die ROM präoperativ wurde vom untersuchenden Arzt vor der Operation dokumentiert und liegt zum Vergleich vor.

Im Gesamtkollektiv (hier wurden die Patienten mit einer True Patella infera mit einbezogen) hat sich die ROM postoperativ (Mdn: 120; AM: $118,0 \pm 14,5$) zum Zustand präoperativ (Mdn: 105; AM: $104,5 \pm 15,8$) in 62 Kniegelenken verbessert. Der Wilcoxon Test für verbundene Stichproben zeigt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen präoperativer ROM und postoperativer ROM. $Z = -5,761$; $p < 0,001$; $n = 87$; $r = -0,618$ (Bei fünf Patienten fehlte die Dokumentation der ROM präoperativ).

3 Ergebnisse

Zwischen der Vergleichsgruppe und der Gruppe der PPI gab es im Mann-Whitney-U-Test keinen statistisch signifikanten Unterschied in der ROM präoperativ sowie postoperativ zur letzten Kontrolluntersuchung [55]. In Tabelle 10 und Abb. 19 sind die Werte abgebildet.

Tabelle 10: Bewegungsamplitude (ROM) präoperativ und postoperativ zur letzten Kontrolluntersuchung in den jeweiligen Gruppen.

Bewegungsamplitude	Vergleichsgruppe			PPI			Mann-Whitney-U-Test	Effektstärke
	Mdn	AM	SD	Mdn	AM	SD	p	r
Präoperativ	105	104,4	15,5	110	108,6	18,5	0,504	-0,072
Postoperativ	120	117,6	14,7	120	120,6	9,5	0,781	-0,029

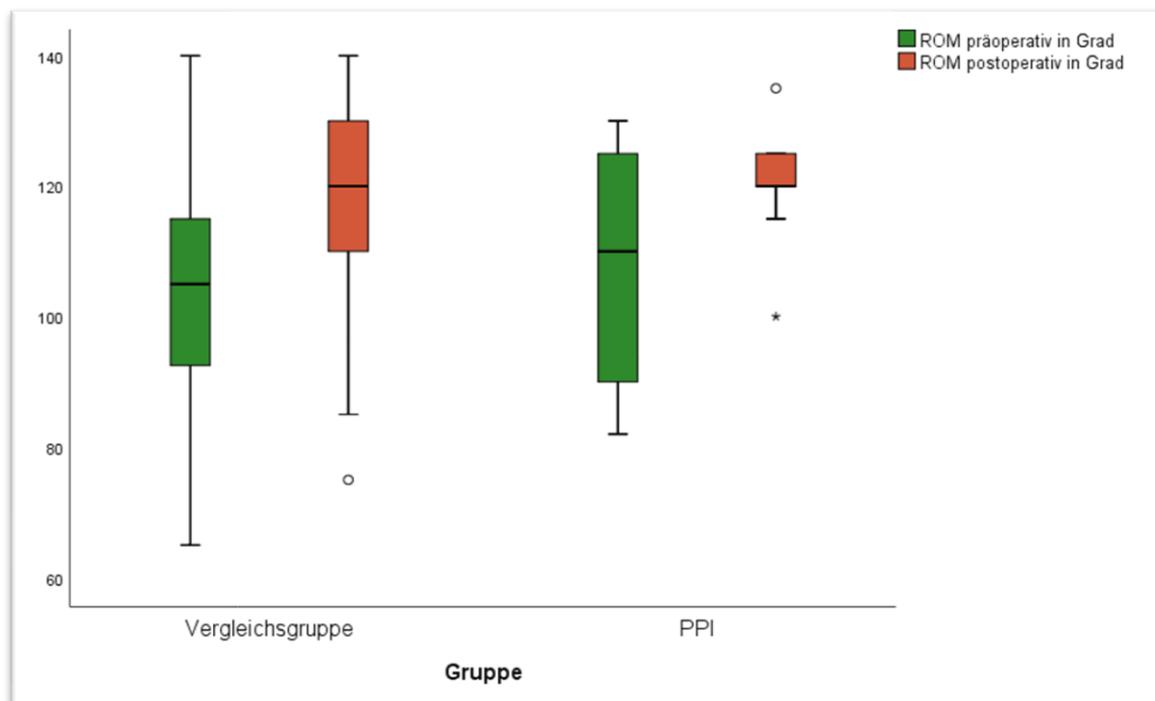


Abbildung 19: Bewegungsamplitude (ROM) präoperativ und postoperativ im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen.

3.5.3.2 Zusammenhänge der Bewegungsgrade im Gesamtkollektiv

Die folgenden Zusammenhänge werden mit der Spearman-Korrelation(r_{sp}) für nichtparametrische Variablen überprüft. Dieses Verfahren stellt geringe Anforderungen an die Verteilung der Messwerte und somit kann auch bei kleinen Stichproben und Ausreißern eine Rangkorrelation berechnet werden. Da sich die Messwerte annähernd normalverteilt darstellen, ist zusätzlich der Pearson Korrelationskoeffizient(r) angegeben.

Haben Patienten, die präoperativ eine geringere Beugefähigkeit haben, auch nach der Operation eine geringere Beugefähigkeit?

Die präoperativ gemessene ROM korreliert signifikant mit der Messung postoperativ.

$r_{sp} = 0,327$; $p = 0,002$; $n = 87$. Dabei handelt es sich um einen mittleren Effekt. (Pearson-Korrelationskoeffizient $r = 0,329$). Somit haben Patienten tendenziell eine schlechtere Bewegungsamplitude postoperativ, wenn schon vorher eine schlechtere Beugung vorhanden war [55]. Siehe hierzu auch Abb. 20.

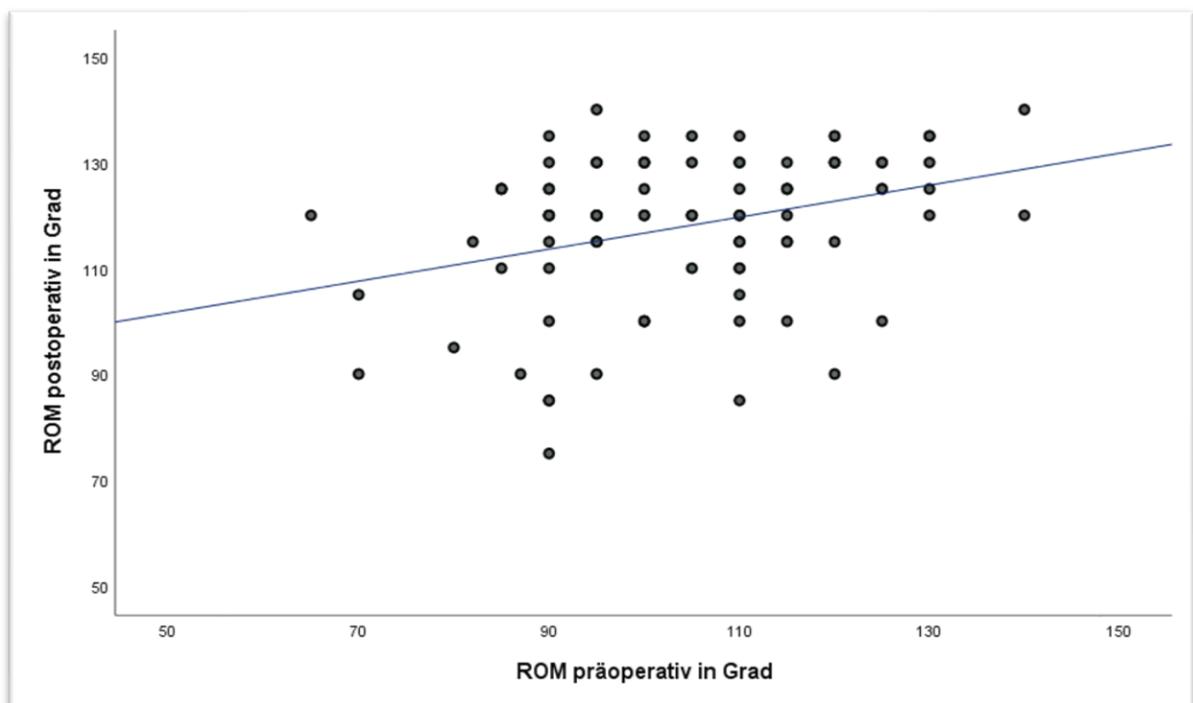


Abbildung 20: Streudiagramm zur Korrelation von präoperativer ROM zur postoperativen ROM mit einer Trendgeraden [55].

Haben Patienten mit präoperativem Patellatiefstand postoperativ eine reduzierte Beugefähigkeit im Vergleich zu der Patientengruppe ohne präoperativem Patellatiefstand?

Präoperativ gab es nach unseren Kriterien nur einen Patienten mit einer PPI. Daher wird eine Korrelation der Bewegungsamplitude präoperativ und postoperativ jeweils mit den Indices IS und CD überprüft. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 abgebildet.

Tabelle 11: Korrelationen zwischen Bewegungsamplitude (ROM) und Indices.

		ISI präoperativ	CDI präoperativ
ROM präoperativ	Korrelationskoeffizient Spearman/Pearson	0,067/0,065	-0,022/0,012
	p-Wert zu Spearman's Rho	0,538	0,841
	Anzahl der Messwerte n	86	86
ROM postoperativ	Korrelationskoeffizient Spearman/Pearson	-0,071/-0,142	0,006/-0,052
	p-Wert zu Spearman's Rho	0,506	0,956
	Anzahl der Messwerte n	90	90

Die Korrelationskoeffizienten nach Spearman und Pearson sind nahe 0.

In den gegenwärtigen Daten gibt es keinen Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen der ROM und den Indices im präoperativen Kniegelenk $p > 0,05$.

Haben Patienten mit Patella alta präoperativ oder postoperativ eine bessere Bewegungsamplitude?

Wie in Tabelle 11 schon gezeigt, gibt es keine signifikante Korrelation zwischen der Patellahöhe (gemessen durch die Indices) mit den Bewegungsamplituden.

Um zu überprüfen, ob PA einen Unterschied in der Bewegungsamplitude zeigt, werden die Gruppen neu definiert.

Von den 92 Kniegelenken werden wieder zwei Kniegelenke, die eine TPI entwickelten, ausgeschlossen. Die 90 Kniegelenke werden in drei Gruppen geteilt und untereinander mit dem Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben auf Unterschiede in ordinalskalierten Variablen verglichen.

- Gruppe N: mit normaler Patellahöhe, n = 70 Kniegelenke
- Gruppe PPI: wie bisher Pseudo Patella infera, n = 9 Kniegelenke
- Gruppe PA: Patella alta, n = 11 Kniegelenke

Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bewegungsamplituden präoperativ und postoperativ zwischen der Gruppe PA und N. Alle $p > 0,05$. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 abgebildet.

Tabelle 12: Bewegungsamplitude (ROM) präoperativ und postoperativ zur letzten Kontrolluntersuchung zwischen PA und N.

Bewegungs- amplitude	PA			N			Mann- Whitney-U- Test	Effektstärke
	Mdn	AM	SD	Mdn	AM	SD	p	r
Präoperativ	105	104,1	13,9	105	104,4	15,9	0,841	-0,004
Postoperativ	125	116,4	18,2	120	117,8	14,3	0,972	-0,023

Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen den Bewegungsamplituden präoperativ und postoperativ zwischen der Gruppe PA und PPI. Alle $p > 0,05$. Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 abgebildet.

Tabelle 13: Bewegungsamplitude (ROM) präoperativ und postoperativ zur letzten Kontrolluntersuchung zwischen PA und PPI.

Bewegungs- amplitude	PA			PPI			Mann- Whitney- U-Test	Effektstärke r
	Mdn	AM	SD	Mdn	AM	SD	p	
ROM in Grad								
Präoperativ	105	104,1	13,9	110	108,6	18,5	0,592	-0,120
Postoperativ	125	116,4	18,2	120	120,6	9,5	0,938	-0,017

Zusätzlich wurde die Gruppe PA hinsichtlich ihrer Ergebnisse in den Fragebögen mit den anderen Gruppen verglichen. Hierzu zählte OKS-Score, kKSS, fKSS, Kujala-Score, Lysholm-Score, Aktivitätsscore nach Tegner und alle acht Dimensionen des SF-36 Fragebogens. Da es sich bei der PA- und PPI-Gruppe um Gruppen mit geringem Umfang handelt, wird in diesem Zusammenhang der Mann-Whitney-U-Test angewandt.

3 Ergebnisse

Es gab keinen signifikanten Unterschied in den Scores zwischen der Gruppe PA und N. Alle $p > 0,05$. Ausnahme: Die soziale Funktionsfähigkeit als eine Dimension des SF-36 zeigte einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen $p = 0,014$. Die Ergebnisse sind in Tabelle 14 abgebildet.

Tabelle 14: Die Test-Scores verglichen zwischen der PA-Gruppe und der normalen Gruppe (N).

Score	PA			N			Mann-Whitney-U-Test	Effektstärke
	Mdn	AM	SD	Mdn	AM	SD	p	r
OKS	17	18,5	5,5	16	17,9	5,9	0,583	-0,061
kKSS	84	79,2	14,1	82	79,7	12,3	0,788	-0,030
fKSS	90	84,6	21,2	80	79,5	20,1	0,356	-0,102
Kujala-Knee-Scale	75	70,1	10,0	71,5	71,3	12,0	0,885	-0,016
Lysholm-Score	89	89,0	8,8	93	88,6	12,2	0,598	-0,059
Aktivitätsscore nach Tegner	4	3,6	1,6	3	3,3	1,1	0,331	-0,109
Allgemeine Gesundheit	65	64,6	15,1	70	66,4	17,0	0,493	-0,076
Körperliche Funktionsfähigkeit	75	75,9	18,6	77,5	73,5	21,3	0,797	-0,029
Körperliche Rollenfunktion	100	79,6	36,8	75	64,6	38,0	0,166	-0,154
Körperlichen Schmerzen	65	66,9	31,6	80	75,2	27,9	0,370	-0,100
Vitalität	65	64,1	19,3	70	65,1	20,0	0,862	-0,019
Mentale Gesundheit	76	78,6	16,0	80	78,7	13,2	0,983	-0,002
Emotionale Rollenfunktion	100	81,8	31,1	100	83,3	30,4	0,664	-0,048
Soziale Funktionsfähigkeit	87,5	85,2	19,2	100	94,3	14,7	0,014	-0,272

3 Ergebnisse

Es gab keinen signifikanten Unterschied in den Scores zwischen der Gruppe PA und PPI. Alle $p > 0,05$. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 abgebildet.

Tabelle 15: Die Test-Scores verglichen zwischen der PA-Gruppe und der PPI-Gruppe.

Score	PA			PPI			Mann-Whitney-U-Test	Effektstärke
	Mdn	AM	SD	Mdn	AM	SD	p	r
OKS	17	18,5	5,5	15	16,4	5,1	0,303	-0,230
kKSS	84	79,2	14,1	88	85,7	8,2	0,285	-0,239
fKSS	90	84,6	21,2	100	86,7	22,9	0,623	-0,110
Kujala-Knee-Scale	75	70,1	10,0	73	74,3	14,0	0,568	-0,128
Lysholm-Score	89	89,0	8,8	91	90,7	7,3	0,760	-0,068
Aktivitätsscore nach Tegner	4	3,6	1,6	4	3,4	1,0	1,000	0,000
Allgemeine Gesundheit	65	64,6	15,1	65	65,6	11,8	0,729	-0,078
Körperliche Funktionsfähigkeit	75	75,9	18,6	85	75,0	28,3	0,818	-0,051
Körperliche Rollenfunktion	100	79,6	36,8	50	50,0	50,0	0,141	-0,329
Körperlichen Schmerzen	65	66,9	31,6	67,5	67,2	32,0	0,876	-0,035
Vitalität	65	64,1	19,3	70	66,7	16,4	0,818	-0,051
Mentale Gesundheit	76	78,6	16,0	84	79,1	19,6	0,702	-0,085
Emotionale Rollenfunktion	100	81,8	31,1	100	85,2	29,4	0,639	-0,105
Soziale Funktionsfähigkeit	87,5	85,2	19,2	100	88,9	22,9	0,323	-0,221

4 Diskussion

Die Gonarthrose als großer Teil der degenerativen Erkrankungen nimmt in den letzten Jahrzehnten immer mehr zu. Insbesondere durch die erhöhte Lebenserwartung der Bevölkerung steigt die Inzidenz der Arthrose im Kniegelenk. Aber auch durch die erhöhte Belastung durch Freizeit- oder Sportaktivitäten und beruflich bedingte Expositionen kommt es immer häufiger auch bei jüngeren Patienten zu erheblicher Gonarthrose.

Über viele Jahre ist die Erstimplantation von Kniegelenktotalendoprothesen als letzte alternative Therapieoption stetig angestiegen, erreichte 2007 eine Fallzahl über 150.000 und ist momentan auf hohem Niveau konstant. Nur Hüftprothesen werden häufiger eingebaut [97]. Umso wichtiger ist die erfolgreiche Wiederherstellung der Beweglichkeit und Stabilität des Kniegelenks. Vor allem auch bei jüngeren Patienten wird die Haltbarkeit der Prothesen in Zukunft immer mehr an Bedeutung gewinnen. Trotz mittlerweile qualitativ hochwertiger Prothesensysteme und modernster computergestützter Navigationssysteme als Operationshilfe kommt es immer häufiger zu Revisions- und Wechseloperationen [65]. Ziel dieser Studie war es, die Häufigkeit einer Patella infera, die als Grund für postoperative Beschwerden beschrieben wurde, an unserem Patientengut zu identifizieren und dessen klinisches Outcome und Zufriedenheit mit Patienten ohne Patella infera zu vergleichen.

4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Insgesamt wurden 71 Patienten eingeladen (30 Männer und 41 Frauen). 21 Patienten hatten beidseits eine Knieprothese implantiert. Es wurden 92 Kniegelenke untersucht, darunter 45 linke und 47 rechte Kniegelenke, 41 männliche und 51 weibliche. Durchschnittsalter unseres Patientenkollektivs war 73 Jahre (52-88 Jahre).

Bei den 92 Patienten ergab die radiologische Analyse bei einem durchschnittlichen postoperativen Verlauf von 60 Monaten (24-138 Monate) eine signifikante Patellahöhenverminderung. Der ISI verringerte sich insgesamt vom präoperativen Zustand (AM: 1,06; SD: 0,14) zur letzten Kontrolluntersuchung (AM: 1,02; SD: 0,14)

um 3,8% ($p < 0,001$). Bei zwei Patienten (2,2%) wurde mit einem $ISI \leq 0,8$ und einem $CDI \leq 0,6$ eine TPI festgestellt. Der CDI verringerte sich vom präoperativen Zustand ($AM: 0,90$; $SD: 0,14$) zur letzten Kontrolluntersuchung ($AM: 0,80$; $SD: 0,14$) um 10% ($p < 0,001$). Bei neun Patienten (9,8%) wurde mit einem $CDI \leq 0,6$ und $ISI > 0,8$ eine PPI festgestellt. Bei 81 Patienten (88%) konnte postoperativ keine maßgebende Verringerung festgestellt werden (Vergleichsgruppe), davon hatten elf (12%) mit einem $ISI \geq 1,2$ eine PA. Da bei nur zwei Patienten postoperativ eine TPI festgestellt werden konnte, wurde hier keine statistische Auswertung als eigene Gruppe durchgeführt. Bei den Patienten mit postoperativer PA konnte kein signifikanter Unterschied zu Patienten mit normaler Patellahöhe und PPI festgestellt werden ($p > 0,05$). Bei der Vergleichsgruppe handelt es sich somit um Patienten mit keiner bzw. zu geringer Verringerung der Patellahöhe (normale Patellahöhe + Patella alta) [55].

Es zeigten sich keine unterschiedlichen Angaben der Gehstrecke zwischen den beiden Gruppen. Ebenso konnte kein Unterschied am Vorhandensein von Ergüssen, Rötung, Schwellung oder Überwärmung am Kniegelenk festgestellt werden. Kraftgrade, Sensibilität und Durchblutung konnten in beiden Gruppen kongruent festgestellt werden. Bei der Patientenzufriedenheit gab es bei der Gruppe mit PPI keinen signifikanten Unterschied zur Vergleichsgruppe gemessen mit unterschiedlichen Fragebögen (OKS, KSS, Lysholm-Score, Tegner-Aktivitätsscore, SF-36, Kujala-Scale, $p > 0,05$).

Auch gab es bei Angaben der Schmerzen im Kniegelenk auf einer numerischen Skala keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Bei klinischen Tests auf Stabilität sagittal bei 20° und 90° Flexion sowie mediolateraler Stabilität zeigten sich keine Unterschiede. Die ROM zeigte keinen signifikanten Unterschied der Gruppen [55].

In 62 (71,3%) Kniegelenken hat sich die ROM postoperativ ($Mdn: 120$; $AM: 118,0 \pm 14,5$) gegenüber dem Zustand präoperativ ($Mdn: 105$; $AM: 104,5 \pm 15,8$) verbessert ($p < 0,001$). Statistisch konnte kein Zusammenhang zwischen ROM präoperativ oder postoperativ mit den Indices festgestellt werden ($p > 0,05$). Es gibt in dieser Studie keinen Hinweis auf einen Zusammenhang von Bewegungsumfang des Kniegelenkes mit der Patellahöhe. Allerdings korreliert eine präoperativ geringe Kniebeugefähigkeit mit einer postoperativen Flexionseinschränkung ($p = 0,002$) [55]. Zu dieser wichtigen Erkenntnis sind auch bereits andere Autoren gekommen [74, 80].

4.2 Die echte tiefstehende Patella „True Patella Infera (TPI)“

Die Verringerung der Patellahöhe wurde in verschiedenen Studien als häufiges Vorkommnis beschrieben. Die Inzidenz der TPI wurde zwischen 5% und 38% beschrieben [1, 21] und die PPI zwischen 9% und 92% [1, 8, 49, 78, 100].

Die Wahl der Messmethode zur Bestimmung der Patellahöhe kann Auswirkungen auf die Häufigkeit der Patella infera haben. So beschrieb Meneghini et al. 2006 mit dem ISI bei 9,8% der Patienten seiner Studie mit über 1000 Probanden eine TPI und somit eine wirkliche Verkürzung der Patellasehne. Diese Patienten hatten zwar Funktionseinschränkungen im Kniegelenk und Probleme beim Treppensteigen, zeigten aber keinen signifikanten Unterschied im KSS, ROM oder bei Angaben von Schmerzen [60].

Da sich trotz zahlreich beschriebener Methoden kein Goldstandard zur Messung der Patellahöhe an Kniegelenken mit und ohne implantierte Endoprothese etablieren konnte, wurden in der Vorarbeit von Lucia Grosse und PD Dr. Christian Konrads einige Messmethoden getestet. Nachteil beim ISI ist, dass es durch Veränderungen in der Patellamorphologie durch beispielsweise Anbauten von Osteophyten zu falschen Werten kommen kann. Darüber hinaus kann es besonders bei schlechter Qualität der Röntgenbilder schwierig sein, die Tuberositas tibiae genau zu identifizieren.

In dieser Studie wurde die Tuberositas tibiae, wenn sie denn schwierig zu identifizieren war, an allen drei Bildern der unterschiedlichen Zeitpunkte parallel lokalisiert und gegebenenfalls mit einem erfahrenen Untersucher analysiert. Mit zunehmender Erfahrung waren die Strukturen eindeutig festzustellen. Ebenfalls flossen Osteophyten, die eindeutig als diese erkannt wurden, nicht in die Messungen mit ein.

Der Insall-Salvati-Index zeigte laut Scuderi et al. sogar eine höhere Inzidenz der Patella infera nach HTO im Vergleich zum Blackburne-Peel-Index (BPI) [77] und gilt auch nach Cabral und Xu et al. als der beste Index zur Messung der Patellahöhe nach KTEP-Implantation mit hoher Interrater Reliabilität [10, 100].

Mit unseren zwei (2,2%) Patienten, bei denen wir postoperativ eine TPI feststellen konnten, sind wir noch unter der bisher beschriebenen Häufigkeit, was für uns ein gutes

Ergebnis darstellt, aber leider keinen sinnvollen statistischen Test erlaubte. Tendenziell stellte sich aber kein Unterschied im Outcome der Patienten mit TPI dar.

Darüber, dass eine TPI zu einem schlechteren Outcome führen kann, sind sich die Autoren der meisten Publikationen einig. Erst 2017 veröffentlichte Yang et al. eine biomechanische Studie, die an Spenderleichen durchgeführt worden war. Nach künstlicher Distalisierung der Tuberositas tibiae wurde eine Patella infera simuliert. Im frühen Verlauf der Beugung kam es im Kniegelenk zwischen 0° und 10° zu erhöhtem patellofemoralem Kontaktdruck [101].

Auch Aguirre-Pastor et al. publizierte 2019 eine Studie, bei der er mit dem ISI und dem BPI zwischen TPI und PPI unterschied. Hier zeigte sich ebenfalls nach KTEP-Implantation kein signifikanter Unterschied der Gruppe mit PPI (14,4%) zur Gruppe mit normaler Patellahöhe (80,7%). Jedoch gab es bei Patienten mit TPI (4,8%) signifikante Unterschiede im WOMAC-Funktions-Test, dem KSS und dem SF-12-physical-Test [1]. Die Studien von Aguirre-Pastor et al. und Behrend et al. 2018 sind zwei der wenigen in der Literatur bekannten prospektiven Studien über Patellahöhenveränderung und ihren Effekt auf das klinische Outcome der Patienten [1, 3].

Wir sind, wie die meisten Autoren, der Meinung, dass eine TPI am besten mit dem ISI gemessen werden sollte. Eine Veränderung des ISI kann laut Literatur einen Effekt auf das Outcome der Patienten haben [1, 29, 36, 79]. Nur Davies et al. berichtet 2016 von keinem Effekt der Verkürzung der Patellasehne, dieser teilte aber die Patienten nicht in TPI ein, sondern rechnete mit einer Verringerung des ISI um 10% und nutzte lediglich den OKS als Variable für das klinische Outcome der Patienten. Interessant ist hier aber, dass er mit dem ISI eine Messung der Patellahöhe ein Jahr nach KTEP-Implantation vornahm und eine Messung nach fünf Jahren. Davies kam zu der Erkenntnis, dass sich die Patellasehne postoperativ noch über ein Jahr hinaus verkürzen kann [21]. Auch unsere Ergebnisse zeigten eine Patellasehnenverkürzung zwischen der ersten Kontrolluntersuchung ca. 3 Monate nach der Operation und der Messung zur letzten Kontrolluntersuchung durchschnittlich 60 Monate postoperativ. Erklärbar ist dies durch Vernarbungen und Umbauprozesse im Sehngewebe während den ersten zwei postoperativen Jahren.

4.3 Die relativ tiefstehende Patella „Pseudo Patella infera (PPI)“

Die reine Pseudo Patella infera wurde beschrieben als eine Patellahöhenverminderung ohne Verkürzung der Patellasehne. Grund für diese relative Patellahöhenverminderung kann eine Erhöhung der Gelenklinie durch die Implantation einer Knie-TEP sein [36]. Zur Messung dieser relativen Patellahöhenerniedrigung muss ergänzend zum ISI (Bestimmung einer evtl. vorliegenden TPI-Komponente) ein Index mit der Gelenklinie als Landmarke hinzugezogen werden. Der Blackburne-Peel-Index (BPI) zeigte sich in vielen Studien als guter Marker für die Messungen nach einer Knieprothesenimplantation mit einer guten Interrater und Intrarater Reliabilität [3, 10, 100]. Der CDI zeigte laut XU et al. in einer Studie von 2017 eine gute Übereinstimmung der postoperativen Messungen mit dem BPI [100]. Auch bei unserer internen Vorarbeit von Lucia Grosse zeigten der CDI und der BPI präoperativ sowie postoperativ eine gute Korrelation zueinander ($p < 0,001$) [55]. Die Interrater und Intrarater Reliabilität zeigte sich beim CDI gleichwertig gut. Somit wurde in dieser Studie zur Identifizierung der PPI der CDI (natives Knie) bzw. der dCDI (bei implantierten Knieendoprothesen) verwendet. Damit unterscheiden wir uns hier von bisherigen Studienmethoden mit ähnlichen Modellen hinsichtlich des radiologischen Messalgorithmus.

In dieser Studie haben 9,8% eine PPI. Wir fanden aber keinen signifikanten Unterschied im Outcome der Patienten. Im Vergleich zu bereits publizierten Ergebnissen mit Häufigkeiten der PPI von 9-92% war das Ergebnis im Rahmen der bisher beschriebenen Studien, allerdings ist es durch die Operation im Vergleich zur Literatur relativ selten zu einer PPI gekommen [8, 49, 78, 100]. Dies ist durch eine dezidierte Operationsplanung und Verwendung eines intraoperativen Navigationssystems (Orthopilot®) mit dem Ziel der möglichst anatomischen Gelenklinienrekonstruktion zu erklären. Die meisten Publikationen beschrieben eine Erhöhung der Gelenkslinie in 25-65% der Fälle [8, 49, 100].

Ähnliche Ergebnisse wie in dieser Studie zeigten Autoren wie Aguirre-Pastor und seine Arbeitsgruppe im Rahmen eines prospektiven Studiendesigns, die ebenfalls keinen signifikanten Unterschied im Outcome der Patienten mit PPI feststellten. Die Häufigkeit ihrer PPI-Gruppe, gemessen mit dem BPI, war mit 14,4% ähnlich unserer Häufigkeit [1].

Auch Etchebehere et al. 2016 und Bugelli et al. 2018 fanden keinen Zusammenhang der PPI mit einem schlechteren klinischen Outcome [8, 27]. Erstgenannter fand zwar signifikant tiefere Patellahöhen nach endoprothetisch versorgter Rekonstruktion nach distaler Femurresektion, aber stellte keinen Effekt auf AKP, ROM oder Streckdefizit fest [27].

Bugelli fand mit einem modifizierten BPI und einem durchschnittlichen Follow-Up von 66 Monaten bei 26,4% seiner Studienpopulation eine PPI. Aber auch er beschrieb keinen Zusammenhang mit AKP, schlechter ROM oder Werten im KSS sowie WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index) [8].

Abweichend dieser Ergebnisse stehen aktuelle Studien, die Unterschiede in bestimmten Bereichen des Outcomes publizierten. Kazemi et al. beschrieb 2011 bei Patienten mit PPI signifikant höhere Schmerzangaben und niedrigere ROM. Auch der KSS war hier tendenziell erniedrigt, aber nicht signifikant [49]. In seiner Studie wurden 25% mit einer PPI und Messungen anhand von ISI und BPI festgestellt. Er bestärkte damit die Ergebnisse der Arbeitsgruppe unter Flören im Jahre 2007, die ebenfalls von erhöhtem Schmerzniveau und reduziertem ROM bei Patienten mit PPI berichteten [29]. Die Patienten mit PPI in der Studie von Chonko et al. im Jahre 2004 gaben zusätzlich zu AKP und geringerer ROM noch ein Einklemmungsgefühl der Patella auf Tibia und Inlay an [15].

Die oben erwähnten Arbeiten haben mit den Methoden dieser Studie gemeinsam, dass sie sich entschieden, die Patellahöhe in Gruppen einzuteilen um sie anschließend zu vergleichen. Interessant ist in diesem Kontext eine aktuelle Herangehensweise von Behrend et al. im Jahre 2018, der nach dichotomer Einteilung in Gruppen keinen signifikanten Unterschied gefunden hatte, jedoch mit multipler Regression den BPI als signifikant guten Prädiktor für das Outcome von Patienten nach Erstimplantation beschrieb. Patienten mit tendenziell niedrigerem BPI hatten dann auch niedrigere Werte im FJS-12 Fragebogen und eine niedrigere Bewegungsamplitude in der Flexion [3].

4.4 Die femorotibiale Gelenklinie und ihre biomechanische Bedeutung

Zu diskutieren ist die Herangehensweise der dichotomen Einteilung in Gruppen zur Überprüfung eines Effekts einer PPI auf das klinische Outcome. Behrend war der Meinung, mit der Dichotomie wertvolle Informationen zu verlieren [3].

Für unsere Studie ist vor allem die Patellahöhe interessant, bei der es durch die Operation zu einem relativen Tiefstand kam. Wir haben uns deshalb für diese Studie dazu entschieden, eine PPI nach $CDI \leq 0,6$ und Ausbleiben einer überproportionalen Patellasehnenverkürzung mit $ISI > 0,8$ festzustellen. Es wurde festgestellt, dass es definitiv zu einer Verringerung zwischen unterem Patellapol und der Gelenklinie gekommen ist. Jedoch ist bei sehr hoher Inzidenz einer gleichzeitigen Patellasehnenverkürzung (TPI), auch wenn sie gering scheint, mit dieser Methodik keine genaue Aussage über die tatsächliche Erhöhung der Gelenklinie zu machen.

Um zu verstehen, warum es zu einer unterschiedlichen Anzahl an Kniegelenken mit einer PPI zur ersten Kontrolluntersuchung nach Operation und zur letzten Kontrolluntersuchung kommen kann, muss man die Indices dieser Kniegelenke genauer inspizieren. Da es im Falle einer PPI eher durch die Operation selbst mit Elevation der femorotibialen Gelenklinie zu einer relativen Patellahöhenverminderung kommt, ist der größte Unterschied hier im CDI zwischen präoperativem Zustand und postoperativen Zustand zur ersten Kontrolluntersuchung zu vermuten.

Dieser führt jedoch nach unseren Kriterien erst zu einer Bewertung einer PPI, nachdem in der letzten Kontrolluntersuchung der CDI den Wert von 0,6 erreicht bzw. diesen unterschritten hat, der ISI aber $> 0,8$ bleibt. Dies ist vor allem damit zu erklären, dass es auch nach der ersten Kontrolluntersuchung zu Prozessen im Kniegelenk wie beispielsweise zu Vernarbungen der Patellasehne kommen kann, die letztlich auch beide Indizes vermindert. Dies ist deutlich an der Verminderung des ISI der ersten Kontrolluntersuchung zur letzten Kontrolluntersuchung zu erkennen. Da diese Verminderung aber nur zu einer PPI führen kann, weil es schon im Geschehen während der Operation zu einer relativen Patellahöhenverminderung kam, gehen wir weiter davon aus, dass bei unseren neun Patienten hauptsächlich die Operation zur relativen Verminderung der Patellahöhe führte.

Eine PPI nach Erhöhung der Gelenklinie sollte aber immer differenziert betrachtet werden. Die meisten Patienten dieser Studie sind erst nach der ersten Kontrolluntersuchung durch die Verkürzung der Patellasehne in den Bereich gefallen, unter dem sie in eine Gruppe der PPI beschrieben werden konnten. Somit sind die meisten Kniegelenke hier mit PPI ein multifaktorielles Ereignis aus Proximalisierung der femorotibialen Gelenklinie (PPI) durch die Operation und der Patellasehnenverkürzung (TPI) im postoperativen Geschehen durch Vernarbungen der Sehne, welche aber nicht die Ausmaße einer TPI angenommen haben.

Bei einer PPI mit isolierter Gelenklinienerhöhung könnte sich die Biomechanik des Gelenks komplexer verändern als bei einer kombinierten Patella infera aus PPI (Gelenklinienerhöhung) und zusätzlicher TPI (Patellasehnenverkürzung). Somit kann sich jede PPI biomechanisch anders im Kniegelenk verhalten und hat damit auch einen anderen Effekt auf den Patienten.

Laut einiger Studien aus der Literatur wird das Ergebnis am meisten durch eine starke Erhöhung der Gelenklinie beeinflusst. Als durchschnittliche Erhöhung der Gelenklinie nach Erstimplantation wird 4 mm angegeben [48, 75]. Dabei wird gerade das Ausmaß der Erhöhung des Tibiaplateaus auf biomechanischer Ebene als Grund für ein schlechteres Outcome der Patienten beschrieben [30, 53]. Bei Revisionseingriffen wird eine Erhöhung der Gelenklinie bei über 36% der Patienten über 5mm beschrieben [57, 66].

Porteous et al. publizierte 2008 eine Studie, bei der eine Gelenklinienerhöhung über 5mm nach Revisionseingriffen zu schlechterer Funktionsfähigkeit und schlechteren Werten im Bristol-Score führte [66]. Er betonte, dass eine Augmentation des distalen Femurs einem zu hohen Inlay vorzuziehen sei.

Die Messung der Gelenklinienproximalisierung wurde nach einer von Figgie et al. beschriebenen Methode durchgeführt, bei der von der Tuberositas tibiae ausgehend zum höchsten Punkt des Tibiaplateaus gemessen wird. Auch Figgie beschrieb eine Erhöhung der Gelenklinie um mehr als 8mm im Zusammenhang mit einem schlechteren klinischen Outcome. Bei dieser Methode wurde eine direkte Messung am lateralen Röntgenbild des Kniegelenks vom Tibiaplateau präoperativ bzw. der Oberfläche des Inlays postoperativ zu einer hierzu parallelen Linie durch die Tuberositas tibiae durchgeführt [28]. Da für dieses Messverfahren präoperativ und postoperativ die identischen Vergrößerungen der

Röntgenbilder, oder das Vorhandensein einer Planungskugel nötig sind, wurde in dieser Studie darauf verzichtet die Gelenklinienerhöhung nach Figgie et al. zu bestimmen.

König et al. zeigte an einem Computermodell, welche biomechanischen Effekte es nach Erhöhung der Gelenklinie geben kann. Interessant ist hier, dass vor allem die Kraft, die auf das patellofemorale Gelenk wirkt, stark von der Erhöhung des Gelenkspaltes abhängt. Bei Erhöhung um 10mm zeigte sich eine Verstärkung der Krafteinwirkung um 60% des Körpergewichts und bei Erhöhung um 15mm sogar um 90% [53].

Was König 2009 noch mit Computermodellen beschrieb, wurde ähnlich 2012 von Fornalski an sechs Kadavern untersucht. An biomechanischen Modellen zeigte er, dass die Gelenklinienerhöhung einen signifikanten Einfluss auf den patellofemorale Kontakt und die Kinematik des Gelenks hat. Die Tests beurteilten die Gelenke jeweils mit 4mm und 8mm Erhöhung, während einer Flexion von 0° bis 120°. Ab 60° Flexion kam es zum Abfall der Kontaktfläche. Bei 8mm Erhöhung gab es bei 30° Flexion einen Anstieg im patellofemorale Kontaktdruck und bei drei der sechs Gelenke kam es zu deutlicher Belastung der distalen Patella. Laut Fornalski führte die erhöhte Gelenklinie und das dadurch erhöhte Gesamtvolumen des Kniegelenks also zu einem Impingement zwischen der Patella und der proximalen Tibiavorderkante bzw. dem Inlay. Dies kann dann auch zu einem verminderten ROM, zu vermehrten und anhaltenden postoperativen Schmerzen und zu vorzeitiger Abnutzung der Gelenkkomponenten aufgrund des Impingements zwischen Patella und Inlay führen [30]. Dadurch kommt es zum Inlayverschleiß mit sekundärer Entzündungsreaktion (Makrophagen) und in der Folge kann dann eine frühzeitige aseptische Endoprothesenlockerung resultieren.

Das Ausmaß der Erhöhung der Gelenklinie durch die Operation hat also einen Einfluss auf die Biomechanik im Kniegelenk, welche zu schlechteren klinischen Ergebnissen und Schmerzen führen kann. Welche Erhöhung noch ohne Effekt toleriert wird, ist kontrovers diskutiert. Die meisten Autoren sind sich aber einig, dass umso höher der Gelenkspalt im Vergleich zur ursprünglichen anatomischen Lage verändert wird, desto höher kann sich der Effekt auch auf das gesamte Kniegelenk auswirken [30, 53].

4.5 Bewertung der Studienergebnisse

Dass eine Pseudo Patella infera, definiert über die Indices, einen Effekt auf klinische Ergebnisse und die Patientenzufriedenheit hat, wurde in dieser Studie nicht bestätigt. Den in der Literatur beschriebenen Studien ähnlicher Art mit gleichem Ergebnis stehen ungefähr ebenso viele Studien entgegen, die einen Effekt der PPI beschreiben.

Die meisten Publikationen unterscheiden sich hinsichtlich des Follow-Up der Patienten, das sich über ein bis fünf Jahre erstreckt. Wir haben uns für eine Zeit von mindestens zwei Jahren entschieden, was meiner Meinung nach für diese Studie gut gewählt war, da sich Verkürzungen der Patellasehne auch noch im zweiten postoperativen Jahr entwickeln können [21].

Darüber hinaus unterscheidet sich diese Studie in der Auswahl der Indices, die über eine aufwendige Vorarbeit an unseren Verhältnissen im Haus getestet wurden.

Diese Studie wurde dadurch limitiert, dass wir bei retrospektivem Studiendesign abhängig von Röntgenbildern waren, die vor dieser Studie im normalen Klinikablauf aufgenommen worden waren. Diese teilweise verkippten Bilder könnten zu Messungenauigkeiten geführt haben. Trotzdem wurde mit großer Sorgfalt versucht, Röntgenbilder mit schlechter Qualität auszuschließen und die wahren Indices der Kniegelenke zu rekonstruieren, um den höchstmöglichen wissenschaftlichen Wert aus diesen zu erhalten.

Auch zu erwähnen ist, dass trotz immer jünger werdenden Patienten mit Erstimplantation einer Knie-TEP der durchschnittliche Patient über 70 Jahre alt und komorbide ist. Durch gründliches Aussortieren unserer Studienpopulation nach den oben beschriebenen Kriterien wurde darauf geachtet, Patienten mit Faktoren, die einen größeren Einfluss auf die Studienergebnisse haben könnten, auszuschließen. Auch wenn dies gut gelungen ist, kann man einen Effekt durch Komorbidität auf die Patientenzufriedenheit nicht ausschließen.

Bei drei Patienten in der PPI-Gruppe wurde beidseits eine Knieendoprothese implantiert. Bei beidseits operierten Patienten könnte ein Kniegelenk mehr Einfluss auf das allgemeine Befinden haben als das andere.

In den vier Knie-Scores der 3 Patienten zeigte sich zwischen rechtem und linkem Kniegelenk jeweils kein Unterschied, sodass zur besseren Vergleichbarkeit und Übersicht beim SF-36-Score die Einteilung in Kniegelenke beibehalten wurde.

Durch gründliches Aussortieren nicht geeigneter Patienten und qualitativ schlechten Röntgenbildern wurde diese Studie letztlich in ihrer Anzahl an Studienpatienten limitiert.

Dadurch ist die gegenwärtige Stichprobe sehr klein, und für tatsächliche kleine oder mittlere Effekte (Effekte im Bereich $r < 0,50$) ist die Wahrscheinlichkeit, sie im Rahmen von Nullhypothesentests zu entdecken, gering. In diesem Zusammenhang könnte also die in der vorliegenden Arbeit ermittelten Unterschiede, deren Größe deutlich unter $r = 0,50$ liegt, erneut in einer größeren Stichprobe getestet werden, um mehr Sicherheit darüber zu erhalten, ob sie tatsächlich Nulleffekte sind, oder nicht doch aufgrund niedriger Power als Abweichung von größeren Effekten nach unten schlicht kaum entdeckt werden konnten.

Um in zukünftigen Studien eine Power von 0,80 zu sichern (um sicher sein zu können, dass es sich bei zukünftig aufzufindenden nicht-signifikanten Effekten tatsächlich um Instanzen von praktisch nicht relevanten Effekten handelt, bzw. bei signifikanten Effekten um systematisch signifikante anstatt ungewöhnliche „falsche Entdeckungen“), sind Fallzahlen in den folgenden Bereichen zu empfehlen. Diese Fallzahlen gelten jeweils für diejenige Verteilung der Werte in den Gruppen (normal, exponentiell, oder doppelt exponentiell), die die geringste notwendige Fallzahl verlangt. Bei anderen Verteilungen müssen die Fallzahlen tendenziell größer sein.

Tabelle 16: Fallzahlbestimmung bei ungefähigem Anteil der PPI-Fälle am Gesamtkollektiv von 10% wie in dieser Studie.

Effektgröße r	Effektgröße A	n PPI-Gruppe	n Vergleichsgruppe	Gesamt N
0,05	0,525	1163	10467	11630
0,10	0,550	291	2619	2910
0,20	0,600	72	648	720
0,30	0,650	32	288	320
0,40	0,700	18	162	180
0,50	0,750	11	99	110

Tabelle 17: Fallzahlbestimmung bei ungefähigem Anteil der PPI-Fälle am Gesamtkollektiv von 5%, also niedriger als in dieser Studie.

Effektgröße r	Effektgröße A	n PPI-Gruppe	n Vergleichsgruppe	Gesamt N
0,05	0,525	1101	20919	22020
0,10	0,550	275	5225	5500
0,20	0,600	68	1292	1360
0,30	0,650	30	570	600
0,40	0,700	17	323	340
0,50	0,750	11	209	220

Tabelle 18: Fallzahlbestimmung bei ungefähigem Anteil der PPI-Fälle am Gesamtkollektiv von 20%, also höher als in dieser Studie.

Effektgröße r	Effektgröße A	n PPI-Gruppe	n Vergleichsgruppe	Gesamt N
0,05	0,525	1306	5224	6530
0,10	0,550	326	1304	1630
0,20	0,600	81	324	405
0,30	0,650	36	144	180
0,40	0,700	20	80	100
0,50	0,750	13	52	65

Zu betonen ist die hohe Anzahl an Variablen, die wir über unsere Daten erheben konnten. Mit fünf unterschiedlichen Fragebögen, einer ausführlichen Anamnese und gründlicher körperlicher Untersuchung haben wir ein breites Spektrum an Informationen über die Patienten erfassen können. Auch in einem kurzen Zeitraum von wenigen Wochen, in dem die Patienten untersucht wurden, konnten gute standardisierte Bedingungen geschaffen werden, um die beste Komparabilität der Daten zu gewährleisten.

Am interessantesten an dieser Studie ist die Häufigkeit der PPI unserer Studienpopulation von nur 9,8%. Grund für eine PPI und damit einer Erhöhung der Gelenklinie sind eine zu proximale Resektion des distalen Femurs oder ein zu hohes Inlay im Vergleich zur resezierten proximalen Tibia sowie die Notwendigkeit eines hohen Inlays durch gelockerte Bänder [36]. Die Frage, wieso es bei unserem Patientenkollektiv zu dieser niedrigen Anzahl an PPI gekommen ist, könnte man mit Blick auf die gute standardisierte Vorgehensweise der Behandlung beantworten. Begonnen mit der gleichen Vorbehandlung und Nachbehandlung der Patient und der normierten Operationstechnik unserer Operateure [55]. In der BG Klinik Tübingen wird das Navigationssystem Orthopilot® verwendet. Dies liefert mit hoher Genauigkeit und Zuverlässigkeit Daten

über die Anatomie des Kniegelenks, die der Operateur für die Prothesenimplantation nutzen kann. So erhält der Operateur wertvolle Zusatzinformationen als computergestützte Hilfe für die Resektionsschnitte an Tibia und Femur und kann individuell jedem Kniegelenk eine präzise Implantation ermöglichen. Zusätzlich wird die Implantation immer von einer geringen Anzahl an Hauptoperateuren mit jahrelanger Erfahrung in der Endoprothetik geleitet. Auch werden standardmäßig die Knieprothesenmodelle Columbus® der Firma Aesculap® genutzt. Das vordere Kreuzband wird bei den gängigsten Prothesenimplantationen reseziert. Bei unserer Operationsmethode wurde das hintere Kreuzband, wann immer sinnvoll möglich, erhalten. Unklarheit herrscht hier in der Literatur über die Konsequenz des erhaltenen hinteren Kreuzbandes im Vergleich zum resezierten hinteren Kreuzband. Langzeitstudien zeigten aber keine Unterschiede im Outcome der Patienten [16, 84].

Schließlich spricht diese standardisierte Vorgehensweise für eine gute Komparabilität des postoperativen Outcomes dieser Studienpopulation und könnte ein Grund für die niedrige Häufigkeit der PPI in dieser Studie sein.

4.6 Fazit

Eine bezogen auf die Bewegungsfunktion des Kniegelenks (funktionell) tief stehende Patella kann bedingt sein durch eine PPI (Ursache: Gelenklinienerhöhung bei K-TEP Implantation) und/oder eine TPI (Ursache: Direkte Verkürzung der Patellasehne z.B. durch Vernarbungen).

Der CD-Index erfasst jede Patellahöhenveränderung. Dabei muss man postoperativ nach Knie-TEP Implantation eine Modifikation des Index (dCDI) verwenden, da die ursprüngliche Referenz vorne oben an der Tibia bei der Endoprothesenimplantation reseziert wurde und durch tibiale Prothesenkomponente und Inlay ersetzt wurde.

Der IS-Index erfasst ausschließlich die Länge der Patellasehne. Damit kann er eine TPI erfassen, nicht jedoch eine PPI.

Um bei einer bestimmten Patellahöhenveränderung die Anteile an relativer (PPI) und echter (TPI) Patellahöhenerniedrigung erfassen zu können, benötigt man also sowohl den CDI als auch den ISI.

Die Erniedrigung der Patellahöhe ist ein typisches Verhalten nach Knie totalendoprothesenimplantation und zeigte sich auch in dieser Studie. Eine TPI nach Knie totalprothesenimplantation, gemessen mit dem ISI, kommt selten vor, wird aber oft mit einem schlechteren klinischen Ergebnis korreliert. Dies konnte diese Studie nicht bestätigen.

Eine PPI nach Knie totalendoprothesenerstimplantation, gemessen mit dem CDI und zusätzlich zum Ausschluss/Quantifizierung einer eventuell zusätzlich vorliegenden TPI mit dem ISI, ist häufig, zeigte aber keinen Effekt auf die klinischen Ergebnisse oder die Patientenzufriedenheit im Vergleich zu Patienten ohne eine Veränderung der Patellahöhe.

Die Höhe der Patella, gemessen mit dem CDI und dem ISI, zeigte keinen Einfluss auf die Bewegungsamplitude des Kniegelenks. Jedoch zeigten Patienten mit präoperativ geringer Bewegungsamplitude auch postoperativ eine geringere Beugung.

Dass eine Erhöhung des Tibiaplateaus im Rahmen einer Knie totalendoprothesenimplantation einen Effekt auf die Biomechanik des Kniegelenks und auf klinische Ergebnisse haben kann, wurde an Modellen erfolgreich getestet und klinisch berichtet. Ob ein im Röntgenbild gemessener postoperativ erniedrigter Index aber negative Auswirkungen auf die klinischen Ergebnisse hat, muss insbesondere nach Kenntnis der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit angezweifelt werden. Es scheint eine bestimmte Schwelle an akzeptabler Verringerung der Patellahöhe zu geben, bei der sich die klinischen Ergebnisse nicht verschlechtern [55].

4.7 Ausblick

Eine PPI ist in der Regel das Ergebnis einer Proximalisierung der femorotibialen Gelenklinie. Dazu kann es durch reduzierte tibiale Knochenresektion, vermehrte distale Femurresektion oder durch Einbringen eines erhöhten Inlays kommen. Letztgenannte

Situation tritt insbesondere dann ein, wenn der Operateur zum Ende der Operation eine Instabilität in der Frontalebene mit einem dickeren Inlay adressiert.

Durch sorgfältige Planung der Operation und computergestützte Hilfen mittels eines intraoperativen Navigationssystems können solche Veränderungen vermieden werden. Die Rekonstruktion der anatomischen Gelenklinie sollte ein Ziel jeder Knieprothesenimplantation sein.

Da diese Arbeit allerdings keinen negativen Effekt einer Patellahöhenerniedrigung auf das klinische Outcome nach Knieendoprothesenerstimplantation zeigte, scheint es eine bestimmte Schwelle an akzeptabler Verringerung der Patellahöhe zu geben, bei der sich die klinischen Ergebnisse nicht verschlechtern. Daher rückt das nach wie vor gültige Prinzip der knochensparenden Operationstechnik wieder vermehrt in den Vordergrund.

Interessant wäre eine prospektive Studie mit Tests vor und nach der Operation und einer größeren Anzahl an Patienten, die in diesem Umfang nur in einer multizentrischen Studie durchzuführen wäre. Weiterhin ist für zukünftige Studien dieser Art zu diskutieren, ob eine Erweiterung der Datenlage über Informationen der genauen Gelenklinienposition sinnvoll wäre. Zu nennen wäre hier das Vorgehen ohne Einteilung in Gruppen, sondern über reine Messwerte. Die Werte der Indices könnten hier ergänzt werden mit Werten aus einem intraoperativ genutzten Navigationssystem.

5 Zusammenfassung

Durch die stets steigende Lebenserwartung steigt auch die Anzahl an Erstimplantationen einer Kniegelenktotalendoprothese (Knie-TEP) und ist momentan auf hohem Niveau konstant. Ein bekanntes Problem nach Knie-TEP Implantation ist der „vordere Knieschmerz“, dessen Ursache durch verschiedene funktionelle und strukturelle Einflussfaktoren bedingt ist. Ein struktureller Faktor ist der tatsächliche und der relative Patellatiefstand. Der tatsächliche Tiefstand, auch „True Patella infera“ (TPI), kommt durch die Verkürzung der Patellasehne zustande. Ein Grund für den relativen Patellatiefstand, auch „Pseudo Patella infera“ (PPI) genannt, kann hingegen eine Erhöhung der Gelenklinie durch ein knochensparendes Verfahren am Tibiaplateau oder vermehrte distale Femurresektion oder Einbringen eines besonders dicken Inlays sein. Ziel dieser retrospektiven Studie war es, den Einfluss einer Patellahöhenverminderung auf das klinische Outcome und die Patientenzufriedenheit zu analysieren.

Unter Berücksichtigung der Stärken und Schwächen der einzelnen Indices wurde das Konzept einer Analyse zur Bestimmung der Patellahöhe an lateralen Röntgenbildern entwickelt. Das Konzept beinhaltet zur Quantifizierung der Komponente einer echten Patella infera (TPI) den Insall-Salvati Index (ISI) und zur Bestimmung einer relativen Patellahöhenverminderung (PPI) den Caton-Deschamps Index (CDI). Die Grundlage bildete die Wiedervorstellung von Patienten, die 2015 an der BG Klinik Tübingen eine Erstimplantation erhalten haben. Durchschnittliches Follow-Up waren 60 Monate. Insgesamt wurden 92 Kniegelenke untersucht. Durchschnittsalter unseres Patientenkollektivs war 73 Jahre. Die klinische Nachuntersuchung beinhaltete eine ausführliche Anamnese, eine detaillierte Untersuchung des Kniegelenks und die Erhebung gängiger Scores zur Analyse der Patientenzufriedenheit. Zu den Knie-Scores zählten der Oxford Knee Score (OKS), der Knee Society Score (KSS), die Kujala Anterior Knee Pain Scale, ein modifizierter Lysholm-Score, der Tegner-Aktivitätsscore und zur Abfrage der allgemeinen Gesundheit der Short Form-36 Health Survey (SF-36). Der ISI verringerte sich insgesamt vom präoperativen Zustand zur letzten Kontrolluntersuchung um 3,8% ($p < 0,001$). Bei zwei Patienten (2,2%) wurde eine TPI festgestellt und konnte aufgrund der geringen Anzahl nicht statistisch verglichen werden. Der CDI verringerte sich vom präoperativen Zustand zur letzten Kontrolluntersuchung

um 10% ($p < 0,001$). Bei neun Patienten (9,8%) wurde eine PPI festgestellt. Bei 81 Patienten (88%) konnte postoperativ keine maßgebende Verringerung festgestellt werden, davon hatten elf (12%) einen erhöhten Patellastand. Verglichen wurde die Gruppe der PPI mit der Gruppe ohne Verringerung der Patellahöhe. Es zeigten sich keine Unterschiede der Gehstrecke oder hinsichtlich des Vorhandenseins von Gelenkergüssen, Rötung, Schwellung oder Überwärmung der Kniegelenke. Kraftgrade, Sensibilität und Durchblutung konnte in beiden Gruppen kongruent festgestellt werden. Bei der Patientenzufriedenheit gab es bei der Gruppe mit PPI keinen signifikanten Unterschied zur Vergleichsgruppe ($p > 0,05$). Auch gab es bei Angaben der Schmerzen im Kniegelenk keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen. Bei klinischen Tests auf sagittale sowie mediolaterale Stabilität zeigte sich kein Unterschied. Die ROM zeigte keinen signifikanten Unterschied der Gruppen. In 62 (71,3%) Kniegelenken hat sich der ROM postoperativ gegenüber dem Zustand präoperativ verbessert ($p < 0,001$). Statistisch konnte kein Zusammenhang zwischen ROM präoperativ oder postoperativ mit den Indices festgestellt werden ($p > 0,05$). Es gibt hier keinen Hinweis auf Zusammenhang von ROM mit der Patellahöhe. Allerdings korreliert eine präoperativ geringe Kniebeugefähigkeit mit einer postoperativen Flexionseinschränkung ($p = 0,002$).

Eine Erniedrigung der Patellahöhe ist ein typisches Verhalten nach Knie-TEP Implantation und zeigt sich auch in dieser Studie. Eine TPI kommt selten vor und korreliert laut Literatur häufig mit einem schlechteren klinischen Ergebnis, was diese Studie bei relativ geringer Patientenzahl nicht zeigte. Eine PPI ist häufig, zeigt aber keinen Effekt auf klinische Ergebnisse oder die Patientenzufriedenheit im Vergleich zu Patienten ohne Patellahöhenveränderung. Durch eine sorgfältige Planung der Operation können solche Veränderungen vermieden werden und sind vermutlich auch in dieser Studie Grund für den geringen Anteil an PPI von 9,8%. Ob ein postoperativ erniedrigter Index im Röntgenbild gemessen aber negative Auswirkungen auf die klinischen Ergebnisse hat, muss nach Kenntnis der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit angezweifelt werden. Die Rekonstruktion der anatomischen Gelenklinie sollte ein Ziel jeder Knieprothesenimplantation sein. Es scheint jedoch eine bestimmte Schwelle an akzeptabler Verringerung der Patellahöhe zu geben, bei der sich die klinischen Ergebnisse nicht verschlechtern. Daher rückt das nach wie vor gültige Prinzip der knochensparenden Operationstechnik wieder vermehrt in den Vordergrund.

6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anatomie des rechten Kniegelenks mit Ansicht von anterior [83]. (Abb. mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlags).....	2
Abbildung 2: Anatomie des rechten Kniegelenks mit Ansicht von posterior [83]. (Abb. mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlags)	2
Abbildung 3: Tibiaplateau mit aufliegenden Menisken sowie Anheftungsstellen von Menisken und Kreuzbändern [83]. (Abb. mit freundlicher Genehmigung des Springer-Verlags)	3
Abbildung 4: Kniescharnierapparat nach Gluck (Fotomontage von Wessinghage 1991) [98].....	8
Abbildung 5: Knieprothesenmodelle der Firma Aesculap®; Links die drei Komponenten einer e.motion Prothese mit Femurkomponente, Polyethylen-Inlay und Tibiaplateau mit Verankerungsschaft; Rechts ein Beispiel des Typ Columbus® für die moderne Standardversorgung wie sie auch in dieser Studie verwendet wurde. (Abb. mit freundlicher Genehmigung der © B. Braun Melsungen AG).....	9
Abbildung 6: Röntgenbild Kniegelenk rechts mit Messung zur Beurteilung der Patellahöhe nach Insall und Salvati (eigene Aufnahme).....	26
Abbildung 7: Röntgenbild Knie rechts mit Knie-TEP zur Messung der Patellahöhe nach Insall und Salvati (eigene Aufnahme).	27

Abbildung 8: Röntgenbild eines rechten Kniegelenks zur Messung der Patellahöhe nach Caton und Deschamps (eigene Aufnahme).	28
Abbildung 9: Röntgenbild Knie rechts mit Knie-TEP zur Messung der Patellahöhe mit dCDI (eigene Aufnahme).	29
Abbildung 10: Box-Plot mit Verlauf der Indices präoperativ, nach ca. 3 Monaten zur ersten Kontrolluntersuchung und im Durchschnitt nach 60 Monaten zur letzten Kontrolluntersuchung [55].	36
Abbildung 11: OKS im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen.	40
Abbildung 12: Knee Score (kKSS) und Funktioneller Score (fKSS) im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen.....	41
Abbildung 13: Lysholm-Score im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen.....	43
Abbildung 14: Tegner-Aktivitätsgrad im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen.....	43
Abbildung 15: Mittelwerte der acht Dimensionen des SF-36 verglichen zwischen der Vergleichsgruppe und der Patienten mit PPI.....	46
Abbildung 16: Vergleich der 95% Konfidenzintervalle der Mittelwerte in den acht Dimensionen des SF-36 zwischen den Gruppen.	46

Abbildung 17: Kujala Anterior Knee Pain Scale im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen..... 47

Abbildung 18: Angabe der Gehstrecke in Meter..... 48

Abbildung 19: Bewegungsamplitude (ROM) präoperativ und postoperativ im Box-Plot mit Median und Interquartilsabstand in den jeweiligen Gruppen. 52

Abbildung 20: Streudiagramm zur Korrelation von präoperativer ROM zur postoperativen ROM mit einer Trendgeraden [55]. 53

7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Poweranalyse bei N=90 mit einer PPI-Gruppe von 9, einer Vergleichsgruppe von 81 und $\alpha=0,05$	33
Tabelle 2: a.) Bewertung der Gruppen nach Patellahöhe präoperativ, postoperativ zur ersten und letzten Kontrolluntersuchung; b.) Einteilung des Studienkollektivs in Vergleichsgruppe und Gruppe der PPI.....	38
Tabelle 3: OKS in den jeweiligen Gruppen.....	40
Tabelle 4: KSS in der jeweiligen Gruppe.....	41
Tabelle 5: Lysholm-Score und Tegner-Aktivitätsscore in den jeweiligen Gruppen.....	42
Tabelle 6: SF-36 mit seinen acht Dimensionen im Vergleich zwischen den jeweiligen Gruppen.....	45
Tabelle 7: Kujala Anterior Knee Pain Scale in den jeweiligen Gruppen.....	47
Tabelle 8: Schmerzskala NRS in Ruhe und unter Belastung der jeweiligen Gruppe.....	50
Tabelle 9: Häufigkeitstabelle der mediolateralen und sagittalen Stabilität der beiden Gruppen VG/PPI.....	51
Tabelle 10: Bewegungsamplitude (ROM) präoperativ und postoperativ zur letzten Kontrolluntersuchung in den jeweiligen Gruppen.....	52
Tabelle 11: Korrelationen zwischen Bewegungsamplitude (ROM) und Indices.....	54

Tabelle 12: Bewegungsamplitude (ROM) präoperativ und postoperativ zur letzten Kontrolluntersuchung zwischen PA und N.	55
Tabelle 13: Bewegungsamplitude (ROM) präoperativ und postoperativ zur letzten Kontrolluntersuchung zwischen PA und PPI.	56
Tabelle 14: Die Test-Scores verglichen zwischen der PA-Gruppe und der normalen Gruppe (N).....	57
Tabelle 15: Die Test-Scores verglichen zwischen der PA-Gruppe und der PPI-Gruppe.	58
Tabelle 16: Fallzahlbestimmung bei ungefähigem Anteil der PPI-Fälle am Gesamtkollektiv von 10% wie in dieser Studie.....	69
Tabelle 17: Fallzahlbestimmung bei ungefähigem Anteil der PPI-Fälle am Gesamtkollektiv von 5%, also niedriger als in dieser Studie.	70
Tabelle 18: Fallzahlbestimmung bei ungefähigem Anteil der PPI-Fälle am Gesamtkollektiv von 20%, also höher als in dieser Studie.....	70

8 Anhangsverzeichnis

Anhang 1:	Die deutsche Version des Oxford Knee Scores (OKS).....	92
Anhang 2:	Knee Society Score (KSS; Original Methode) [44].	95
Anhang 3:	Lysholm - Score und Tegner - Aktivitätsscore	97
Anhang 4:	Die deutsche Version des SF-36 Fragebogens.....	100
Anhang 5:	Kujala Anterior Knee Pain Scale (AKPS).....	105

9 Literaturverzeichnis

1. Aguirre-Pastor A, Ortolá DJ, Lizaur-Utrilla A, Rosa MA, and Lopez-Prats FA (2019) *Is Pseudo-Patella Baja Really a Serious Complication of Total Knee Arthroplasty?* J Arthroplasty. 35(2): p.557-562.
2. Ahlbäck S (1968) *Osteoarthritis of the knee. A radiographic investigation.* Acta radiol. 227: p.7-72.
3. Behrend H, Graulich T, Gerlach R, Spross C, and Ladurner A (2018) *Blackburne–Peel ratio predicts patients’ outcomes after total knee arthroplasty.* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 27(5): p.1562-1569.
4. Biedert RM (2000) *Korrelation zwischen Q-Winkel und Patellaposition,* in Das patellofemorale Schmerzsyndrom. C.J. Wirth and M. Rudert. Steinkopff: Heidelberg. p.78-86.
5. Blackburne J and Peel TE (1977) *A new method of measuring patellar height.* J Bone Joint Surg Br. 59(2): p.241-242.
6. Briggs KK, Lysholm J, Tegner Y, Rodkey WG, Kocher MS, and Steadman JR (2009) *The reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm score and Tegner activity scale for anterior cruciate ligament injuries of the knee: 25 years later.* Am J Sports Med. 37(5): p.890-897.
7. Brittberg M, Lindahl A, Nilsson A, Ohlsson C, Isaksson O, and Peterson L (1994) *Treatment of deep cartilage defects in the knee with autologous chondrocyte transplantation.* N Engl J Med. 331(14): p.889-895.
8. Bugelli G, Ascione F, Cazzella N, Franceschetti E, Franceschi F, Dell’Osso G, Svantesson E, Samuelsson K, and Giannotti S (2018) *Pseudo-patella baja: a minor yet frequent complication of total knee arthroplasty.* Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 26(6): p.1831-1837.
9. Bullinger M (1995) *German translation and psychometric testing of the SF-36 Health Survey: preliminary results from the IQOLA Project.* Soc Sci Med. 41(10): p.1359-1366.
10. Cabral F, Sousa-Pinto B, Pinto R, and Torres J (2017) *Patellar height after total knee arthroplasty: Comparison of 3 methods.* J Arthroplasty. 32(2): p.552-557.
11. Caton J, Deschamps G, Champat P, Lerat JL, and Dejour H (1982) *Les rotules basses: a propos de 128 observations.* Rev Chir Orthop. (68): p.317-325.
12. Caton J (2008) *Diagnostic et traitement des rotules hautes et des rotules basses.* Emémoires de l’Académie Nationale de Chirurgie. 7: p.33-9.

13. Caton JH, Prudhon JL, Aslanian T, and Verdier R (2016) *Patellar height assessment in total knee arthroplasty: a new method*. Int Orthop. 40(12): p.2527-2531.
14. Caylor D, Fites R, and Worrell TW (1993) *The relationship between quadriceps angle and anterior knee pain syndrome*. J Orthop Sports Phys Ther. 17(1): p.11-16.
15. Chonko DJ, Lombardi AVJ, and Berend KR (2004) *Patella baja and total knee arthroplasty (TKA): etiology, diagnosis, and management*. Surg Technol Int. 12: p.231-238.
16. Clark CR, Rorabeck CH, MacDonald S, MacDonald D, Swafford J, and Cleland D (2001) *Posterior-stabilized and cruciate-retaining total knee replacement: a randomized study*. Clin Orthop Relat Res. 392: p.208-212.
17. Cohen J (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Academic press. 2.
18. Cohen J (1992) *Statistical power analysis*. Curr Dir Psychol Sci. 1(3): p.98-101.
19. Crossley KM, Bennell KL, Cowan SM, and Green S (2004) *Analysis of outcome measures for persons with patellofemoral pain: which are reliable and valid?* Arch Phys Med Rehabil. 85(5): p.815-822.
20. Dammerer D, Liebensteiner MC, Kujala UM, Emmanuel K, Kopf S, Dirisamer F, and Giesinger JM (2018) *Validation of the German version of the Kujala score in patients with patellofemoral instability: a prospective multi-centre study*. Arch Orthop Trauma Surg. 138(4): p.527-535.
21. Davies GS, van Duren B, Shorthose M, Roberts PG, Morley JR, Monk AP, Murray DW, and Pandit HG (2016) *Changes in patella tendon length over 5 years after different types of knee arthroplasty*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 24(9): p.3029-3035.
22. Dawson J, Fitzpatrick R, Murray D, and Carr A (1998) *Questionnaire on the perceptions of patients about total knee replacement*. J Bone Joint Surg Br. 80(1): p.63-69.
23. Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie: *Leitlinien Gonarthrose [online]*. 2018 [Zugriff 17.06.20]; Available from: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/033-004l_S2k_Gonarthrose_2018-01_1.pdf.
24. Dinneen LC and Blakesley BC (1973) *Algorithm AS 62: a generator for the sampling distribution of the Mann-Whitney U statistic*. J R Stat Soc Ser C Appl Stat. 22(2): p.269-273.
25. Drobny TK, Munzinger UK, and Chomiak J (1995) *Der zweizeitige Wechsel bei der Behandlung der infizierten Knieprothese*. Orthopade. 24(4): p.360-366.

26. Dunbar M, Robertsson O, Ryd L, and Lidgren L (2001) *Appropriate questionnaires for knee arthroplasty: results of a survey of 3600 patients from The Swedish Knee Arthroplasty Registry*. J Bone Joint Surg Br. 83(3): p.339-344.
27. Etchebehere M, Lin PP, Moon BS, Yu J, Li L, and Lewis VO (2016) *Patellar height decreasing after distal femur endoprosthesis reconstruction does not affect functional outcome*. J Arthroplasty. 31(2): p.442-445.
28. Figgie 3rd HE, Goldberg VM, Heiple KG, Moller 3rd HS, and Gordon NH (1986) *The influence of tibial-patellofemoral location on function of the knee in patients with the posterior stabilized condylar knee prosthesis*. J Bone Joint Surg AM. 68(7): p.1035-1040.
29. Flören M, Davis J, Peterson MGE, and Laskin RS (2007) *A mini-midvastus capsular approach with patellar displacement decreases the prevalence of patella baja*. J Arthroplasty. 22(6): p.51-57.
30. Fornalski S, McGarry MH, Bui CNH, Kim WC, and Lee TQ (2012) *Biomechanical effects of joint line elevation in total knee arthroplasty*. Clin Biomech. 27(8): p.824-829.
31. Fuchs S and Mersmann A (2000) *Results of arthrodesis after knee prosthesis infection. Special reference to quality of life*. Unfallchirurg. 103(8): p.626-631.
32. Glass GV, Peckham PD, and Sanders JR (1972) *Consequences of Failure to Meet Assumptions Underlying the Fixed Effects Analyses of Variance and Covariance*. Review of Educational Research. 42(3): p.237-288.
33. Gluck T (1890) *Die Invaginationsmethode der Osteo-und Arthroplastik*. Berl Klin Wschr. 19(732): p.303.
34. Goodfellow J and O'Connor J (1978) *The mechanics of the knee and prosthesis design*. J Bone Joint Surg Br. 60(3): p.358-369.
35. Grelsamer RP and Meadows S (1992) *The modified Insall-Salvati ratio for assessment of patellar height*. Clin Orthop Relat Res. Sep(282): p.170-176.
36. Grelsamer RP (2002) *Patella baja after total knee arthroplasty: is it really patella baja?* J Arthroplasty. 17(1): p.66-69.
37. Gunston FH (1971) *Polycentric knee arthroplasty: prosthetic simulation of normal knee movement*. J Bone Joint Surg Br. 53(2): p.272-277.
38. Gwyn R, Kotwal RS, Holt MD, and Davies AP (2016) *Complete excision of the infrapatellar fat pad is associated with patellar tendon shortening after primary total knee arthroplasty*. Eur J Orthop Surg Traumatol. 26(5): p.545-549.
39. Hackenbroch MH (2001) *Periphere Arthrosen*, in Praxis der Orthopädie. W.B. (Hrsg.). Thieme: Stuttgart, New York., p.641-658.

40. Harcourt WGV, White SH, and Jones P (2001) *Specificity of the Oxford knee status questionnaire: The effect of disease of the hip or lumbar spine on patients' perception of knee disability*. J Bone Joint Surg Br. 83(3): p.345-347.
41. Hays RD, Sherbourne CD, and Mazel RM (1993) *The rand 36-item health survey 1.0*. Health Econ. 2(3): p.217-227.
42. Insall J and Salvati E (1971) *Patella position in the normal knee joint*. Radiology. 101: p.101-104.
43. Insall JN, Binazzi R, Soudry M, and Mestriner LA (1985) *Total knee arthroplasty*. Clin Orthop Relat Res. (192): p.13-22.
44. Insall JN, Dorr LD, Scott RD, and Scott WN (1989) *Rationale of the Knee Society clinical rating system*. Clin Orthop Relat Res. (248): p.13-14.
45. Jerosch J and Heisel J, (1998), *Knieendoprothetik: Indikationen, Operationstechnik, Nachbehandlung, Begutachtung*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
46. Jerosch J and Floren M (2000) *Quality of life improvement (SF-36) after implantation of a knee endoprosthesis*. Unfallchirurg. 103(5): p.371-374.
47. Johnson LL (2001) *Arthroscopic abrasion arthroplasty: a review*. Clin Orthop Relat Res. 391: p.306-317.
48. Kawamura H and Bourne RB (2001) *Factors affecting range of flexion after total knee arthroplasty*. J Orthop Sci. 6(3): p.248-252.
49. Kazemi SM, Besheli LD, Ejazi A, Sajadi MRM, Okhovatpoor MA, Zanganeh RF, and Minaei R (2011) *Pseudo-patella baja after total knee arthroplasty*. Med Sci Monit. 17(5): p.292.
50. Kellgren J and Lawrence J (1957) *Radiological assessment of osteo-arthritis*. Ann Rheum Dis. 16(4): p.494.
51. Kievit AJ, Breugem SJM, Sierevelt IN, Heesterbeek PJC, van de Groes SAW, Kremers KALC, Koëter S, and Haverkamp D (2013) *Dutch translation of the Kujala Anterior Knee Pain Scale and validation in patients after knee arthroplasty*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 21(11): p.2647-2653.
52. Kocher MS, Steadman JR, Briggs KK, Sterett WI, and Hawkins RJ (2004) *Reliability, validity, and responsiveness of the Lysholm knee scale for various chondral disorders of the knee*. J Bone Joint Surg Am. 86(6): p.1139-1145.
53. König C, Sharenkov A, Matziolis G, Taylor WR, Perka C, Duda GN, and Heller MO (2010) *Joint line elevation in revision TKA leads to increased patellofemoral contact forces*. J Orthop Res. 28(1): p.1-5.

54. Konrads C, Baumann B, and Barthel T (2018) *Knie*, in *Klinische Tests und Untersuchung in Orthopädie und Unfallchirurgie*. C. Konrads and M. Rudert. Springer-Verlag: Berlin. p.89-106.
55. Konrads C, Rejaibia J, Grosse LC, Springer F, Schreiner A, Schmidutz F, and Erne F (2021) *Patella-height analysis and correlation with clinical outcome after primary total knee arthroplasty*. *Journal of Orthopaedics* (zur Publikation angenommen).
56. Kujala UM, Jaakkola LH, Koskinen SK, Taimela S, Hurme M, and Nelimarkka O (1993) *Scoring of patellofemoral disorders*. *Arthroscopy*. 9(2): p.159-163.
57. Laskin RS (2002) *Joint line position restoration during revision total knee replacement*. *Clin Orthop Relat Res*. 404: p.169-171.
58. Lawrence RC, Hochberg MC, Kelsey JL, McDuffie FC, Medsger Jr TA, Felts WR, and Shulman LE (1989) *Estimates of the prevalence of selected arthritic and musculoskeletal diseases in the United States*. *J Rheumatol Suppl*. 16(4): p.427-441.
59. Lysholm J and Gillquist J (1982) *Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale*. *Am J Sports Med*. 10(3): p.150-154.
60. Meneghini RM, Ritter MA, Pierson JL, Meding JB, Berend ME, and Faris PM (2006) *The effect of the Insall-Salvati ratio on outcome after total knee arthroplasty*. *J Arthroplasty*. 21(6): p.116-120.
61. Müller W, (1982), *Das Knie: Form, Funktion und ligamentäre Wiederherstellungschirurgie*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
62. Nerlich AG, Zink A, Szeimies U, and Hagedorn HG (2000) *Ancient Egyptian prosthesis of the big toe*. *Lancet*. 356(9248): p.2176-2179.
63. Noyes FR, Wojtys EM, and Marshall MT (1991) *The early diagnosis and treatment of developmental patella infera syndrome*. *Clin Orthop Relat Res*. (265): p.241-252.
64. Paley D, (2014), *Principles of deformity correction*. 3. ed., Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag. p. 10-12.
65. Petersen W, Rembitzki IV, Brüggemann G-P, Ellermann A, Best R, Gösele-Koppenburg A, and Liebau C (2014) *Anterior knee pain after total knee arthroplasty: a narrative review*. *Int Orthop*. 38(2): p.319-328.
66. Porteous AJ, Hassaballa MA, and Newman JH (2008) *Does the joint line matter in revision total knee replacement?* *J Bone Joint Surg Br*. 90(7): p.879-884.
67. Prescher A (2011) *Anatomie des Kniegelenks (Articulatio genus)*, in *AE-Manual der Endoprothetik*. Springer: p.1-18.

68. Pridie KH, Z-k H, and Gordon-Strachan G (1959) *A method of resurfacing osteoarthritis knee joints*. The Journal of bone and joint surgery. 41 B(3): p.618-619.
69. Prudhon JL, Caton JH, Aslanian T, and Verdier R (2018) *How is patella height modified after total knee arthroplasty?* Int Orthop. 42(2): p.311-316.
70. Pullig O, Pfander D, and Swoboda B (2001) *Molekulare Grundlagen der Arthroseinduktion und -progression*. Orthopade. 30(11): p.825-833.
71. Puschmann T, Neuburger M, and Pagel JL, (1902), *Handbuch der Geschichte der Medizin*. Vol. 3. Jena: Gustav Fischer.
72. Rassir R, van de Bunt F, Sierevelt IN, and Nolte PA (2019) *The value of postoperative prosthesis alignment and patellar height measurements on standard X-rays after Total Knee Arthroplasty: Does it relate to knee function after 5 years?* Knee. 26(1): p.213-221.
73. Riley JLH (1976) *The evolution of total knee arthroplasty*. Clin Orthop Relat Res. (120): p.7-10.
74. Ritter MA and Stringer EA (1979) *Predictive range of motion after total knee replacement*. Clin Orthop Relat Res. Sep(143): p.115-119.
75. Sabbioni G, Rani N, Del Piccolo N, Ayad RB, Carubbi C, and Tigani D (2011) *Gap balancing versus measured resection technique using a mobile-bearing prosthesis in computer-assisted surgery*. Musculoskelet Surg. 95(1): p.25-30.
76. Salkind NJ, (2010), *Encyclopedia of research design*. Vol. 2. Sage.
77. Scuderi GR, Windsor RE, and Insall JN (1989) *Observations on patellar height after proximal tibial osteotomy*. J Bone Joint Surg AM. 71(2): p.245-248.
78. Seo J-G, Moon Y-W, Kim S-M, Park S-H, Lee B-H, Chang M-J, and Jo B-C (2015) *Prevention of pseudo-patella baja during total knee arthroplasty*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 23(12): p.3601-3606.
79. Sharma V, Tsailas PG, Maheshwari AV, Ranawat AS, and Ranawat CS (2008) *Does patellar eversion in total knee arthroplasty cause patella baja?* Clin Orthop Relat Res. 466(11): p.2763-2768.
80. Shi M, Lü H, and Guan Z (2006) *Influence of preoperative range of motion on the early clinical outcome of total knee arthroplasty*. Zhonghua Wai Ke Za Zhi. 44(16): p.1101-1105.
81. Shieh G, Jan S-l, and Randles RH (2006) *On power and sample size determinations for the Wilcoxon–Mann–Whitney test*. J Nonparametr Stat. 18(1): p.33-43.

82. Tegner Y and Lysholm J (1985) *Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries*. Clin Orthop Relat Res. (198): p.43-49.
83. Tillmann BN, (2005), *Untere Extremität*. Atlas der Anatomie des Menschen. Berlin Heidelberg: Springer. 463-554.
84. Trousdale RT and Pagnano MW (2002) *Fixed-bearing cruciate-retaining total knee arthroplasty*. Clin Orthop Relat Res. 404: p.58-61.
85. Truble I, Ferrer O, Bay C, and Mollan K (2019) *wmwpow: Precise and Accurate Power of the Wilcoxon-Mann-Whitney Rank-Sum Test for a Continuous Variable*. R package version 0.1.2.
86. van Houten AH, Heesterbeek PJC, and Wymenga AB (2016) *Patella position is not a determinant for anterior knee pain 10 years after balanced gap total knee arthroplasty*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 24(8): p.2656-2662.
87. van Jonbergen H-PW, Reuver JM, Mutsaerts EL, and Poolman RW (2014) *Determinants of anterior knee pain following total knee replacement: a systematic review*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 22(3): p.478-99.
88. Vargha A and Delaney HD (2000) *A critique and improvement of the CL common language effect size statistics of McGraw and Wong*. J Educ Behav Stat. 25(2): p.101-132.
89. Verhulst FV, van Sambeek JDP, Olthuis GS, van der Ree J, and Koëter S (2020) *Patellar height measurements: Insall-Salvati ratio is most reliable method*. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 28(3): p.869-875.
90. Virolainen P and Aro HT (2004) *High tibial osteotomy for the treatment of osteoarthritis of the knee: a review of the literature and a meta-analysis of follow-up studies*. Arch Orthop Trauma Surg. 124(4): p.258-261.
91. von Lanz T, Lang J, and Wachsmuth W, (1972), *Praktische Anatomie: Bein und Statik, Erster Band, vierter Teil*. 2. ed., Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
92. Walldius B (1957) *Arthroplasty of the knee using an endoprosthesis*. Acta Orthop Scand. 28(Suppl. 24): p.1-112.
93. Walldius B (1961) *Arthroplasty of the knee using an endoprosthesis: 8 years' experience*. Acta Orthop Scand. 30(1-4): p.137-148.
94. Ware Jr JE and Sherbourne CD (1992) *The MOS 36-item short-form health survey (SF-36): I. Conceptual framework and item selection*. Med Care. 30(6): p.473-483.
95. Waters TS and Bentley G (2003) *Patellar resurfacing in total knee arthroplasty: a prospective, randomized study*. J Bone Joint Surg Br. 85(2): p.212-217.

96. Wendt HW (1972) *Dealing with a common problem in Social science: A simplified rank-biserial coefficient of correlation based on the U statistic*. Eur J Soc Psychol. 2(4): p.463-465.
97. Wengler A, Nimptsch U, and Mansky T (2014) *Hip and knee replacement in Germany and the USA: analysis of individual inpatient data from German and US hospitals for the years 2005 to 2011*. Dtsch Arztebl Int. 111(23-24): p.407-416.
98. Wessinghage D (1991) *Themistocles Gluck*. Z Orthop Ihre Grenzgeb. 129(05): p.383-388.
99. Wurzinger LJ (2020) *Untere Extremität: Articulatio genus*, in Duale Reihe Anatomie. G. Aumüller, G. Aust, and A. Conrad. Thieme-Verlag: Stuttgart.
100. Xu B, Xu W-x, Lu D, Sheng H-f, Xu X-w, and Ding W-g (2017) *Application of different patella height indices in patients undergoing total knee arthroplasty*. J Orthop Surg Res. 12(1): p.191.
101. Yang JS, Fulkerson JP, Obopilwe E, Voss A, Divenere J, Mazzocca AD, and Edgar CM (2017) *Patellofemoral contact pressures after patellar distalization: a biomechanical study*. Arthroscopy. 33(11): p.2038-2044.
102. Yiannakopoulos CK, Mataragas E, and Antonogiannakis E (2008) *The effect of quadriceps contraction during weight-bearing on four patellar height indices*. J Bone Joint Surg Br. 90(7): p.870-873.

10 Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der BG Klinik Tübingen unter Betreuung von PD Dr. Christian Konrads und Dr. Felix Erne durchgeführt.

Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit PD Dr. Christian Konrads und Dr. Felix Erne.

Die Akquisition und Terminplanung erfolgten nach Absprache mit den Betreuern ausschließlich durch mich.

Die Aufklärung der Patienten erfolgte durch Dr. Felix Erne.

Die Anamnesegespräche, die körperlichen Untersuchungen und sämtliche Befragungen der Patienten wurden von mir mit Unterstützung von Dr. Felix Erne durchgeführt.

Die Röntgenbilder wurden mit freundlicher Unterstützung der Abteilung für Radiologische Diagnostik der BG Klinik Tübingen angefertigt.

Die Messungen der Indices wurden von mir und Lucia Grosse mit Unterstützung von PD. Dr. Christian Konrads durchgeführt. Die Auswertung der Messungen erfolgte durch mich.

Die statistische Auswertung erfolgte nach einem statistischen Beratungsgespräch mit Dr. Johann Jacoby vom Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie in Tübingen durch mich.

Das Manuskript zur Veröffentlichung besteht aus meinen Daten dieser Arbeit und einer Arbeit von Lucia C. Grosse. Es wurde von Dr. Felix Erne und mir erstellt, von PD Dr. Christian Konrads kontrolliert und überarbeitet und von allen Autoren überprüft.

Ich versichere, diese Dissertation selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen verwendet zu haben.

Tübingen, den 15.01.2021

Jesin Rejaibia

11 Veröffentlichungen

Teile der vorliegenden Dissertationsschrift wird in folgender Publikation veröffentlicht:

Konrads C, Rejaibia J, Grosse LC, Springer F, Schreiner A, Schmidutz F, Erne F (2021) *Patella-height analysis and correlation with clinical outcome after primary total knee arthroplasty*. Journal of Orthopaedics (zur Publikation angenommen)

DOI: 10.1016/j.jor.2021.01.001

12 Anhang

Anhang 1: Die deutsche Version des Oxford Knee Scores (OKS)

Fragebogen 1 (Oxford Knie Score)

Bitte beantworten Sie die folgenden 12 Fragen, indem Sie bei jeder Frage die zutreffende Zahl ankreuzen. Wählen Sie nur eine Antwort pro Frage.

Während der letzten 4 Wochen.

1. Wie würden Sie die Schmerzen beschreiben, die Sie üblicherweise in Ihrem Knie hatten?

- (1) Keine
- (2) Sehr Gering
- (3) Gering
- (4) Mäßig
- (5) Stark

2. Hatten Sie wegen Ihrem Knie Schwierigkeiten, sich selbst zu waschen und abzutrocknen (am ganzen Körper)?

- (1) Überhaupt keine Schwierigkeiten
- (2) Sehr geringe Schwierigkeiten
- (3) Mäßig Schwierigkeiten
- (4) Extreme Schwierigkeit
- (5) Unmöglich zu tun

3. Hatten Sie wegen Ihrem Knie Schwierigkeiten, in ein, bzw. aus einem Auto zu steigen oder öffentliche Verkehrsmittel zu benutzen? (welches Sie eher benutzen)

- (1) Überhaupt keine Schwierigkeiten
- (2) Sehr geringe Schwierigkeiten
- (3) Mäßig Schwierigkeiten
- (4) Extreme Schwierigkeit
- (5) Unmöglich zu tun

4. Wie lange konnten Sie gehen, bevor Sie starke Schmerzen in Ihrem Knie bekamen (mit oder ohne Stock)?

- (1) Keine Schmerzen /> 30 Minuten
- (2) 16 bis 30 Minuten
- (3) 5 bis 15 Minuten
- (4) Nur zu Hause
- (5) Gar nicht

5. Wie schmerzhaft war es für Sie wegen Ihrem Knie, nach einer Mahlzeit wieder vom Tisch aufzustehen?

- (1) Gar nicht schmerzhaft
- (2) Ein wenig schmerzhaft
- (3) Mäßig schmerzhaft
- (4) Sehr schmerzhaft
- (5) Unerträglich

6. Haben Sie wegen Ihrem Knie beim Gehen gehinkt?

- (1) Selten/nie
- (2) Manchmal oder nur am Anfang
- (3) Oft, nicht nur am Anfang
- (4) Die meiste Zeit
- (5) Die ganze Zeit

7. Konnten Sie sich hinknien und danach wieder aufstehen?

- (1) Ja, leicht
- (2) Mit geringen Schwierigkeiten
- (3) Mit mäßigen Schwierigkeiten
- (4) Mit extremen Schwierigkeiten
- (5) Nein, unmöglich

8. Wurden Sie nachts im Bett durch Schmerzen in Ihrem Knie gestört?

- (1) Nie
- (2) Nur 1 oder 2 Nächte
- (3) Einige Nächte
- (4) Die meisten Nächte
- (5) Jede Nacht

9. Wie sehr haben Schmerzen in Ihrem Knie Ihre normale Arbeit (einschließlich Hausarbeit) beeinträchtigt?

- (1) Gar nicht
- (2) Ein wenig
- (3) Mäßig
- (4) Erheblich
- (5) Vollständig

10. Hatten Sie das Gefühl, dass Ihr Knie plötzlich "nachgeben" oder Sie nicht mehr tragen könnte?

- (1) Selten/nie
- (2) Manchmal oder nur am Anfang
- (3) Oft, nicht nur am Anfang
- (4) Die meiste Zeit
- (5) Die ganze Zeit

11. Konnten Sie die Haushaltseinkäufe selbst erledigen?

- (1) Ja, leicht
- (2) Mit geringen Schwierigkeiten
- (3) Mit mäßigen Schwierigkeiten
- (4) Mit extremen Schwierigkeiten
- (5) Nein, unmöglich

12. Konnten Sie eine Treppe hinunter gehen?

- (1) Ja, leicht
- (2) Mit geringen Schwierigkeiten
- (3) Mit mäßigen Schwierigkeiten
- (4) Mit extremen Schwierigkeiten
- (5) Nein, unmöglich

Anhang 2: Knee Society Score (KSS; Original Methode) [44].

A. „Knee-Score“ (max. 100 Punkte)

1.) Schmerzen

- | | | | |
|-----------------------|---|----|--|
| <input type="radio"/> | Ich habe keine Schmerzen. | 50 | |
| <input type="radio"/> | Ich habe geringe oder nur gelegentliche Schmerzen. | 45 | |
| <input type="radio"/> | Ich habe immer geringe Schmerzen beim Treppensteigen. | 40 | |
| <input type="radio"/> | Ich habe immer geringe Schmerzen beim Gehen und Treppensteigen. | 30 | |
| <input type="radio"/> | Ich habe gelegentlich mäßige Schmerzen. | 20 | |
| <input type="radio"/> | Ich habe immer Schmerzen. | 10 | |
| <input type="radio"/> | Ich habe starke Schmerzen. | 0 | |

= _____

2.) Bewegungsumfang

ROM : (5° = 1 Punkt, 125 ° max. bzw. max. 25 Punkte)

E / F = _____ = (ROM in °) / 5 = _____

= _____

3.) Stabilität

-anterior – posterior

- | | | | |
|-----------------------|-----------|----|--|
| <input type="radio"/> | < 5 mm | 10 | |
| <input type="radio"/> | 5 – 10 mm | 5 | |
| <input type="radio"/> | >10 mm | 0 | |

= _____

-medio - lateral

- | | | | |
|-----------------------|-----------|----|--|
| <input type="radio"/> | < 5 ° | 15 | |
| <input type="radio"/> | 6 – 9 ° | 10 | |
| <input type="radio"/> | 10 – 14 ° | 5 | |
| <input type="radio"/> | >15 ° | 0 | |

= _____

Abzüge bei

-Flexionskontraktur (passiv):

- | | | | |
|-----------------------|-----------|------|--|
| <input type="radio"/> | 0° | 0 | |
| <input type="radio"/> | 5 – 10 ° | - 2 | |
| <input type="radio"/> | 10 – 15 ° | - 5 | |
| <input type="radio"/> | 16 – 20 ° | - 10 | |
| <input type="radio"/> | > 20 ° | - 15 | |

= _____

-Streckdefizit (aktiv):

<input type="radio"/>	0°	0	
<input type="radio"/>	< 10 °	- 5	
<input type="radio"/>	10 – 20 °	- 10	
<input type="radio"/>	> 20 °	- 15	

		=	

-Malalignment (Achsabweichung, Valgus femorotibial)

<input type="radio"/>	5 – 10 °	0	
<input type="radio"/>	0 – 4 °	-3 Punkte /°	
<input type="radio"/>	11 – 15 °	-3 Punkte /°	
<input type="radio"/>	<0 – 15°<	-20	

		=	

Gesamtpunktzahl A: _____
=

B. „Functional-Score“ (max. 100 Punkte)

1.) Gehfähigkeit

<input type="radio"/>	Ich kann unbegrenzt gehen.	50	
<input type="radio"/>	Ich kann mehr als 1 km gehen.	40	
<input type="radio"/>	Ich kann 500 m bis 1000 m gehen.	30	
<input type="radio"/>	Ich kann weniger als 500 m gehen.	20	
<input type="radio"/>	Ich bin an das Haus gebunden.	10	
<input type="radio"/>	Ich kann nicht gehen	0	

		=	

2.) Treppensteigen

<input type="radio"/>	Ich kann normal treppauf und treppab gehen.	50	
<input type="radio"/>	Ich kann normal treppauf gehen, treppab nur mit Geländer.	40	
<input type="radio"/>	Ich gehe treppauf und treppab mit Geländer.	30	
<input type="radio"/>	Ich gehe treppauf mit Geländer, treppab ist nicht möglich.	15	
<input type="radio"/>	Ich kann keine Treppen gehen.	0	

		=	

Abzüge bei

<input type="radio"/>	1 Gehstock/-stütze	- 5	
<input type="radio"/>	2 Gehstöcke/-stützen	- 10	
<input type="radio"/>	Gehbank/Rollator, Achselstützen etc.	- 20	

		=	

Gesamtpunktzahl B: _____
=

Anhang 3: Lysholm - Score und Tegner - Aktivitätsscore

Fragebogen 4

(Tegner-Lysholm-Score)

Hinken

- Kein 5
- leicht oder gelegentlich 3
- stark und konstant 0

Hilfsmittel

- Keine 5
- Stock oder Unterarmgehstütze 2
- Belastung unmöglich 0

Blockieren

- kein Blockieren und kein Gefühl des Einklemmens 15
- Gefühl des Einklemmens aber kein Blockieren 10
- gelegentliches Blockieren 6
- regelmäßiges Blockieren 2
- blockiertes Gelenk bei der Untersuchung 0

Instabilität

- niemals „giving way“ (= einknicken) 25
- selten während des Sports oder anderer starker Anstrengung 20
- regelmäßig während des Sports oder anderer starker Anstrengung (oder Teilnahme unmöglich) 15
- gelegentlich bei Alltagsaktivitäten 10
- oft bei Alltagsaktivitäten 5
- bei jedem Schritt 0

Schmerzen

- Keine 25
- nicht immer und leicht während starker Anstrengung 20
- deutlich während starker Anstrengung 15
- deutlich während oder nach mehr als 2 km gehen 10
- deutlich während oder nach weniger als 2 km gehen 5
- konstant 0

Schwellung

- Keine 10
- bei starker Anstrengung 6
- bei gewöhnlicher Anstrengung 2
- konstant 0

Treppensteigen

- keine Probleme 10
- leicht eingeschränkt 6
- Stufe für Stufe 2
- Unmöglich 0

Kniebeugen (in die Hocke gehen)

- kein Problem 5
- leicht eingeschränkt 4
- nicht mehr als 90° 2
- unmöglich 0

12 Anhang

Aktivitätsgrad	Tätigkeit	Wertung
Wettkampfsport – auf nationalen und internationalem Niveau	• Fußball, Ski alpin (auf nationalem oder internationalem Niveau)	10
Wettkampfsport	• Eishockey, Ringen, Turnen, Fußball, Ski alpin (auf regionalem Niveau)	9
Wettkampfsport	• Snowboard, Badminton, Squash, Leichtathletik (Sprungdisziplinen)	8
Wettkampfsport Freizeitsport	• Tennis, Leichtathletik, (Lauf- und Wurfdisziplinen), Geräteturnen, Handball, Basketball, Orientierungslauf, Crosslauf • Eishockey, Fußball, Ski alpin	7
Freizeitsport	• Badminton, Tennis, Squash, Basketball, Handball, Volleyball, Orientierungslauf, Crosslauf, Snowboard, Aerobic (high impact), Joggen (mindestens 5x die Woche)	6
Wettkampfsport Freizeitsport Arbeit	• Radfahren, Skilanglauf, Eiskunstlauf • Turnen, Gymnastik, In-line-skating, Klettern, Bergsteigen, Skitouren, Schneeschuhlaufen, Joggen auf unebenem Boden (mindestens 2x die Woche) • Schwere körperliche Arbeit (Bauarbeit, Waldarbeit)	5
Freizeitsport Arbeit	• Skilanglauf, Radfahren, Tanzen, Aerobic (low impact), Bergwandern (abwärts), Joggen auf ebenem Boden (mind. 2x die Woche) • Mittelschwere körperliche Arbeit (schwere Hausarbeit)	4
Wettkampf- und Freizeitsport Arbeit Gehen	• Schwimmen, Wandern, Walking, Kegeln, Bowling • Leichte körperliche Arbeit • Querfeldein ist möglich	3
Arbeit Gehen	• Vorwiegend sitzende Tätigkeit • Auf unebenem Boden möglich	2
Arbeit	Gehen • Sitzende Tätigkeit • Nur auf ebenem Boden möglich	1
Arbeit Gehen	• Arbeitsunfähig oder berentet aufgrund von Knieproblemen • Nur eingeschränkt möglich	0

Anhang 4: Die deutsche Version des SF-36 Fragebogens

<

Fragebogen zum Gesundheitszustand (SF-36)

In diesem Fragebogen geht es um Ihre Beurteilung Ihres Gesundheitszustandes. Der Bogen ermöglicht es, im Zeitverlauf nachzuvollziehen, wie Sie sich fühlen und wie Sie im Alltag zurechtkommen.

Bitte beantworten Sie jede der folgenden Fragen, indem Sie bei den Antwortmöglichkeiten die Zahl ankreuzen, die am besten auf Sie zutrifft.

1. Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand im Allgemeinen beschreiben ?

(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Ausgezeichnet..... 1
- Sehr gut..... 2
- Gut..... 3
- Weniger gut..... 4
- Schlecht..... 5

2. Im Vergleich zum vergangenen Jahr, wie würden Sie Ihren derzeitigen Gesundheitszustand beschreiben ?

(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Derzeit viel besser als vor einem Jahr..... 1
- Derzeit etwas besser als vor einem Jahr..... 2
- Etwa so wie vor einem Jahr..... 3
- Derzeit etwas schlechter als vor einem Jahr..... 4
- Derzeit viel schlechter als vor einem Jahr..... 5

12 Anhang

3. Im folgenden sind einige Tätigkeiten beschrieben, die Sie vielleicht an einem normalen Tag ausüben. Sind Sie durch Ihren derzeitigen Gesundheitszustand bei diesen Tätigkeiten eingeschränkt? Wenn ja, wie stark?

(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

TÄTIGKEITEN	Ja, stark eingeschränkt	Ja, etwas eingeschränkt	Nein, überhaupt nicht eingeschränkt
a. anstrengende Tätigkeiten, z.B. schnell laufen, schwere Gegenstände heben, anstrengenden Sport treiben	1	2	3
b. mittelschwere Tätigkeiten, z.B. einen Tisch verschieben, staubsaugen, kegeln, Golf spielen	1	2	3
c. Einkaufstaschen heben oder tragen	1	2	3
d. mehrere Treppenabsätze steigen	1	2	3
e. einen Treppenabsatz steigen	1	2	3
f. sich beugen, knien, bücken	1	2	3
g. mehr als 1 Kilometer zu Fuß gehen	1	2	3
h. mehrere Straßenkreuzungen weit zu Fuß gehen	1	2	3
i. eine Straßenkreuzung weit zu Fuß gehen	1	2	3
j. sich baden oder anziehen	1	2	3

4. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund Ihrer körperlichen Gesundheit irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause?

(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

SCHWIERIGKEITEN	JA	NEIN
a. Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1	2
b. Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
c. Ich konnte nur bestimmte Dinge tun	1	2
d. Ich hatte Schwierigkeiten bei der Ausführung (z.B. ich mußte mich besonders anstrengen)	1	2

12 Anhang

5. Hatten Sie in den vergangenen 4 Wochen aufgrund seelischer Probleme irgendwelche Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen alltäglichen Tätigkeiten im Beruf bzw. zu Hause (z.B. weil Sie sich niedergeschlagen oder ängstlich fühlten) ?

(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

SCHWIERIGKEITEN	JA	NEIN
a. Ich konnte nicht so lange wie üblich tätig sein	1	2
b. Ich habe weniger geschafft als ich wollte	1	2
c. Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten	1	2

6. Wie sehr haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre normalen Kontakte zu Familienangehörigen, Freunden, Nachbarn oder zum Bekanntenkreis beeinträchtigt?

(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Überhaupt nicht..... 1
- Etwas..... 2
- Mäßig..... 3
- Ziemlich..... 4
- Sehr..... 5

7. Wie stark waren Ihre Schmerzen in den vergangenen 4 Wochen ?

(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Ich hatte keine Schmerzen..... 1
- Sehr leicht 2
- Leicht..... 3
- Mäßig..... 4
- Stark..... 5
- Sehr stark..... 6

12 Anhang

8. Inwieweit haben die Schmerzen Sie in den vergangenen 4 Wochen bei der Ausübung Ihrer Alltagstätigkeiten zu Hause und im Beruf behindert ?

(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Überhaupt nicht..... 1
- Ein bißchen..... 2
- Mäßig..... 3
- Ziemlich..... 4
- Sehr..... 5

9. In diesen Fragen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie es Ihnen in den vergangenen 4 Wochen gegangen ist. (Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile die Zahl an, die Ihrem Befinden am ehesten entspricht). Wie oft waren Sie in den vergangenen 4 Wochen...

(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

BEFINDEN	Immer	Meistens	Ziemlich oft	Manch-Mal	Selten	Nie
a. ...voller Schwung	1	2	3	4	5	6
b. ...sehr nervös	1	2	3	4	5	6
c. ...so niedergeschlagen, daß Sie nichts aufheitern konnte ?	1	2	3	4	5	6
d. ...ruhig und gelassen	1	2	3	4	5	6
e. ...voller Energie?	1	2	3	4	5	6
f. ...entmutigt und traurig	1	2	3	4	5	6
g. ...erschöpft	1	2	3	4	5	6
h. ... glücklich	1	2	3	4	5	6
i. ...müde	1	2	3	4	5	6

12 Anhang

10. Wie häufig haben Ihre körperliche Gesundheit oder seelischen Probleme in den vergangenen 4 Wochen Ihre Kontakte zu anderen Menschen (Besuche bei Freunden, Verwandten usw.) beeinträchtigt?

(Bitte kreuzen Sie nur eine Zahl an)

- Immer..... 1
- Meistens..... 2
- Manchmal..... 3
- Selten..... 4
- Nie..... 5

11. Inwieweit trifft jede der folgenden Aussagen auf Sie zu ?

(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile nur eine Zahl an)

AUSSAGEN	Trifft ganz zu	Trifft weit- gehend zu	Weiß nicht	Trifft weitgehend nicht zu	Trifft überhaupt nicht zu
a. Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden	1	2	3	4	5
b. Ich bin genauso gesund wie alle anderen, die ich kenne	1	2	3	4	5
c. Ich erwarte, daß meine Gesundheit nachläßt	1	2	3	4	5
d. Ich erfreue mich ausgezeichneter Gesundheit	1	2	3	4	5

Anhang 5: Kujala Anterior Knee Pain Scale (AKPS)

Fragebogen 3
(Kujala Anterior Knee Pain Scale)

Bitte wählen Sie bei folgenden Fragen
ihre zutreffende Beschwerde aus.
Immer nur ein Kreuz.

1.) Humpeln/Hinken beim Gehen?

- nie (5)
- etwas oder periodisch (3)
- konstant /dauerhaft (0)

2.) Gewichtsbelastung des Kniegelenks

- volle Unterstützung ohne Schmerz (5)
- ist schmerzhaft (3)
- ist unmöglich (0)

3.) Normales Gehen im Alltag.

- unbegrenzt ohne Schmerz (5)
- mehr als 2 km möglich (3)
- 1-2 km möglich (2)
- ist unmöglich (0)

4.) Treppen steigen

- keine Schwierigkeit (10)
- leichter Schmerz beim treppab gehen (8)
- Schmerz bei treppab und -auf gehen (5)
- nicht mehr möglich (0)

5.) Hocke/tiefe Kniebeuge

- keine Schwierigkeit (5)
- Schmerz bei wiederholter Bewegung (4)
- Schmerz bei jeder Bewegung (3)
- ist möglich unter Teilbelastung des betroffenen Kniegelenks (2)
- nicht mehr möglich (0)

6.) Rennen/Joggen

- keine Schwierigkeit (10)
- Schmerz bei mehr als 2 km (8)
- bei Beginn ein leichter Schmerz (6)
- bei Beginn starke Schmerzen (3)
- nicht mehr möglich (0)

7.) Springen

- keine Probleme (10)
- geringe Schwierigkeit (7)
- konstanter Schmerz (2)
- nicht mehr möglich (0)

8.) Längeres Sitzen mit gebeugtem Kniegelenk

- keine Schwierigkeit (10)
- Schmerz nach Übungen (8)
- konstanter Schmerz (6)
- wegen Schmerz muss das Kniegelenk zeitnah gestreckt werden (4)
- nicht mehr möglich (0)

9.) Schmerz

- kein Schmerz (10)
- leicht und gelegentlich (8)
- stört den Schlaf (6)
- gelegentlich starker Schmerz (3)
- konstant starker Schmerz (0)

10.) Schwellung

- keine Schwellung (10)
- nach schweren Anstrengungen (8)
- nach Alltagsaktivitäten (6)
- jeden Abend (4)
- konstant/dauerhaft (0)

11.) Abnormale schmerzhafte Bewegung der Kniescheibe

- niemals (10)
- gelegentlich bei sportlicher Aktivität (6)
- gelegentlich bei Alltagsaktivitäten (4)
- mindestens eine dokumentierte Dislokation der Kniescheibe (2)
- mehr als 2 Dislokationen (0)

12.) Muskelabnahme des Oberschenkels

- keine Muskelabnahme (5)
- leichte Abnahme (3)
- starke Abnahme (0)

13.) Defizite bei Kniebeugung

- keine Defizite (5)
- leichte Defizite (3)
- starke Defizite (0)

13 Danksagung

Besonders danken möchte ich meinem Doktorvater Herrn PD Dr. med. Christian Konrads von dem die Idee für dieses Forschungsprojekt stammt und der mir die Arbeit an diesem spannenden Thema ermöglicht hat und mich stets persönlich, wie auch per E-Mail oder Telefon sehr gut betreute und immer offen für Fragen zur Verfügung stand.

Als nächstes möchte ich meinem Ansprechpartner Dr. Felix Erne danken, der mich an den Studientagen tatkräftig unterstützt hat und ebenfalls als sehr hilfsbereiter und netter Ansprechpartner für jegliche Fragen zum Studienablauf stets zur Verfügung stand.

Ein großer Dank gebührt auch cand. med. Lucia Constanze Grosse, die die Vorarbeit zu dieser Studie durchgeführt hat, mich in die Messtechniken der Indices miteinwies und selbst die Zweitmessungen für diese Studie durchgeführt hat.

Auch Dr. Johann Jacoby vom Institut für Klinische Epidemiologie und angewandte Biometrie in Tübingen danke ich für die ausführliche Beratung aller statistischen Fragestellungen vor und während der Studienausswertung.

Vielen Dank auch an meine Familie für die bedingungslose Unterstützung, vor allem meiner Freundin Miriam und unserer Tochter Nayla. Ihr gebt mir nach einem anstrengenden Tag jeden Abend die Energie, weiterzumachen.

Zuletzt möchte ich allen Patienten danken, die an dieser Studie teilnahmen, obwohl sie dafür teilweise sehr lange Strecken in die BG Klinik auf sich nehmen mussten.