

„Korrelation von patient related outcome measures und
Ganganalyseparametern nach Knieendoprothese“

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät

der Friedrich- Schiller- Universität Jena

von Julia Kirschberg

geboren am 07.09.1988 in Gotha

Gutachter

1. Prof. Dr. med. Georg Matziolis
2. Prof. Dr. med. Georgi Wassilew
3. Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Gunther O. Hofmann

Tag der öffentlichen Verteidigung: 05.10.2021

Inhaltsverzeichnis

1. Abkürzungsverzeichnis

2. Zusammenfassung

3. Einleitung

3.1. Epidemiologie der Gonarthrose

3.2. Therapie der Gonarthrose

3.2.1 konservative Therapie

3.2.1.1 Medikamentöse Therapie

3.2.1.2 Physiotherapeutische Maßnahmen

3.2.1.3 Heil- und Hilfsmittel

3.2.2 operative Therapie

3.2.2.1 Gelenkerhaltende operative Therapie

3.2.2.2 Gelenkersetzende Therapie

3.3. Sensomotorik des Gehens und Ganganalyse

4. Ziele der Arbeit

5. Methodik

5.1. Patienten

5.2. Implantate und Op- Technik

5.2.1 Attune- Prothesenmodell

5.2.2 LCS- Prothesenmodell

5.2.3 e.motion Knie- Totalendoprothese

5.2.4 Op- Technik

5.3. Ganganalyse

5.4. Einbezogene PROM's

5.4.1 WOMAC

5.4.2 KSS

5.4.3 FJS

5.5. Statistik

6. Ergebnisse

6.1. PROM postoperativ

6.2. Korrelation PROM und Ganganalyseparameter

7. Diskussion

8. Schlussfolgerungen

9. Literatur- und Quellenverzeichnis

10. Anhang

10.1. Korrelierende Parameter KSS und Ganganalyse absolut

10.2. Korrelierende Parameter KSS und Ganganalyse normiert

10.3. Korrelierende Parameter WOMAC und Ganganalyse absolut

10.4. Korrelierende Parameter WOMAC und Ganganalyse normiert

10.5. Korrelierende Parameter FJS und Ganganalyse absolut

10.6. Korrelierende Parameter FJS und Ganganalyse normiert

10.7. Danksagung

10.8. Ehrenwörtliche Erklärung

10.9. Lebenslauf

1. Abkürzungsverzeichnis

WOMAC	Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index
KSS	Knee Society Score
FJS	Forgotten Joint Score
Hz	Hertz
PROM	Patient related outcome measures
IBK	Initialer Bodenkontakt
KOOS	Knee and Osteoarthritis Outcome Score
M	Musculus
NSAR	Nicht- steroidale Antirheumatika
GI	Gastrointestinal
TEP	Totalendoprothese
Ex	Extension
Flex	Flexion
ROM	Range of motion
KI	Kontraindikationen
TENS	Transkutane elektrische Nervenstimulation
NMES	Neuromuskuläre elektrische Stimulation
mm	Millimeter
MPFL	Mediales patellofemorales Ligament
VKB	Vorderes Kreuzband

HKB	Hinteres Kreuzband
HTO	Hohe Tibiakopf- Osteotomie
BMI	Body mass Index
VAS	Visuelle Analogskala
RCT	Randomized controlled trial
z. B.	Zum Beispiel
%	Prozent

2. Zusammenfassung

Der Endoprothetische Kniegelenksersatz ist eine seit mehreren Jahrzehnten etablierte Methode zur kausalen Therapie der manifesten Gonarthrose. Ziel des operativen Eingriffs ist die Wiederherstellung einer schmerzfreien Belastbarkeit und Gelenkbeweglichkeit nach Ausschöpfung aller konservativen Behandlungsmaßnahmen. Die Indikationsstellung zur Knieendoprothese hat sich hierbei in der letzten Dekade deutlich verändert. Während früher Schmerz und Behinderung die Hauptindikationskriterien waren, ist es heute vorrangig die Einschränkung der Lebensqualität [1].

Die Lebensqualität als multidimensionales Konstrukt ist erschwert isoliert zu beurteilen. Für die Bewertung der Funktionsverbesserung, sowie die damit einhergehende Verbesserung der Lebensqualität nach einem operativen Eingriff, nehmen sogenannte „Patient related outcome measures“ eine tragende Rolle ein. Neben der Beurteilung der individuellen Lebensqualität kommt ihnen auch in der Erfolgsbeurteilung und damit in der Beurteilung des Outcome der Patienten nach dem operativen Eingriff eine wichtige Rolle zu. [2]

Nachteile bei der Anwendung von PROMs sind zum Einen die geringe Objektivität der Ergebnisse und zum Anderen die hohe Anzahl von Patienten, welche in eine Studie eingeschlossen und befragt werden müssen, um statistisch signifikante Effekte auf die Patient related outcome measures zu erfassen.

Neben Patientensubjektiven Fragebögen kann das operative Ergebnis außerdem anhand vielfältiger objektiver Parameter beurteilt werden. Hierzu werden im klinischen Alltag Parameter wie die Beinachse, die Stabilität des operierten Gelenk oder das entsprechende Bewegungsausmaß hinzugezogen.

Mit dem Messinstrument der Ganganalyse kann eine Beurteilung des Outcomes hingegen anhand objektiver Parameter des spezifischen Gangbildes eines Patienten erfolgen. Die Beurteilung von relevanten Effekten kann so schon anhand eines kleinen Patientenkollektivs erfolgen.

Im Rahmen des endoprothetischen Gelenkersatz konnte durch verschiedene Forschungsgruppen ein pathologisches Gangbild festgestellt werden. Diese Pathologien werden durch verschiedene Faktoren verursacht.

Um eine Verbesserung des Gangbildes nach Implantation eines bikondylären Oberflächenersatz und damit eine Verbesserung des Outcome der Patienten zu erzielen, ist die stetige Weiterentwicklung der präoperativen Diagnostik, der Operationstechniken, des Prothesendesigns und der Rehammaßnahmen nötig.

Als ein Element der Optimierung nach einer Knieprothese kann sich hierbei die Ganganalyse erweisen. Hierzu ist die Identifikation einzelner Parameter nötig, welche signifikant mit den Patient reported outcome measures korrelieren, um zukünftig als deren Surrogatparameter zu dienen. So könnten spezifische Parameter des Gangbildes postoperativ gezielt verbessert und so das Outcome der Patienten nach Implantation einer Knieendoprothese optimiert werden.

3. Einleitung

Die Arthrose der Gelenke gilt weltweit als eine der häufigsten Erkrankungen des degenerativen Formenkreises mit entsprechenden allgemeinen, ökonomischen und individuellen Folgen für betroffene Patienten. Es ist dabei von einem multifaktoriellen Prozess auszugehen, dessen endgültige Ätiologie weiterhin nicht abschließend geklärt ist.

Es wird zwischen primären und sekundären Formen der Arthrose unterschieden, welche sich durch eine jeweils unterschiedliche Ätiologie kennzeichnen. Für die sekundäre Form der Arthrose sind verschiedene Risikofaktoren identifiziert, die mit der Entstehung der Erkrankung assoziiert sind. Hierzu gehören unter anderem angeborene, sowie erworbene Gelenkschäden, endokrine Erkrankungen, metabolische Störungen, entzündlich-rheumatische Erkrankungen, Durchblutungsstörungen bei avaskulären Nekrosen und posttraumatische Zustände. Diesen spezifischen Risikofaktoren stehen allgemeine Faktoren wie Adipositas, Alter, Geschlecht, genetische, biomechanische und entzündliche Faktoren gegenüber. [3] Bei fehlenden spezifischen Risikofaktoren ist von einer primären Form der Arthrose auszugehen.

Zu den führenden Symptomen gehören vorrangig im fortgeschrittenen Stadium Bewegungseinschränkungen, Anlaufschmerzen, Nacht- und Ruheschmerzen, belastungsabhängige Beschwerden, gutes Ansprechen auf Analgetika und stadienhafte Verläufe mit schmerzarmen und schmerzhaften Intervallen. Zusätzlich ergeben sich hieraus oftmals ein Verlust an Mobilität und entsprechender Lebensqualität. [4]

Typische radiologische Zeichen der Arthrose sind die asymmetrische Gelenkspaltverschmälerung, subchondrale Sklerose, Osteophytenbildung, Geröllzysten und in fortgeschrittenen Fällen verschiedene Fehlstellungen. [5]

Die Gonarthrose ist eine degenerative Erkrankung, welche durch den sukzessiven, irreversiblen Verlust von hyalinem Knorpel des Kniegelenks gekennzeichnet ist. Der Krankheitsverlauf ist von langen asymptomatischen Phasen mit abwechselnd entzündlicher Aktivität gekennzeichnet. [6] Die Phasen der Gonarthrose werden morphologisch und radiologisch in vier Stadien unterschieden. [7] Diese zeichnen sich auf zellulärer Ebene durch ein gestörtes Gleichgewicht des Knorpelstoffwechsels mit überwiegend abbauenden

Prozessen und Zerstörung von Kollagenen aus. Knorpelzellen reagieren auf das gestörte Gleichgewicht mit einer übermäßigen Neubildung von Knorpelmatrix von geringerer Qualität, welche bei normaler Gelenkfunktion eine geringere Resistenz gegen physikalische Belastungen aufweist. Somit kommt es über längere Zeiträume zur irreversiblen Schädigung, zunächst mit Rissbildung der Knorpeloberfläche und zunehmender Auffaserung der Knorpelmatrix. Im Endstadium zeigen die betroffenen Gelenke meist großflächige Abrasionen der Knorpeloberfläche und schließlich eine Freilegung der subchondralen Knochenlamelle. [6]



Abbildung 1: Schematische Darstellung der Anatomie eines kranken Kniegelenks, Gesundheitsberichterstattung des Bundes, RKI, Arthrose, Heft 54, Martina Rabenberg, Robert-Koch-Institut, Berlin 2013

3.1. Epidemiologie der Gonarthrose

Die Prävalenz der Gonarthrose während der Lebenszeit beträgt circa 23 %. [8] Hierbei existiert eine deutliche Differenz zwischen der radiologischen und klinischen Manifestation der Erkrankung. Somit weisen bis zu 33% aller Erwachsenen radiologische Zeichen einer Arthrose an unterschiedlichen Gelenken auf, wobei die Gonarthrose den größten Anteil mit circa 6% ausmacht. [9] Dabei muss die Erkrankung nicht in allen Fällen klinische Symptome aufweisen. Es existiert eine deutliche Differenz zwischen den radiologischen Arthrosezeichen

und den klinischen Beschwerden der Betroffenen. So klagen nur etwa 15% der Patienten mit einer radiologisch gesicherten Gonarthrose auch über klinische Symptome. [10] Zudem ist die Prävalenz der Gonarthrose abhängig von verschiedenen Faktoren wie Alter, Geschlecht und Ethnie der Patienten. Mit steigendem Lebensalter steigt die Prävalenz der Gonarthrose, bei einem Lebensalter über 70 Jahren ist von einer Rate an Neuerkrankungen von 1% pro Jahr auszugehen. [11] Im Rahmen des demographischen Wandels in Deutschland entwickelte sich die Altersstruktur in den letzten 20 Jahren hin zu einer höheren Anzahl älterer Personen. So lag im Jahr 1997 der Anteil der 60- 80 jährigen bei 17,5% und der über 80 jährigen bei 3,9% der Gesamtbevölkerung. Im Jahr 2017 zeigte sich ein Anteil von 21,7% bei der Altersgruppe der 60- 80 jährigen und ein Prozentsatz von 6,2% im Bereich der über 80 jährigen. [12] Es ist davon auszugehen, dass im Jahr 2050 jede dritte Person in Deutschland über 65 Jahre alt sein wird. [13] Bezüglich der hier einbezogenen demografischen Veränderung liegen komplexe Betrachtungsmodelle zugrunde. Hierbei ist von einer Quote an Zuwanderung zum Beispiel im Jahr 2019 von 1.558.612 Menschen nach Deutschland auszugehen. [14] Dies beeinflusst die Inzidenz der Gonarthrose zusätzlich, da sich die Anzahl von Neuerkrankungen pro Jahr in verschiedenen Ethnien unterscheidet. So ergeben sich für die Daten der Prävalenz zum Beispiel im asiatischen Raum nur zwischen 4,2% und 15,5 % und liegen damit deutlich unterhalb der Daten in Deutschland. [15] Zusammenfassend wird in Deutschland allerdings eine sinkende Gesamtbevölkerung mit steigendem Prozentsatz älterer Bürger prognostiziert. Somit ergibt sich bei kontinuierlich steigender Lebenserwartung der Bevölkerung und einer steigenden absoluten Anzahl älterer Personen auch eine steigende Inzidenz der Gonarthrose in Deutschland.

3.2. Therapie der Gonarthrose

Das Ziel der Therapie der Gonarthrose ist in erster Linie die Vermeidung der Progression der Erkrankung, da die Arthrose eines Gelenks in der Entstehung bisher nicht heilbar ist. Im Zentrum der Behandlung stehen die Vermeidung, beziehungsweise die Verminderung der klinischen Symptome der Gelenkdegeneration. Zur Therapie der Gonarthrose existieren multiple Konzepte mit umfassendem Spektrum. Hierbei lassen sich diese in konservative und operative Formen unterscheiden.

3.2.1 Konservative Therapie

Die konservative Therapie und die Ausschöpfung der entsprechenden Maßnahmen sollte einer operativen Intervention in der Behandlung der Arthrose stets vorangestellt werden. Im Zentrum der Therapie stehen eine Linderung der Schmerzen, Verbesserung von Belastbarkeit und Beweglichkeit, sowie der Lebensqualität. Zudem soll ein Fortschreiten der Knorpeldegeneration verzögert werden.

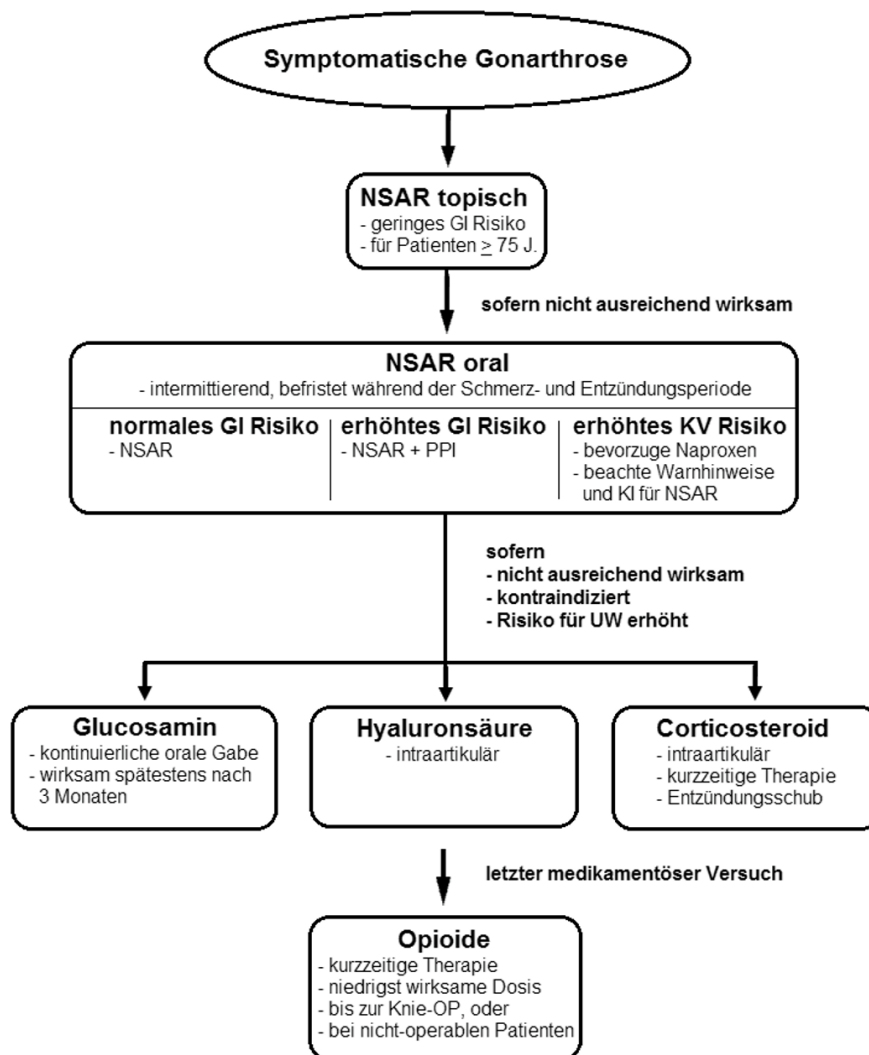
Es existieren verschiedene Evidenzgrade der unterschiedlichen Methoden zur konservativen Therapie. Im Allgemeinen haben sich die medikamentöse Therapie, Physiotherapie, Orthesenversorgung, Schuhzurichtung, Gewichtsreduktion und unterschiedliche physikalische Maßnahmen als effektiv gezeigt. [4]

3.2.1.1 Medikamentöse Therapie

Bezüglich der medikamentösen Therapie sollte eine Unterscheidung der Patienten in verschiedene Phänotypen erfolgen, wobei zwischen Patienten mit einfachem Gelenkbefall und multiplem Gelenkbefall, jeweils mit oder ohne zusätzliche Komorbiditäten differenziert werden sollte. [16]

Die medikamentöse Therapie stellt die Anwendung von NSAR unter Beachtung der Kontraindikationen in das Zentrum der Behandlung. Generell gilt, dass die Anwendung auf den geringst möglichen Zeitraum zu begrenzen ist, welcher sich Patientenindividuell höchst unterschiedlich gestalten kann. Laut des oben dargestellten Algorithmus sollte zunächst die topische Anwendung von NSAR am betroffenen Gelenk erfolgen. Dies kann als Monotherapie erfolgen und bei nicht ausreichendem Effekt durch orale Gabe ergänzt oder abgelöst werden. Da bei fortschreitendem Verschleiß des Gelenks auch periartikuläre Strukturen Schmerzen verursachen können, ist bei oraler analgetischer Therapie durch eine additive topische Anwendung von NSAR eventuell eine Dosisreduktion herbeizuführen. [4] Bei bestehenden Kontraindikationen oder ausbleibender Wirkung kann zusätzlich die intraartikuläre Gabe von Corticosteroiden oder Hyaluronsäure erfolgen. Bei der intraartikulären Applikation von Hyaluronsäure ist allerdings das erhöhte Infektionsrisiko,

vor allem bei nachfolgender Implantation einer Knie- Totalendoprothese zu beachten. Bezüglich der Anwendung von Opioid- Analgetika besteht der Konsens, dass der kurzfristige Einsatz von niedrig potenten Analgetika unter anderem bei nicht operablen Patienten sinnvoll sein kann. Es existieren diesbezüglich allerdings keine spezifischen Studien zum Einsatz von Opioiden bei Gonarthrose. [17]



Algorithmus der medikamentösen Therapie der Gonarthrose. GI, gastrointestinal; J, Jahre; KI, Kontraindikation; KV, kardiovaskulär; NSAR, Nichtsteroidale Antirheumatika = traditionelle NSAR + Cyclooxygenase-2-Hemmer (COX-2-Inhibitor); OP, Operation; PPI, Protonenpumpeninhibitor; UW, unerwünschte Wirkungen.

Abbildung 2: Therapiealgorithmus S2k Leitlinie Gonarthrose, DGOOC, AWMF Register-Nr. 033-004, 2018

3.2.1.2 Physiotherapie und physikalische Maßnahmen

Der Physiotherapie kommt bei der nicht pharmakologischen Therapie der Gonarthrose eine zentrale Rolle zu. Die verschiedenen Formen können in manuelle Therapie, Krankengymnastik, Kälte- und Wärmeanwendung, Elektrotherapie und Magnetfeldtherapie gegliedert werden. In Anfangsstadien der Erkrankung ist die Anwendung von Ultraschall, dynamischen Strömen und Kältetherapie vor allem in entzündlichen Stadien sinnvoll. Zudem ist die Krankengymnastik und Beübung des Musculus quadrizeps femoris von tragender Bedeutung. [18] Da bei zunehmender Arthrose die Muskelkraft des Streckapparates häufig eingeschränkt wird, ist eine isometrische Beübung zur Verminderung von Instabilitäten indiziert. Die Beübung des Quadrizeps kann auch im Rahmen von Hydrotherapie, zum Beispiel bei Wassergymnastik, erfolgen. Generell ist moderate sportliche Aktivität unter Vermeidung von high- impact Sportarten empfehlenswert. Hierbei ist auf geeignete Sportarten wie z.B. Schwimmen und Radfahren, sowie die korrekte Ausführung, gegebenenfalls auch unter entsprechender Anleitung zu achten. [19]

Einen zusätzlichen Anteil der physikalischen Therapie bildet die apparative Therapie, wobei sich insbesondere die Anwendung von transcutaner elektrischer Nervenstimulation oder auch TENS als sinnvoll zur Reduktion von Schmerzen erwiesen hat. [17] Zudem konnten auch positive Effekte bei einer elektrophysikalischen Therapie in Form von Ultraschalltherapie, der Anwendung von Mikrowellen und Interferenzstrom nachgewiesen werden. [20]

Auch bei einer Therapie mittels Traktion konnte eine signifikante Reduktion von Schmerzen und eine Verbesserung der Lebensqualität bei der Behandlung der Gonarthrose anhand verschiedener Patienten ermittelt werden. Im Gegensatz dazu besteht unter anderem bisher keine Empfehlung zur Anwendung von Magnetfeldtherapie oder NMES, der sogenannten Neuromuskulären elektrischen Stimulation. [17]

Insgesamt existiert ein weitläufiges Spektrum der Formen von Physiotherapie und physikalischer Therapie, wobei ein individuell unterschiedliches Profitieren verschiedener Patientengruppen zu erwarten ist. Abhängige Faktoren bilden hierbei auch die entsprechenden Stadien der Erkrankung, in welcher sich die Patienten zum Therapiezeitpunkt befinden.

3.2.1.3 Heil- und Hilfsmittel

Eine Orthesenverordnung oder Schuhzurichtung ist speziell bei unilateralem Gelenkbefall effizient. Mit einer valgusierenden oder varisierenden Korrektur der Beinachse kann der betroffene Anteil des Gelenkes durch ein Verschieben der Gelenkkraftresultierenden hin zum gesunden Gelenkanteil entlastet werden. [21] Hierzu kann eine entsprechende Orthesenzurichtung, beziehungsweise Schuhaußen- oder Innenrandzurichtung sinnvoll sein. So konnte zum Beispiel eine Entlastung des medialen Gelenkabschnittes von bis zu 15% bei einer Schuhzurichtung mit lateraler Schuhaußenranderhöhung von 5 bis 10 Millimeter bei Patienten mit einliegender Knie- Totalendoprothese in telemetrischen Druckmessungen nachgewiesen werden. [22] Beschränkende Faktoren bei der Anwendung von Orthesen und Bandagen bilden die Compliance der entsprechenden Patienten, sowie der Komfort der angewendeten Hilfsmittel.

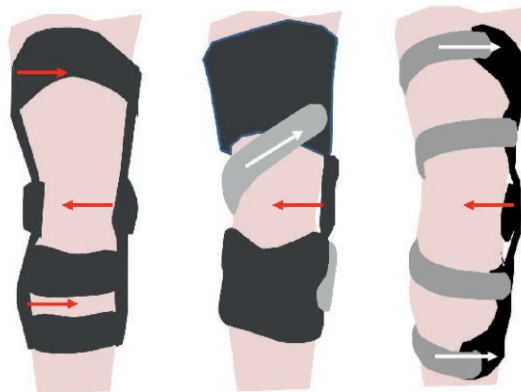


Abbildung 3: Verschiedene Wirkmechanismen von Entlastungsorthesen für das Kniegelenk, Wolf Petersen et al.: *Konservative Optionen zur Beeinflussung der Beinachse bei medialer Gonarthrose: Was bringen Einlagen und Orthesen?*, Deutscher Ärzte-Verlag | OUP | 2015; 4 (12)

3.2.2 Operative Therapie

Nach der Ausschöpfung konservativer Therapiemaßnahmen wird die operative Therapie als nächste Stufe der Behandlung der bestehenden Erkrankung eingesetzt. Bei der operativen

Therapie kann prinzipiell zwischen gelenkerhaltenden und gelenkersetzenden Maßnahmen unterschieden werden.

3.2.2.1 Gelenkerhaltende operative Therapie

Voraussetzung für den Behandlungserfolg bei gelenkerhaltender Chirurgie ist ein Anfangsstadium der Erkrankung, sowie die genaue Analyse der Pathologie des betroffenen Gelenks. Zu den Zielen der gelenkerhaltenden Therapie gehört unter anderem die Schmerzreduktion, Verminderung der Entzündungsreaktion, Erhalt von Beweglichkeit und Stabilität des Kniegelenkes, Mobilitätserhalt und eine Verzögerung der destruirenden intraartikulären Prozesse und damit der Progredienz der Arthrose. Zudem soll eine Minderung der Schmerzmitteleinnahme erreicht werden. Im Focus steht hierbei die Implantation einer Knieendoprothese hinauszuzögern. [23]

Mit arthroskopischem Debridement können intraartikuläre Fragmente entfernt, Knorpelanteile geglättet und das Kniegelenk gespült werden, was zu einer Reduktion von Symptomen und einer Verbesserung der Funktion führt. [24] Bei umschriebenen Knorpelschäden können Microfracturierung oder Knorpeltransplantationen durchgeführt werden. Auch bei Schäden am Außen- oder Innenmeniskus können schonende arthroskopische Resektion des beschädigten Gewebes vor einer weiteren Destruktion am Gelenkknorpel schützen. [25]

Ligamentäre Instabilitäten spielen bei der Entstehung der Arthrose im Kniegelenk eine entscheidende Rolle. So führt beispielsweise auch der vordere Kreuzbandriss zu einer pathologisch veränderten Biomechanik des Kniegelenks. [26] Daher wird bei Vorliegen einer entsprechenden Verletzung auch im Alter von über 55 Jahren die Indikation zur Kreuzbandersatzplastik gestellt, da laut Meta- Analysen die Prävalenz von radiologischen Zeichen der Arthrose nach Kreuzbandplastik geringer ist. [23] Auch die ligamentäre Instabilität der Patella im Rahmen von traumatischer Luxation oder Subluxation führt zu einer hohen Prävalenz von femoropatellaren Knorpelschäden [27], wobei die Rekonstruktion des medialen Halteapparates der Patella im Sinne einer MPFL- Bandplastik keinen Einfluss auf den Verlauf der Arthrose hat. [28]

Eine Umstellungsosteotomie, wie die hohe Tibia Osteotomie, kann zur Korrektur von Achsfehlstellungen des Gelenkes, auch bei schon bestehender unikompartimenteller Gonarthrose zur gelenkerhaltenden Therapie erfolgen. Hierbei wird am Ort der Fehlstellung zur Korrektur der Beinachse eine Osteotomie unter Zuhilfenahme verschiedener Osteosynthese- Systeme entweder mit lateral schließender closed- wedge Technik oder medial aufklappender open- wedge Technik durchgeführt. [29]

3.2.2.2 Gelenkersetzende Therapie

Nach Ausschöpfung der konservativen Therapiemaßnahmen sollte bei fortgeschrittener Gonarthrose als effektive Methode zur Beschwerdelinderung und Funktionsverbesserung der endoprothetische Gelenkersatz erfolgen. Hierbei sind verschiedene Faktoren zu beachten, um eine korrekte Indikationsstellung zu erreichen. Als Hauptkriterien für die Implantation einer Knieendoprothese gelten Knieschmerzen mit einer Dauer von 3- 6 Monaten, der Nachweis eines Strukturschadens, das Versagen von konservativen Therapiemaßnahmen und eine auf die Erkrankung bezogene Einschränkung von Lebensqualität mit entsprechenden subjektivem Leidensdruck. Als Nebenkriterien gelten Einschränkungen in der Belastbarkeit, wie bei der Gehstrecke, langem Stehen oder Treppensteigen. Ebenso werden Krafteinschränkungen, Einschränkungen im sozialen Umfeld, im Beruf und bei der Ausübung von sportlichen Aktivitäten als Nebenkriterien zur Indikation des Gelenkersatzes angeführt. Als absolute Kontraindikation zur Implantation einer Knie- Totalendoprothese gelten floride Infektionen im Kniegelenk, eine deutlich verkürzte Lebenserwartung aufgrund von Begleiterkrankungen und ein sehr hoher BMI (>40). [30]

Bestimmt durch die Art der Arthrose stehen bei dem Ersatz des Gelenkes verschiedene Implantate zur Auswahl. Die häufigste Form bildet die medial oder lateral betonte Pangonarthrose, welche durch den Einsatz eines bikondylären Oberflächenersatzes therapiert werden kann. Sollte eine isolierte unikompartimentelle Arthrose vorliegen, kann der Ersatz des betroffenen Gelenkabschnittes durch eine Schlittenprothese erfolgen. Abhängig von der Achsstabilität des Kniegelenks kann zudem bei der Knie-

Totalendoprothese eine ungekoppelte, teil- oder vollgekoppelte Prothese gewählt werden, durch welche verschiedene Instabilitätsgrade korrigiert werden können. [31]

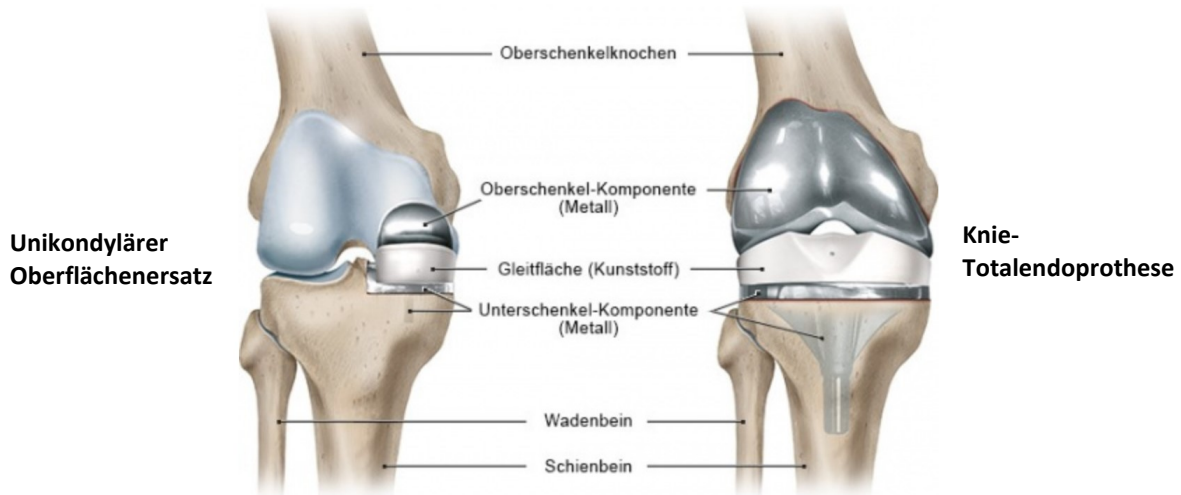


Abbildung 4: Knie- Prothesenarten. Gl. Im Internet: <https://www.gesundheitsinformation.de/worin-unterscheiden-sich-knieprothesen.3275.de.html?part=behandlung-hy>

Die Langzeitergebnisse in der Knieendoprothetik sind als sehr gut zu bewerten. So ist von einer Revisionsrate von unter 5% in den ersten zehn Jahren auszugehen. Dies zeigt zudem ein exzellentes Implantaturvival. Somit ist die Implantation einer Knie Totalendoprothese eine gute und dauerhafte Therapie der Gonarthrose nach ausgeschöpfter konservativer Therapie. [32]

Dem gegenüber steht eine Patientenzufriedenheit mit 80% zufriedener und circa 20% unzufriedener Patienten nach Knie- TEP- Implantation. Somit nimmt die kontinuierliche Weiterentwicklung und Verbesserung der verschiedenen Implantate, der Operationstechniken und der Rehamaßnahmen mit dem Ziel, ein schmerzfreies und natürliches Gehen zu ermöglichen, eine zentrale Rolle in der Verbesserung der Patientenzufriedenheit ein. Patient related outcome measures bilden eine etablierte Methodik zur Eruiierung der subjektiven Patientenzufriedenheit. Eine Schwäche der PROMs zeigt sich aber in einer großen Streubreite, sowie Beeinflussung der Ergebnisse durch die Subjektivität der Fragebögen, welche zum Beispiel durch psychische Faktoren beeinflusst wird. Dahingegen kann die Ganganalyse als objektive Erfassung des Gangbildes nach

Implantation einer Knieendoprothese unbeeinflusste Ergebnisse bei schon niedrigerer Patientenzahl liefern.

3.3. Sensomotorik des Gehens und Ganganalyse

Das Gehen wird als Automatismus begriffen, welcher über die Großhirnrinde des Menschen gesteuert wird. Hierbei wird eine funktionelle Synergie aus verschiedenen Muskelgruppen zusammengeführt.

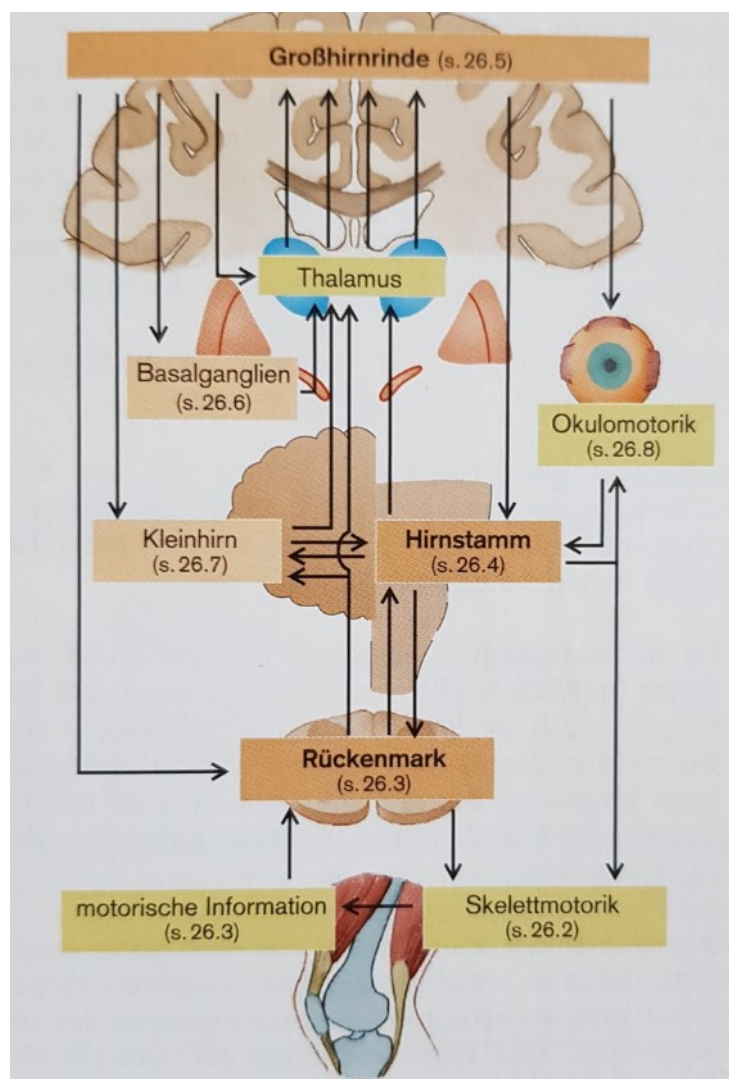


Abbildung 5: Komponenten der Sensomotorik und einige ihrer Verbindungen, Klinke, Pape, Silbernagl. Physiologie, 5. Auflage

Der im primären motorischen Kortex und prämotorischen Kortex enthaltene Assoziationskortex erstellt im Zusammenhang mit dem limbischen System einen Bewegungsplan, welcher unter Beteiligung von Basalganglien und Kleinhirn zum Bewegungsprogramm umgesetzt wird. Die Rückmeldung dieses Programms an den primären Motorkortex wird über den Hirnstamm an die Motorneuronen des Rückenmarks gesandt. Im Anschluss erfolgt die Ausführung der Bewegung über die Skelettmuskulatur. [33]

Die Ganganalyse zur Erfassung des Gangbildes eines Menschen wurde in den Vierzigerjahren des zwanzigsten Jahrhunderts etabliert und mit dem ersten klinischen Ganganalyselabor im Jahre 1969 durch D.A. Winter begründet. [34]

Die Ganganalyse zeichnet den Gangzyklus des jeweiligen Probanden auf. Dieser unterteilt sich in eine Schwung- sowie eine Standphase. Als Standphase ist jener Zeitraum definiert, in dem der Fuß des Gehenden Kontakt zum Boden hat. Die Einleitung der Standphase erfolgt mit dem initialen Bodenkontakt (IBK), welcher mit der Ferse beginnt. Die Standphase nimmt etwa zwei Drittel der Dauer des Gangzyklus ein. Sie setzt sich zusammen aus der bipedalen initialen Standphase, der monopedalen Standphase und der bipedalen terminalen Standphase.

Im Gegensatz dazu beschreibt die Schwungphase den Zeitabschnitt, in dem der Fuß keinen Bodenkontakt aufweist. In dieser Zeit kann das Bein vorschwingen und der Schritt, beziehungsweise die Fortbewegung wird ermöglicht.

Die genaue Dauer der Phasen innerhalb des Gangzyklus variiert mit der Ganggeschwindigkeit und verhält sich umgekehrt proportional zu dieser. Mit der Ganggeschwindigkeit erhöht sich die Schrittfrequenz und die Dauer der einzelnen Schritte verkürzt sich entsprechend. [34]

Zur genauen Beschreibung eines Gangzyklus existiert eine Unterteilung der beiden Phasen der Stand- und Schwungphase in acht Unterphasen, welche den verschiedenen Aufgaben im Gangablauf zugeordnet werden können.

Der Gangzyklus mit den entsprechenden Phasen wird in der Ganganalyse aufgenommen und mit multiplen Messpunkten objektiviert. Hierbei kann der Bewegungsablauf des Gehens im Raum dreidimensional und zeitlich erfasst werden. Es können Geschwindigkeiten, Winkel, Gelenkmomente, Kraftvektoren und Leistung ermittelt werden.

Die Ganganalyse könnte somit ein zusätzliches Instrument sein, um das natürliche Gangbild nach Knie- Totalendoprothetik zu objektivieren und damit eine wichtige Facette der Patientenzufriedenheit abbilden. Bislang besteht aber eine kontroverse Datenlage zum Zusammenhang zwischen Ganganalyseparametern und subjektiver Patientenwahrnehmung in Form von PROMs.

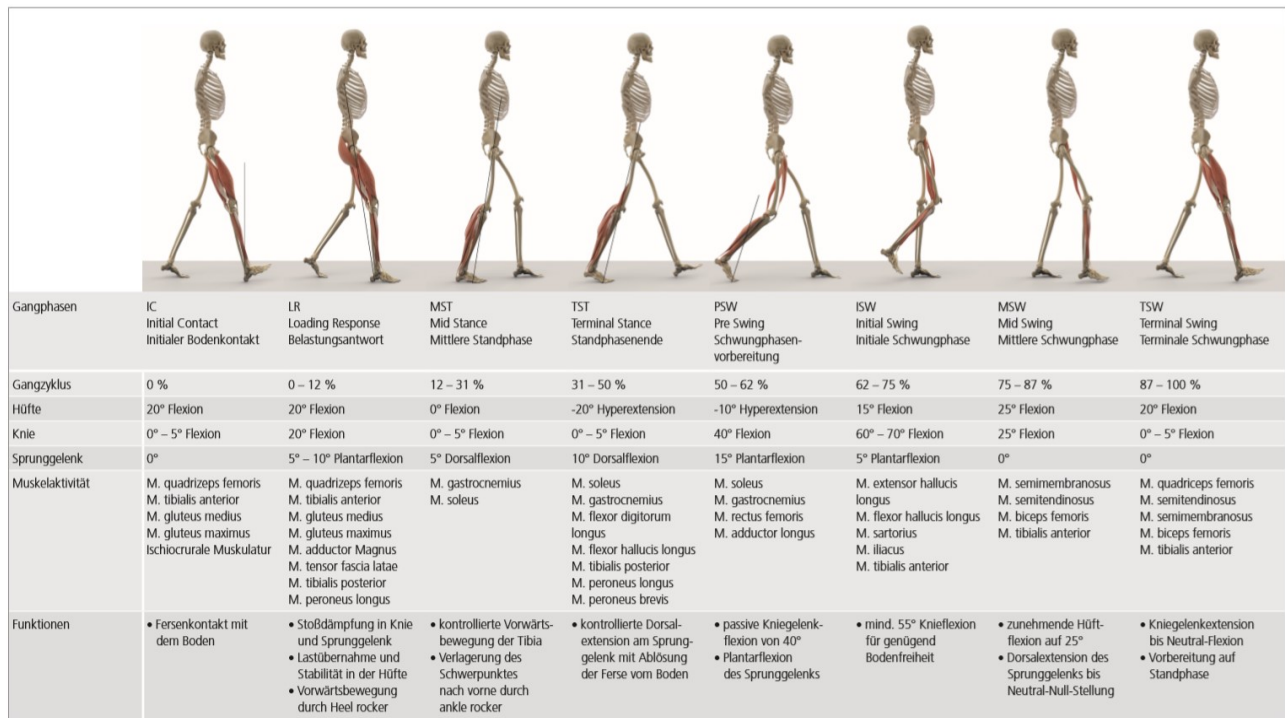


Abbildung 6: Die acht Gangphasen des Menschen, Streifeneder ortho production 400w43, Poster, Gangphasen

4. Ziele der Arbeit

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Identifikation von spezifischen Ganganalyseparametern, welche mit dem Outcome der Patienten nach Implantation eines bikondylären Oberflächenersatz korrelieren.

Nach gegenwärtigem Kenntnisstand ist bekannt, dass die Ganganalyse nach Implantation einer Knie- Totalendoprothese hoch pathologisch ist. Bisher verbleibt unklar, ob diese Pathologie auf der Basis der Arthrose oder auf dem operativen Eingriff selbst beruht. Sicher ist, dass multiple Faktoren das Gangbild der Patienten beeinflussen. Hierzu gehören unter anderem das Prothesendesign, die verwendete OP-Technik, sowie die sich anschließenden Rehabilitationsverfahren.

Bislang war in der postoperativen Behandlung von Patienten nach bikondylärem Oberflächenersatz unklar, welcher Gangparameter optimiert werden muss, um den größten klinischen Benefit, gemessen an Patient related outcome measures, zu erzielen.

Die Hypothese H1 dieser Dissertation lautet, dass einige wenige Ganganalyseparameter mit Patient related outcome measures korrelieren.

Dem gegenüber ist die Hypothese H0 gestellt, welche besagt, dass kein spezifischer Ganganalyseparameter mit Patient related outcome measures nach bikondylärem Oberflächenersatz korreliert.

Ziel der vorliegenden Dissertation ist es, die entsprechenden Parameter an einem ausreichend großen Patientenkollektiv zu identifizieren, um in Zukunft das Outcome der Patienten anhand gezielter Beeinflussung bestimmter Gangparameter zu verbessern.

5. Methodik

5.1. Patienten

In diese retrospektive Studie wurden 40 Patienten eingeschlossen, welche im Rahmen anderer prospektiver Studien zwischen Oktober 2013 und Januar 2015 einen bikondylären Oberflächenersatz an den Waldkliniken Eisenberg erhalten hatten. Es wurden 23 Frauen und 17 Männer mit dem mittleren Alter von 61,8 +/- 7,3 (37-76) Jahren eingeschlossen.

Ausschlusskriterien waren Vorerkrankungen, welche das Gangbild zusätzlich pathologisch beeinflussen. Hierzu gehören beispielsweise Erkrankungen wie Morbus Parkinson, neurodegenerative Erkrankungen, Spinalkanalstenose, Voroperationen der zervikalen oder lumbalen Wirbelsäule oder ein Zustand nach Apoplex. Zusätzlich wurden Patienten aus der Studie ausgeschlossen, welche Voroperationen im Bereich der Sprunggelenke, sowie eine Knie- oder Hüft- Endoprothese der Gegenseite erhalten hatten.

Die vergleichende Kontrollgruppe wurde aus historischen Daten von Ganganalysen einer gesunden Patientengruppe gebildet. Hierbei wurde eine alters- und geschlechtsgematchte Gruppe geformt, aus welcher Probanden mit Altersdifferenzen von mehr als 3 Jahren ausgeschlossen wurden. Die Auswertung der Ganganalyse erfolgte mit den erhobenen Daten der operierten Seite der Patienten, welche mit den Mittelwerten beider Seiten der gesunden Kontrollgruppe verglichen wurde.

5.2. Implantate und Op- Technik

Die gewählten Implantate waren die Prothesen Attune und LCS der Firma Depuy, oder e.motion von Aesculap.

5.2.1 Attune- Prothesenmodell

Die Produkteinführung des Attune Knieendoprothesensystems erfolgte im Oktober 2013 nach einer entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsphase. Das Implantat wurde durch die Firma DePuy entwickelt, welche zu dem Gesundheitskonzern Johnson & Johnson gehört. Das Prothesenmodell zeichnet sich durch eine graduell abnehmende sagittale Kurvierung der

Femurkondylen des Femurschildes aus. So soll ein nahtloser Übergang von Stabilität zu Rotationsfreiheit in tiefer Flexion erreicht werden. Zudem wurde das Femurschild mit verlängerter Trochlearrinne und abgerundetem Übergang in die PS- Box gestaltet, um eine Verbesserung der Patellaführung zu erzielen. Es handelt sich um ein Implantat mit Auswahlmöglichkeit zwischen fixed bearing und einer mobilen Plattform. Bei der Implantation stehen dem Operateur 14 verschiedene Femur- und 10 Tibiagrößen zur Verfügung, wobei eine Differenz von zwei Größen zwischen Femur- und Tibiakomponente möglich ist. Entsprechende Inlays werden anhand der Tibia ausgewählt und stehen in der CR-Knie Kategorie in Höhe von 5mm bis 16mm zur Auswahl. Bezüglich des PS- Knie Modells existieren Inlayhöhen von 5mm bis 20mm. [35]



Abbildung 7: Attune Kniesystem, Universimed, ESSKA, Attune- Eine Knieendoprothese mit vielen Designvorteilen, 2016
<https://ch.universimed.com/fachthemen/7332>

5.2.2 LCS- Knie- Totalendoprothese

Bei der Knie- Totalendoprothese LCS handelt es sich ebenfalls um ein Implantat der Firma DePuy. Es wurde im Jahr 1977 in den USA in den Markt eingeführt und durch Dr. F. F. Buechel und Dr. M. Pappas entwickelt. Die Abkürzung LCS steht hier für „Low contact Stress“. [36] Es handelt sich um ein non- constrained- System mit rotierendem Inlay, welches durch einen zentralen Zapfen im Tibiateil geführt wird. Das Implantat kann zementiert und unzementiert eingebracht werden. Es handelt sich um eine der am häufigsten weltweit implantierten Knieprothesen. Im Jahr 2001 erschien das LCS COMPLETE RPS- Kniesystem, welches einige Änderungen im Design des Implantats enthielt. Hierbei

wurden die vordere Lippe des femoralen Einsatzes angehoben, die tibiale Komponente modifiziert, der Durchmesser von ventral nach dorsal erweitert und die dorsale Einbuchtung vertieft. [37]



Abbildung 8: LCS complete,
http://synthes.vo.llnwd.net/o16/LLNWMB8/US%20Mobile/Synthes%20North%20America/Product%20Support%20Materials/Technique%20Guides/0611-63-050_DPY_LCS_Complete_Surgtech_Milestone_Instr_MBT_Tray_Prep.pdf

5.2.3 e.motion Knie- Totalendprothese

Bei dem e. motion Knieendprothesensystem handelt es sich um ein ungekoppeltes mobile-bearing Implantat, welches durch die Firma Aesculap als Teil des B. Braun Konzerns entwickelt wurde. Im Gegensatz zur Attune- Knieendprothese handelt es sich um ein Implantat mit Single- Radius Design. Die beiden femoralen Radii sind bis 90° Flexion gleichbleibend. [38]



Abbildung 9: Keramikbeschichtete Oberflächenersatzprothese AS e.motion B.Braun
<https://www.bbraun.de/de/patienten/orthopaedische-eingriffe/knie/verschiedene-knieprothesen.html#kompletter-oberflchenersatz>

5.2.4 Op- Technik

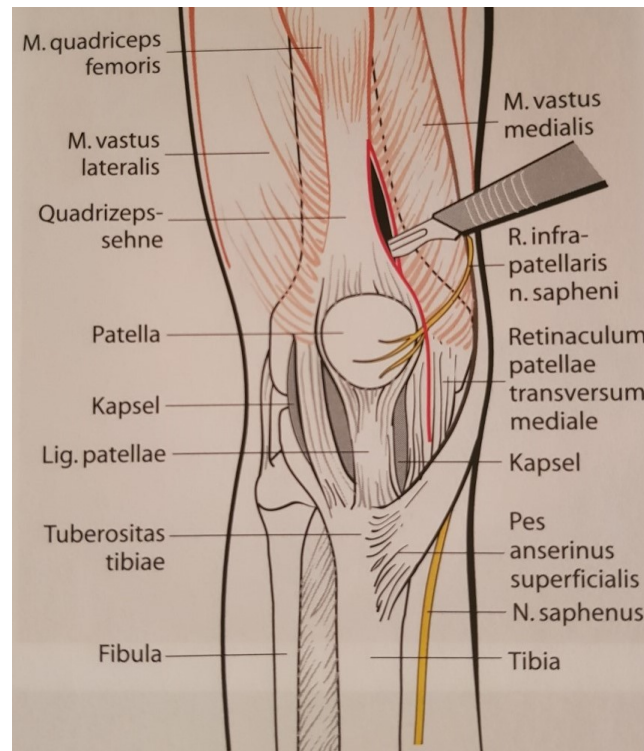


Abbildung 10: medialer Zugang Kniegelenk, Jerosch et al Knieendoprothetik 2. Auflage, S. 2 ISBN: 978-3-642-38423-3

Der operative Eingriff erfolgte über einen medial parapatellaren Standardzugang. Zur Implantatpositionierung wurde die Extension Gap- first- Technik verwendet. Hierbei wird die tibiale knöcherne Resektion als erster Schritt der Knochenpräparation vorgenommen und die Positionierung der femoralen Komponente anhand der Bandspannung in Flexion ausgerichtet.

Es erfolgte zunächst das Sägen der Tibia, so dass sich die resultierende mechanische Achse durch den Kniegelenksmittelpunkt und den Sprunggelenksmittelpunkt zieht. Dann erfolgte die Entfernung von Osteophyten an der Tibia und femoral retroepikondylär. Im Anschluss wurde die Bestimmung der Rotation der Tibia nach der Tuberositas mit nachfolgender Präparation des Tibiastems vorgenommen. Anschließend erfolgte die anatomisch gemessene distale Resektion des Femurs senkrecht zur mechanischen Achse entsprechend dem zuvor geplanten Eintrittspunkt und Valguswinkel für das intramedulläre Ausrichtinstrumentarium. Zuvor wurde die intramedulläre Kontrolle der distalen

Femurresektion und Korrektur bis zur exakten Übereinstimmung mit der Planung vollzogen. Im folgenden Schritt wurde ein Spacer in Streckung eingebracht und es ein Release des Streckspaltes vorgenommen. Bei Vorliegen eines symmetrischen Streckspaltes erfolgte die Einstellung der Rotation des Femurs nach der Beugespaltsymmetrie und die Kontrolle entsprechend der Whiteside Line, den posterioren Kondylen und den Epikondylen. Bei zufriedenstellender Übereinstimmung der Beugespaltsymmetrie mit den knöchernen Landmarken wurde anschließend die Resektion des Femurs vorgenommen. Im folgenden Schritt wurde der hintere Gelenkraum präpariert. Zusätzlich wurden dorsale Osteophyten entfernt, sowie die dorsale Kapsel liberiert zum Erreichen der Kapselentspannung und Erreichen einer Vollstreckung. Nun erfolgte das Einbringen eines Spacers in Beugung zur Kontrolle der Beugespaltsymmetrie. Im Anschluss wurde die Probeimplantation zur Bestimmung der Inlayhöhe entsprechend der Spacerhöhe vorgenommen. Danach erfolgte die Jetlavage von Femur und Tibia. Nach der Trocknung der spongiösen Knochenflächen wurde in einer 90° Beugung die Implantation der Originalimplantate mittels Knochenzement vorgenommen. Es erfolgte das Abtragen von Zementüberständen und die Streckung des Kniegelenkes zur Blutstillung. Im Anschluss wurde die Kapselnaht mit nachfolgendem schichtweisen Wundverschluss durchgeführt.

5.3. Ganganalyse

Zur Ganganalyse wurde das Bewegungsanalysesystem Vicon 3D der Firma Vicon, Oxford, UK unter Nutzung von 10 Infrarotkameras der Marke Bonita 10 mit einer Bildrate von 200Hz verwendet. Hierbei wurde in Motion Capture Technik die Reflektion von 17 Markern auf der Körperoberfläche des Patienten in Echtzeit aufgenommen. Bei dieser Technik erfolgt die Positionierung der lichtreflektierenden Marker nach dem unten dargestellten Plug in gait Schema. In dieser Art und Weise werden die kinematischen Faktoren des Bewegungszyklus aufgezeichnet.



Abbildung 11: Markerpositionierung anterior nach Plug in Gait



Abbildung 12: Markerpositionierung posterior nach Plug in Gait

Zur Aufzeichnung von Gelenkmomenten als zusätzlicher Dimension des Gangzyklus wurden bei der Ganganalyse 3 Bodenkraftmessplatten im Zentrum der Infrarotkameras verwendet. Dabei sind eine Messplatte der Firma Kistler Instrumente AG, Winterthur, Schweiz, sowie zwei AMTI Bodenkraftmessplatten der Firma AMTI, Watertown, USA zur Anwendung gekommen.

Zur Datenerhebung und -verarbeitung wurde das Programm Nexus V.2.1 verwendet. Die Auswertung der erhobenen Daten erfolgte mit dem Programm Polygon V.4.1 jeweils von der Firma Vicon, Oxford, Großbritannien. So erfolgt die Darstellung der oben dargestellten Markeranordnung nach dem folgenden Modell.

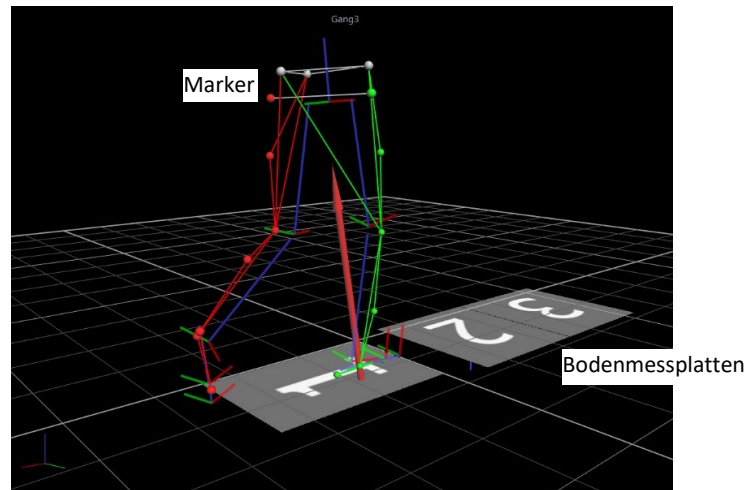


Abbildung 13: Schematische Darstellung Modell am Computer

Zur sicheren Aufzeichnung des charakteristischen Gangbilds der jeweiligen Patienten wurden mehrfache Einzelmessungen durchgeführt. Hierzu absolvierte jeder Proband mindestens zehn Gangzyklen, um bei der natürlich vorliegenden individuellen Streuung des Ganges ausreichend aussagekräftige Mittelwerte zu bilden.

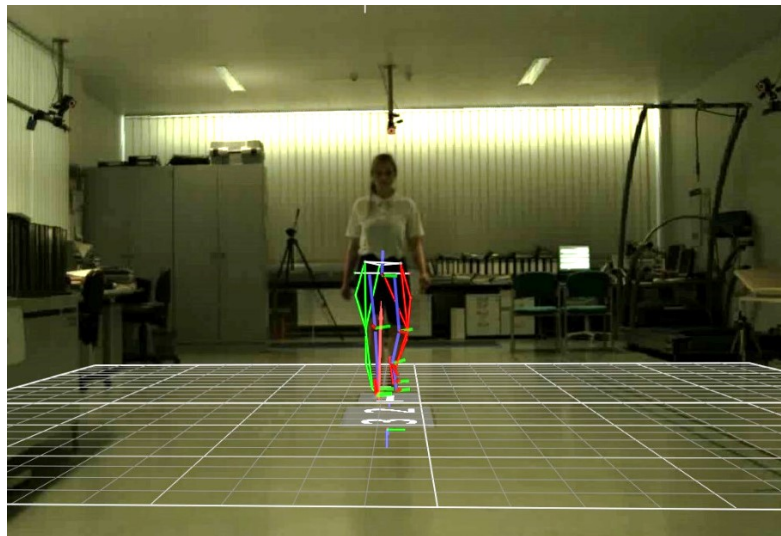


Abbildung 14: Proband Einzelmessung anterior - Eisenberg/ Report Kirschberg 12/17

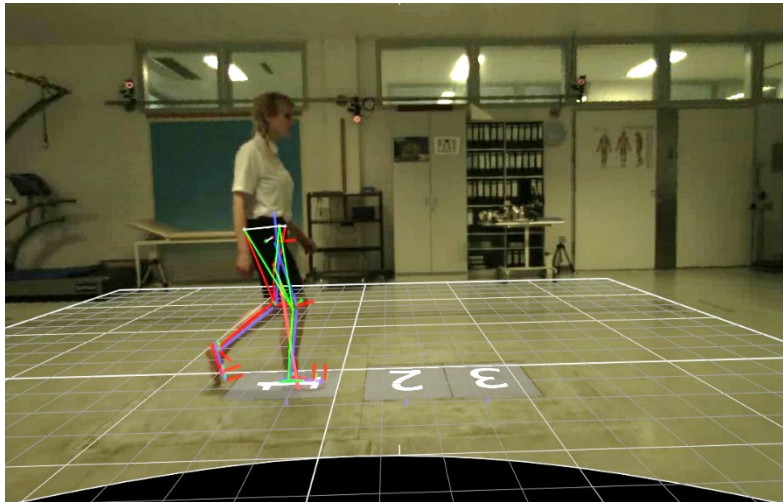


Abbildung 15: Proband Einzelmessung seitlich- Eisenberg/ Report Kirschberg 12/17

Aus den so erhobenen Daten wurde im Anschluss für jeden Patienten ein Ganganalysebericht erstellt, in welchem die Mittelwerte beider Seiten ausgewertet wurden. Hierbei werden allgemeine Zeit- Distanz- Parameter, Bodenreaktionskraft, Gelenkkinematik in Form der gemessenen Gelenkwinkel und die jeweilige Gelenkkinetik durch Gelenkmomente errechnet. Die graphische Darstellung der erhobenen Parameter erfolgte im Anschluss mittels Übertragung beider Gelenkseiten von Hüfte, Knie und Sprunggelenk in den jeweiligen Ebenen gegen grau hinterlegte Mittelwerte gesunder Probanden.

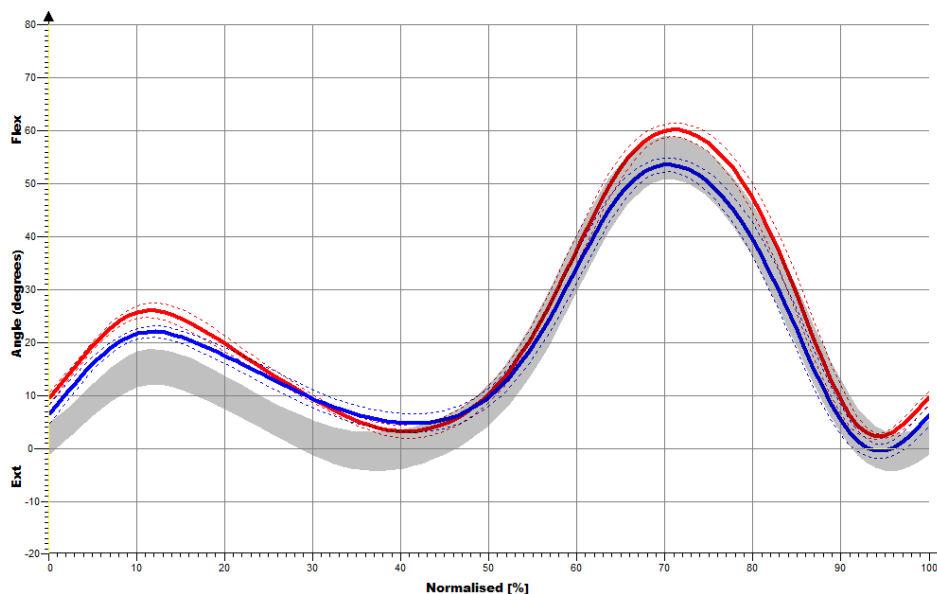


Abbildung 16: Knie-Winkel (Ex/Flex) Report Kirschberg 12/17 blau= rechts, rot=links, grau= Referenzdaten

5.4. Einbezogene PROM's

Zusätzlich wurde bei allen Patienten zur Ermittlung des Outcomes nach dem operativen Eingriff die Fragebögen WOMAC, KSS und FJS erhoben.

5.4.1 WOMAC

Der Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index, oder auch WOMAC ist ein Patient reported outcome Instrument, welches als Fragebogen 24 Fragen beinhaltet. Hierbei werden die drei Bereiche Schmerz mit 5 Fragen, Steifigkeit mit 2 Fragen und der physischen Funktion mit 17 Fragen erhoben. Dieser 1982 in Kanada entwickelte und 1996 in Deutschland evaluierte Fragebogen ist ein etablierter PROM, welcher in zahlreichen Studien zur Anwendung kommt. [39] Der WOMAC existiert in zwei verschiedenen Skalenformen. Bei der ersten Skalenform kommt es zur Anwendung der Likert- Skalenform, bei welcher der Patient fünf Antwortmöglichkeiten mit aufsteigender Intensität als Auswahloptionen erhält. Diese werden nach dem Schema 0 = keine, 1 = geringe, 2 = mäßige, 3 = schwere und 4 = extreme Schmerzen gegliedert. Bei der zweiten Skalenform handelt es sich um die visuelle Analogskala, bei welcher die entsprechende Antwort des Patienten anhand einer 10 cm langen visuellen Analogskala, oder VAS, präsentiert wird. [40] In der vorliegenden Dissertation wurde die Likert Skalenform zur statistischen Auswertung verwendet.

Im Folgenden ist der verwendete Fragebogen WOMAC mit den entsprechenden Fragen tabellarisch dargestellt.

Schmerz					
Die folgenden Fragen beziehen sich auf die Stärke der Schmerzen, die Sie in den betroffenen Knie- und Hüftgelenken haben. Bitte geben Sie für jede Frage die Stärke der Schmerzen an, die Sie in den letzten 2 Tagen verspürt haben. (Bitte kreuzen Sie die zutreffenden Kästchen an)					
1. Gehen auf ebenem Boden	0 = keine	1 = geringe	2 = mäßige	3 = schwere	4 = extreme
2. Treppen hinauf- oder hinuntersteigen	0	1	2	3	4
3. Nachts im Bett	0	1	2	3	4

4. Sitzen oder Liegen	0	1	2	3	4
5. Aufrecht stehen	0	1	2	3	4
Steifigkeit					
Die folgenden Fragen beziehen sich auf die Steifigkeit (nicht die Schmerzen) Ihrer Knie- oder Hüftgelenke. Steifigkeit ist ein Gefühl von Einschränkung oder Langsamkeit in der Beweglichkeit, wenn Sie Ihre Gelenke bewegen. Bitte geben Sie für jede Frage die Steifigkeit an, die Sie in den letzten 2 Tagen verspürt haben. (Bitte kreuzen Sie die zutreffenden Kästchen an)					
6. Wie stark ist Ihre Steifigkeit gerade nach dem Erwachen am Morgen?	0	1	2	3	4
7. Wie stark ist Ihre Steifigkeit nach dem Sitzen, Liegen oder Ausruhen im späteren Verlauf des Tages?	0	1	2	3	4
physische Funktion					
Die folgenden Fragen beziehen sich auf Ihre körperliche Tätigkeit. Damit ist Ihre Fähigkeit gemeint, sich im Alltag zu bewegen und sich um sich selbst zu kümmern. Bitte geben Sie für jede der folgenden Aktivitäten den Schwierigkeitsgrad an, den Sie in den letzten 2 Tagen wegen Beschwerden in Ihren Knie- und Hüftgelenken verspürt haben. (Bitte kreuzen Sie die zutreffenden Kästchen an)					
8. Treppen hinuntersteigen	0	1	2	3	4
9. Treppen hinaufsteigen	0	1	2	3	4
10. Aufstehen vom Sitzen	0	1	2	3	4
11. Stehen	0	1	2	3	4
12. Sich zum Boden bücken	0	1	2	3	4
13. Gehen auf ebenem Boden	0	1	2	3	4
14. Einsteigen ins Auto/ Aussteigen aus dem Auto	0	1	2	3	4
15. Einkaufen gehen	0	1	2	3	4
16. Socken/ Strümpfe anziehen	0	1	2	3	4
17. Aus dem Bett aufstehen	0	1	2	3	4

18. Socken/ Strümpfe ausziehen	0	1	2	3	4
19. Liegen im Bett	0	1	2	3	4
20. Ins Bad (Badewanne) steigen / aus dem Bad (Badewanne) steigen	0	1	2	3	4
21. Sitzen	0	1	2	3	4
22. Sich auf die Toilette setzen / Aufstehen von der Toilette	0	1	2	3	4
23. Anstrengende Hausarbeiten	0	1	2	3	4
24. Leichte Hausarbeiten	0	1	2	3	4

5.4.2 KSS

Der Knee Society Score, beziehungsweise KSS, ist ein Instrument zur gezielten Beurteilung des Outcome von Patienten nach bikondylärem Oberflächenersatz. Hierbei wird das Outcome des Patienten in 4 Subskalen mit 3 Fragen im Bereich der Symptome, 5 Fragen bezüglich Zufriedenheit, 3 Fragen bei Erwartungshaltung und 19 Fragen hinsichtlich funktioneller Aktivität erhoben. Zudem existiert eine zusätzliche Subskala bezüglich des objektiven Knee Score, welcher vom behandelnden Chirurg auszufüllen ist. Der KSS wurde 1989 zunächst als Knee Society Clinical rating System entwickelt, welcher nur durch den behandelnden Arzt zu erheben war. Im Jahr 2008 wurde dieser Score zur Entwicklung des heute angewendeten Knee Society Score verwendet. [41] Im Rahmen dieser Arbeit werden zur übersichtlicheren Darstellung die Skalen zu den 2 Subskalen KSS Knie und KSS Funktion summiert.

Es folgt die Darstellung der entsprechenden Fragen aus dem Knee Society Score. [42]

Objektive Kniebeurteilung (vom Arzt auszufüllen)

BEINACHSE

1. Beinachse: Belastungsaufnahme a.p. stehend max. 25 Punkte

Neutral: 2-10° valgus (25 Punkte)

Varus: < 2° valgus (-10 Punkte)

Valgus: > 10° valgus (-10 Punkte)

INSTABILITÄT

2. Mediale / laterale Instabilität: Messung in voller Streckung max. 15 Punkte

Keine	(15 Punkte)
Wenig oder < 5 mm	(10 Punkte)
Moderat oder 5 mm	(5 Punkte)
Stark oder > 5mm	(0 Punkte)

3. Anteroposteriore Instabilität: Messung in 90° Flexion max. 10 Punkte

Keine	(10 Punkte)
Moderat < 5 mm	(5 Punkte)
Stark > 5 mm	(0 Punkte)

BEWEGUNGSMASS

4. Bewegungsumfang (1 Punkt für jeweils 5°)

Flexionsdefizit Einschränkungen / Abzüge

1-5°	(-2 Punkte)
6-10°	(-5 Punkte)
11-15°	(-10 Punkte)
>15°	(-15 Punkte)

Extensionsdefizit

< 10°	(-5 Punkte)
10-20°	(-10 Punkte)
> 20°	(-15 Punkte)

Symptome (vom Patienten auszufüllen)

1. Schmerzstärke beim Gehen auf ebenem Untergrund (Wert - max. 10)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

kein Schmerz

starker Schmerz

2. Schmerzen beim Treppensteigen und Aufwärtsgehen

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

kein Schmerz

starker Schmerz

3. Fühlt sich das betroffene Kniegelenk normal an?

Ständig	(5 Punkte)
Gelegentlich	(3 Punkte)
Nie	(0 Punkte)

PATIENTENZUFRIEDENHEIT

1. Wie zufrieden sind Sie momentan in Bezug auf Knieschmerzen während des Sitzens?

- Sehr zufrieden (8 Punkte)
- Zufrieden (6 Punkte)
- Neutral (4 Punkte)
- Unzufrieden (2 Punkte)
- Sehr unzufrieden (0 Punkte)

2. Wie zufrieden sind Sie momentan in Bezug auf Knieschmerzen, während Sie im Bett liegen?

- Sehr zufrieden (8 Punkte)
- Zufrieden (6 Punkte)
- Neutral (4 Punkte)
- Unzufrieden (2 Punkte)
- Sehr unzufrieden (0 Punkte)

3. Wie zufrieden sind Sie momentan mit Ihrem Knie, wenn Sie aus dem Bett steigen?

- Sehr zufrieden (8 Punkte)
- Zufrieden (6 Punkte)
- Neutral (4 Punkte)
- Unzufrieden (2 Punkte)
- Sehr unzufrieden (0 Punkte)

4. Wie zufrieden sind Sie momentan mit Ihrer Kniefunktion beim Erledigen leichter Hausarbeit?

- Sehr zufrieden (8 Punkte)
- Zufrieden (6 Punkte)
- Neutral (4 Punkte)
- Unzufrieden (2 Punkte)
- Sehr unzufrieden (0 Punkte)

5. Wie zufrieden sind Sie momentan mit Ihrer Kniefunktion bei Freizeitaktivitäten?

- Sehr zufrieden (8 Punkte)
- Zufrieden (6 Punkte)
- Neutral (4 Punkte)
- Unzufrieden (2 Punkte)
- Sehr unzufrieden (0 Punkte)

PATIENTENERWARTUNG

Was glauben Sie, durch Ihre Knieprothese erreichen zu können?

1. Erwarten Sie durch die Knieprothesenoperation eine Schmerzlinderung?

- | | |
|-----------------|------------|
| Nein, gar nicht | (1 Punkt) |
| Ja, minimal | (2 Punkte) |
| Ja, geringfügig | (3 Punkte) |
| Ja, moderat | (4 Punkte) |
| Ja, deutlich | (5 Punkte) |

2. Erwarten Sie, dass Sie durch die Operation wieder normale Alltagsaktivitäten ausführen können?

- | | |
|-----------------|------------|
| Nein, gar nicht | (1 Punkt) |
| Ja, minimal | (2 Punkte) |
| Ja, geringfügig | (3 Punkte) |
| Ja, moderat | (4 Punkte) |
| Ja, deutlich | (5 Punkte) |

3. Erwarten Sie, dass Sie durch die Operation wieder sportliche und andere Freizeitaktivitäten ausüben können?

- | | |
|-----------------|------------|
| Nein, gar nicht | (1 Punkt) |
| Ja, minimal | (2 Punkte) |
| Ja, geringfügig | (3 Punkte) |
| Ja, moderat | (4 Punkte) |
| Ja, deutlich | (5 Punkte) |

KÖRPERLICHE AKTIVITÄTEN

GEHEN UND STEHEN (30 Punkte)

1. Können Sie ohne jegliche Gehhilfen gehen (wie z.B. Stock, Unterarmgehstützen oder Rollstuhl)?

- Ja
- Nein

2. Falls nein, welche der folgenden Gehhilfe(n) verwenden Sie?

- | | |
|---|--------------|
| <input type="radio"/> 1 Unterarmgehstütze | (-4 Punkte) |
| <input type="radio"/> Rollstuhl | (-10 Punkte) |
| <input type="radio"/> Rollator | (-8 Punkte) |
| <input type="radio"/> 1 Stock | (-4 Punkte) |

- Unterarmgehstützen (-8 Punkte)
- Bandage/Orthese (-2 Punkte)
- 2 Gehstöcke (-6 Punkte)
- Anderes

3. Nutzen Sie diese Hilfen aufgrund Ihrer Knie?

- Ja
- Nein

4. Wie lange können Sie (mit oder ohne Gehhilfe) stehen, bevor Sie sich wegen Ihres Knies hinsetzen müssen?

- Kann nicht stehen (0 Punkte)
- 0-5 Minuten (3 Punkte)
- 6-15 Minuten (6 Punkte)
- 16-30 Minuten (9 Punkte)
- 31-60 Minuten (12 Punkte)
- länger als 1 Stunde (15 Punkte)

5. Wie lange können Sie (mit oder ohne Gehhilfe) gehen, bevor Sie wegen Ihres Knies anhalten müssen?

- Kann nicht stehen (0 Punkte)
- 0-5 Minuten (3 Punkte)
- 6-15 Minuten (6 Punkte)
- 16-30 Minuten (9 Punkte)
- 31-60 Minuten (12 Punkte)
- länger als 1 Stunde (15 Punkte)

GRUNDAKTIVITÄTEN

Wie stark schränkt Sie ihr Knie bei den folgenden Aktivitäten ein?

1. Gehen auf unebenem Boden

- Gar nicht (5 Punkte)
- wenig (4 Punkte)
- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)
- ich tue dies nie

2. Drehen oder Richtungswechsel über das Bein

- Gar nicht (5 Punkte)

- wenig (4 Punkte)
- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)
- ich tue dies nie

3. Treppen hinauf oder hinab steigen

- Gar nicht (5 Punkte)
- wenig (4 Punkte)
- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)
- ich tue dies nie

4. Aufstehen aus niedrigem Sessel oder Stuhl ohne Armlehnen

- Gar nicht (5 Punkte)
- wenig (4 Punkte)
- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)
- ich tue dies nie

5. Auto ein- oder aussteigen

- Gar nicht (5 Punkte)
- wenig (4 Punkte)
- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)
- ich tue dies nie

6. Seitwärts gehen

- Gar nicht (5 Punkte)
- wenig (4 Punkte)
- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)
- ich tue dies nie

SPEZIELLE AKTIVITÄTEN

1. Auf eine Leiter oder Hocker steigen

- Gar nicht (5 Punkte)
- wenig (4 Punkte)
- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)
- ich tue dies nie

2. Einkaufstasche 500 Meter tragen

- Gar nicht (5 Punkte)
- wenig (4 Punkte)
- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)
- ich tue dies nie

3. Hocken

- Gar nicht (5 Punkte)
- wenig (4 Punkte)
- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)
- ich tue dies nie

4. Knien

- Gar nicht (5 Punkte)
- wenig (4 Punkte)
- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)
- ich tue dies nie

5. Rennen

- Gar nicht (5 Punkte)
- wenig (4 Punkte)

- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)
- ich tue dies nie

MÖGLICHE AKTIVITÄTEN

Bitte wählen Sie die 3 für Sie wichtigsten Aktivitäten aus.
(bitte keine zusätzlichen Aktivitäten einfügen)

Freizeitaktivitäten	Fitnessstudio
Schwimmen	Hanteltraining
Golfen	Beintraining
Radfahren	Stepper
Gartenarbeit	Fahrradergometer/ Spinning
Bowlen/ Kegeln	Beinpresse
Tennis/ Squash/ Federball	Jogging
Spazieren gehen	Cross Trainer
Tanzen / Ballett	Aerobic
Dehnübungen	

Wie sehr beeinträchtigt Sie ihr Knie bei den folgenden Aktivitäten?

- Gar nicht (5 Punkte)
- wenig (4 Punkte)
- Mittel (3 Punkte)
- stark (2 Punkte)
- sehr stark (1 Punkt)
- Knie bedingt unmöglich (0 Punkte)

Aktivität bitte übertragen Sie die 3 Aktivitäten aus obiger Liste

1.....

2.....

3.....

5.4.3 FJS

Der 2007 entwickelte FJS oder auch Forgotten joint Score ist der dritte Score, welcher bei allen Patienten erhoben wurde. In der vorliegenden Dissertation wurde eine modifizierte Version des FJS erhoben. Hierbei wurden 12 Fragen zum Kniegelenk nach Knieendoprothese in Bezug auf die Integrität des künstlichen Gelenks im Alltag gestellt. Ziel hierbei ist die

Evaluation der Fähigkeit des Patienten, das ersetzte Gelenk im Alltag zu vergessen. Dafür wurden die Patienten zum Verspüren des operierten Kniegelenk bei Alltagstätigkeiten, wie Gehen, Sitzen, Duschen oder Baden, Auto fahren, Treppensteigen, Wandern, Hausbeziehungsweise Gartenarbeit und sportlicher Aktivität befragt.

Im Anschluss erfolgt die Darstellung des erhobenen Fragebogens.

Forgotten joint score

Bitte beantworten Sie die Fragen mit ja oder nein.

Die Fragen beziehen sich ausdrücklich auf ihr operiertes Knie. Andere Faktoren lassen Sie bitte bei der Beantwortung unberücksichtigt. Wenn Sie sich bei einer Frage nicht sicher sind, dann geben Sie bitte den Durchschnitt bzw. den überwiegenden Sachverhalt an.

„Spüren“ ist im Sinne von Wahrnehmen, wie eine Art Fremdkörper gemeint.

1. Spüren Sie ihr Knie in der Nacht, wenn Sie im Bett liegen?
 - Ja
 - Nein
2. Spüren Sie ihr Knie, wenn Sie über 1 Stunde auf einem Stuhl sitzen?
 - Ja
 - Nein
3. Spüren Sie ihr Knie, wenn Sie über mehr als 15 Minuten lang gehen?
 - Ja
 - Nein
4. Spüren Sie ihr Knie beim Duschen oder Baden?
 - Ja
 - Nein
5. Spüren Sie ihr Knie, wenn Sie Auto fahren?
 - Ja
 - Nein

6. Spüren Sie ihr Knie beim Treppensteigen?

- Ja
- Nein

7. Spüren Sie ihr Knie, wenn Sie auf unebenem Boden (z.B. Wald, Kopfsteinpflaster) gehen?

- Ja
- Nein

8. Spüren Sie ihr Knie, wenn Sie von einem niedrigen Sitz (z.B. vom Boden oder kleinem Stuhl) aufstehen?

- Ja
- Nein

9. Spüren Sie ihr Knie, wenn Sie längere Zeit gestanden haben?

- Ja
- Nein

10. Spüren Sie ihr Knie bei der Haus- oder Gartenarbeit?

- Ja
- Nein

11. Spüren Sie ihr Knie beim Wandern?

- Ja
- Nein

12. Spüren Sie ihr Knie beim Lieblingssport?

- Ja
- Nein

5.5. Statistik

Zur statistischen Auswertung der erhobenen Daten wurde der Pearson Korrelationskoeffizient auf dem Signifikanzniveau von 0,05, 0,01 und 0,001 zwischen den erhobenen PROMs und einzelnen Ganganalyseparametern der operierten Patienten ermittelt. Hierbei wurden die entsprechenden Ganganalyseparameter ermittelt, indem Mittelwerte aus dem gesunden Patientenkollektiv mit den der operierten Patienten nach der Methode der kleinsten Quadrate verglichen wurden. Entsprechend in der Methode der kleinsten Quadrate der Wert des gesunden Patientenkollektivs dem der Operierten, dann erhielt er die Wertung Null. Mit zunehmender Abweichung der Ganganalyse der operierten Patienten nahm dieser Wert in positiver oder negativer Richtung zu. Ausgehend von den abweichenden Werten wurde der Pearson Koeffizient zur Ermittlung der linearen Korrelation zwischen PROM und auffälligen Ganganalyseparametern berechnet.

Im Anschluss wurde eine schrittweise Regressionsanalyse durchgeführt, um gezielte Parameter der Ganganalyse zu identifizieren, welche isoliert mit dem FJS korrelieren.

6. Ergebnisse

Das mittlere Alter der 23 Frauen und 17 Männer betrug 61,8 +/- 7,3 (37-76) Jahre. Durchschnittlich erfolgte nach 19 +/- 4 Monaten eine erneute Vorstellung der Patienten mit einer Streuung von 12 bis 29 Monaten. Es wurden 9 Patienten eine Attune-Knieendoprothese der Firma Depuy, 19 Patienten ein LCS- Oberflächenersatz ebenfalls von Depuy und 12 Patienten ein e.motion- Knie der Firma Aesculap implantiert.

6.1. PROM postoperativ

Die postoperativen Durchschnittswerte für den Knee society Score lagen bezüglich der Subskala Knie bei 85,9 mit einer Standardabweichung von 17,3 mit einer Streuung von 31 bis 100. Bei der Skala der Funktion lagen die Werte des KSS im Mittel bei 85,0, mit einer Standardabweichung von 16,6 und mit einem Wertebereich von 30 bis 100. Insgesamt waren die Durchschnittswerte des KSS bei 170,9 mit einer Standardabweichung von 31,4 mit Werten im Minimum von 61 und im Maximum von 200.

Die Werte des Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index lagen im Bereich des Schmerzes im Durchschnitt bei 1,1 mit einer Standardabweichung von 1,5 mit Minimalwerten von 0 und Maximalwerten von 5. Der WOMAC lag im Bereich der Steifigkeit bei einem Durchschnittswert von 1,3 mit einer Standardabweichung von 2 und einer Streuung von 0 bis 7,5. Bei der Funktion lagen die Werte des WOMAC bei Durchschnittswert von 2,6 mit einer Standardabweichung von 4,4 und einer Wertestreuung von 0 bis 17. Zusammenfassend lagen die Totalwerte des WOMAC im Durchschnitt bei 3,3 mit der Standardabweichung von 6 und einer Streuung von 0 bis 25.

Bei dem Forgotten joint score lag der Durchschnittswert bei 78,3 mit einer Standardabweichung von 23,9 mit einem Wertebereich von 0 bis 100.

Bezüglich der Zufriedenheit lag der Durchschnittswert der Patienten bei 1,7 mit einer Standardabweichung von 0,9 und einer Wertestreuung von 1 bis 5.

	mean	std. dev.	min	max
KSS Knie	85.9	17.3	31	100
KSS Funktion	85.0	16.6	30	100
KSS Total	170.9	31.4	61	200
Womac Schmerz	1.1	1.5	0	5
Womac Steifigkeit	1.3	2	0	7.5
Womac Funktion	2.6	4.4	0	17
Womac Total	3.3	6	0	25
FJS-12	78.3	23.9	0	100
Zufriedenheit	1.7	0.9	1	5

6.2. Korrelation PROM und Ganganalyseparameter

Für die erhobenen Fragebögen ergab sich eine signifikant engere Verbindung der normalisierten Ganganalyseparameter nach der Methode der kleinsten Quadrate im Vergleich zu den absoluten Parametern der Ganganalyse.

Der KSS korrelierte mit 16 absoluten Ganganalyseparametern. Im Vergleich mit den normalisierten Parametern konnte jedoch eine Korrelation mit 23 normalisierten Parametern der gesunden Kontrollgruppe bei einem Signifikanzniveau von mindestens 0,05 ausgemacht werden.

Bei den absoluten Ganganalyseparametern korrelierte der KSS signifikant mit dem Hüftwinkel sagittal der operierten Seite in Extension, mit dem Fuß- Progressionswinkel sagittal der operierten Seite abwärts, dem Fuß- Progressionswinkel sagittal der operierten Seite aufwärts, dem Winkel des oberen Sprunggelenks frontal der operierten Seite in Abduktion, mit dem Fuß- Progressionswinkel transversal der operierten Seite außen. Zudem zeigte sich ein statistisch signifikanter Zusammenhang des KSS- Scores und dem Hüftwinkel sagittal der operierten Seite in Extension, mit dem Fuß- Progressionswinkel sagittal der gesunden Seite abwärts, dem Fuß- Progressionswinkel sagittal der gesunden Seite aufwärts,

dem Fuß- Progressionswinkel frontal der gesunden Seite in Abduktion, dem relativen Knie- Moment sagittal der operierten Seite in Flexion, dem Range des Hüftwinkels sagittal der gesunden Seite, dem Range des Hüftwinkels sagittal der operierten Seite, dem relativen Hüft- Moment sagittal der operierten Seite in Extension, dem relativen Knie- Moment frontal der operierten Seite im valgus, dem relativen Knie- Moment transversal der operierten Seite in Extension und dem relativen Knie- Moment transversal der gesunden Seite in Extension.

Im Vergleich zu den absoluten Parametern wurden 23 normalisierte Parameter als signifikant identifiziert. Hierzu gehören die Beckenneigung der operierten Seite abwärts frontal, der Hüftwinkel sagittal der operierten Seite in Flexion, der Hüftwinkel sagittal der operierten Seite in Extension, der Kniewinkel transversal der operierten Seite außen, der Fuß- Progressionswinkel sagittal der operierten Seite aufwärts, sowie die Beckenneigung der gesunden Seite aufwärts frontal. Außerdem korrelierte der KSS signifikant mit dem Hüftwinkel sagittal der gesunden Seite in Flexion, dem Hüftwinkel sagittal der gesunden Seite in Extension, mit dem Fuß- Progressionswinkel sagittal der gesunden Seite aufwärts, dem Fuß- Progressionswinkel transversal der gesunden Seite in Extension, dem relativen Knie- Moment sagittal der operierten Seite in Flexion, dem relativen Knie- Moment sagittal der gesunden Seite in Flexion und der Ground reaction force oder auch Bodenreaktionskraft der operierten Seite der Z- Range 2. Des Weiteren existiert eine signifikante Korrelation zwischen der Punktzahl des KSS und der Range der Beckenneigung der operierten Seite, der Range des Hüftwinkels sagittal der operierten Seite, der Range des Hüftwinkels sagittal der gesunden Seite, der Range des Fuß- Progressionswinkels sagittal der operierten Seite, der Range des Fuß- Progressionswinkels sagittal der gesunden Seite, der Range der Beckenneigung der operierten Seite, der Range des relativen Hüft- Moments frontal der operierten Seite, der Range des relativen Hüft- Moments frontal der gesunden Seite, der Range 2 des relativen Knie- Moments frontal der operierten Seite und der Range 1 des relativen Knie- Moments sagittal der gesunden Seite.

Der WOMAC zeigte die engste Korrelation zu den Ganganalyseparametern von den in dieser Studie erhobenen PROMs. Er korrelierte mit 100 absoluten und mit 96 normalisierten Parametern. Zu den korrelierenden absoluten Parametern gehören die Bodenreaktionskraft

der operierten Seite in X- Richtung für Minimum, die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Y- Richtung für Maximum 1, die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Y- Richtung für Minimum, die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Z- Richtung für Maximum 1, die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Z- Richtung für Minimum, die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Z- Richtung für Maximum 2 und die Bodenreaktionskraft der gesunden Seite in Y- Richtung für Maximum 1. Zudem korrelierte der WOMAC bei den absoluten Parametern mit der Beckenkipfung der operierten Seite anterior sagittal, der Beckenneigung der operierten Seite aufwärts frontal, der Beckenneigung der operierten Seite abwärts frontal, der Beckenrotation der operierten Seite innen transversal, der Beckenrotation der operierten Seite außen transversal, des Hüftwinkels sagittal der operierten Seite in Flexion, des Hüftwinkels sagittal der operierte Seite in Extension, des Hüftwinkels frontal der operierten Seite in Abduktion, sowie des Hüftwinkels transversal der operierten Seite außen. Zusätzlich zeigte sich eine signifikante Korrelation des WOMAC mit dem Kniewinkel sagittal der operierten Seite in Flexion, dem Kniewinkel frontal der operierten Seite im Valgus, dem Winkel des oberen Sprunggelenks sagittal der operierten Seite in Plantarflexion, dem Winkel des oberen Sprunggelenks frontal der operierten Seite in Adduktion, dem Winkel des oberen Sprunggelenks frontal der operierten Seite in Abduktion, sowie dem Fuß- Progressionswinkel sagittal der operierten Seite aufwärts und dem Fuß- Progressionswinkel transversal der operierten Seite innen. Dazu konnte eine Korrelation zu der Beckenkipfung der gesunden Seite anterior (sagittal), der Beckenkipfung der gesunden Seite posterior (sagittal), der Beckenneigung der gesunden Seite aufwärts (frontal), der Beckenneigung der gesunden Seite abwärts (frontal) und der Beckenrotation der operierten Seite außen (transversal), sowie des Fuß- Progressionswinkels sagittal der gesunden Seite aufwärts, des Fuß- Progressionswinkels frontal der gesunden Seite in Adduktion und Abduktion und des Fuß- Progressionswinkels frontal der gesunden Seite in Extension gezeigt werden. Außerdem zeigte sich eine statistisch signifikante Korrelation der absoluten Ganganalyseparameter mit dem relativen Hüft- Moment sagittal der operierten Seite in Extension, dem relativen Hüft- Moment frontal der operierten Seite in Adduktion 1, dem relativen Knie- Moment sagittal der operierten Seite in Extension 1, dem relativen Knie- Moment frontal der operierten Seite im Varus 1, dem relativen Knie- Moment transversal der operierten Seite in Extension, dem relativen OSG- Moment frontal

der operierten Seite in Abduktion, dem relativen OSG- Moment frontal der operierten Seite in Abduktion, dem relativen OSG- Moment transversal der operierten Seite innen, dem relativen Hüft- Moment sagittal der gesunden Seite in Extension, dem relativen Hüft- Moment frontal der gesunden Seite in Adduktion 1, dem relativen Hüft- Moment transversal der gesunden Seite innen, dem relativen Hüft- Moment transversal der gesunden Seite außen, dem relativen Knie- Moment frontal der gesunden Seite im Valgus, dem relativen Knie- Moment frontal der gesunden Seite im Varus 1, dem relativen Knie- Moment transversal der gesunden Seite innen und außen, dem relativen OSG- Moment sagittal der gesunden Seite plantar und dem relativen OSG- Moment transversal der gesunden Seite außen. Zudem konnte eine Korrelation zwischen der Hüftleistung der operierten Seite Maximum und Minimum, der Knieleistung der operierten Seite Maximum und Minimum, der OSG- Leistung der gesunden Seite Maximum und Minimum, der Standphase der gesunden Seite, der Ganggeschwindigkeit der operierten Seite, der relativen Ganggeschwindigkeit der gesunden Seite und der Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Z- Richtung 3 ermittelt werden. Der WOMAC zeigte bei den absoluten Parametern der Ganganalyse außerdem eine statistisch signifikante Korrelation mit dem Umfang der Beckenneigung der operierten Seite, dem Umfang des Hüftwinkels sagittal der operierten Seite, dem Umfang des Hüftwinkels frontal der operierten Seite, dem Umfang des Hüftwinkels transversal der operierten Seite, dem Umfang des Kniewinkels sagittal der operierten Seite, dem Umfang des Kniewinkels transversal der operierten Seite, dem Umfang des OSG- Winkels sagittal der operierten Seite, dem Umfang des OSG- Winkels frontal der operierten Seite, dem Umfang des OSG- Winkels transversal der operierten Seite, dem Umfang des Fuß- Progressionswinkels sagittal der operierten Seite, dem Umfang des Fuß- Progressionswinkels transversal der operierten Seite, dem Umfang des Fuß- Progressionswinkels sagittal der gesunden Seite, dem Umfang des Fuß- Progressionswinkels frontal der gesunden Seite, dem Umfang des Fuß- Progressionswinkels transversal der gesunden Seite und dem Umfang der Beckenrotation der gesunden Seite. Außerdem bestand eine Korrelation bei dem Umfang des Hüftwinkels sagittal der gesunden Seite, dem Umfang des Hüftwinkels frontal der gesunden Seite, dem Umfang des Hüftwinkels transversal der gesunden Seite, dem Umfang des relativen Hüftmoments sagittal der operierten Seite, dem Umfang des relativen Hüftmoments frontal der operierten Seite, dem Umfang 1 des relativen Hüftmoments frontal der operierten Seite,

dem Umfang des relativen Hüftmoments transversal der operierten Seite, dem Umfang des relativen Kniemoments sagittal der operierten Seite, dem Umfang 1 des relativen Kniemoments sagittal der operierten Seite, dem Umfang des relativen Kniemoments frontal der operierten Seite, dem Umfang 1 des relativen Kniemoments frontal der operierten Seite, dem Umfang 2 des relativen Kniemoments frontal der operierten Seite, dem Umfang des relativen OSG- Moments frontal der operierten Seite, dem Umfang des relativen OSG- Moments transversal der operierten Seite, dem Umfang des relativen Hüftmoments sagittal der gesunden Seite, dem Umfang des relativen Hüftmoments frontal der gesunden Seite, dem Umfang 2 des relativen Hüftmoments frontal der gesunden Seite, dem Umfang des relativen Kniemoments frontal der gesunden Seite, dem Umfang 1 des relativen Kniemoments frontal der gesunden Seite, dem Umfang des relativen Kniemoments transversal der gesunden Seite, dem Umfang des relativen OSG- Moments sagittal der gesunden Seite, dem Umfang der Hüftleistung der operierten Seite, dem Umfang der Knieleistung der operierten Seite und dem Umfang 2 der Knieleistung der operierten Seite.

Hierzu im Vergleich die Korrelation zu den normalisierten Ganganalyseparametern.

Zu den korrelierenden normalisierten Parametern gehören die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in X- Richtung für Maximum 1, die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in X- Richtung für Minimum, die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Y- Richtung für Maximum 1, die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Y- Richtung für Minimum, die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Z- Richtung für Maximum 1, die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Z- Richtung für Minimum, die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Z- Richtung für Maximum 2, die Bodenreaktionskraft der gesunden Seite in Y- Richtung für Maximum 1, des Hüftwinkels sagittal der operierte Seite in Extension, des Hüftwinkels frontal der operierten Seite in Adduktion, des Hüftwinkels frontal der operierten Seite in Abduktion, sowie der Hüftwinkel transversal der operierten Seite außen.

Zudem korrelierte der WOMAC signifikant mit dem Kniewinkel sagittal der operierten Seite in Flexion, dem Kniewinkel frontal der operierten Seite im Valgus, dem Kniewinkel transversal der operierten Seite innen, dem Winkel des oberen Sprunggelenks sagittal der operierten Seite in Plantarflexion, dem Winkel des oberen Sprunggelenks frontal der operierten Seite in Adduktion, dem Winkel des oberen Sprunggelenks frontal der operierten

Seite in Abduktion, dem Winkel des oberen Sprunggelenks transversal der operierten Seite außen. Außerdem konnte eine statistisch signifikante Korrelation mit dem Fuß-Progressionswinkel sagittal der operierten Seite abwärts und aufwärts, dem Fuß-Progressionswinkel transversal der operierten Seite innen, dem Fuß-Progressionswinkel sagittal der gesunden Seite abwärts und aufwärts, dem Fuß-Progressionswinkel frontal der gesunden Seite in Adduktion, dem Fuß-Progressionswinkel frontal der gesunden Seite in Abduktion und dem Fuß-Progressionswinkel transversal der gesunden Seite außen ermittelt werden.

Der WOMAC korrelierte zudem mit den normalisierten Ganganalyseparametern wie dem relativen Hüft-Moment sagittal der operierten Seite in Extension, dem relativen Hüft-Moment frontal der operierten Seite in Adduktion 1, dem relativen Knie-Moment sagittal der operierten Seite in Extension 1, dem relativen Knie-Moment sagittal der operierten Seite in Flexion, dem relativen Knie-Moment frontal der operierten Seite im Varus 1, dem relativen OSG-Moment frontal der operierten Seite in Abduktion, dem relativen OSG-Moment transversal der operierten Seite innen, der Hüftleistung der operierten Seite Maximum und Minimum, der Knieleistung der operierten Seite Maximum 1 und Minimum, der Knieleistung der operierten Seite Maximum 2, der OSG-Leistung der operierten Seite Maximum, der OSG-Leistung der gesunden Seite Minimum, der Standphase der gesunden Seite, der relativen Schrittlänge der operierten Seite, der Ganggeschwindigkeit der operierten Seite, der Umfang der Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Z-Ebene 3 und dem Umfang der Beckenneigung der operierten Seite. Zudem zeigte sich eine signifikante Korrelation mit dem Umfang des Hüftwinkels sagittal der operierten Seite, dem Umfang des Hüftwinkels frontal der operierten Seite, dem Umfang des Hüftwinkels transversal der operierten Seite, dem Umfang des Kniewinkels sagittal der operierten Seite, dem Umfang des Kniewinkels transversal der operierten Seite, dem Umfang des OSG-Winkels sagittal der operierten Seite, dem Umfang des OSG-Winkels frontal der operierten Seite, dem Umfang des OSG-Winkels transversal der operierten Seite, dem Umfang des Fuß-Progressionswinkels sagittal der operierten Seite, dem Umfang des Fuß-Progressionswinkels transversal der operierten Seite, dem Umfang des Fuß-Progressionswinkels sagittal der gesunden Seite, dem Umfang des Fuß-Progressionswinkels frontal der gesunden Seite, dem Umfang des Fuß-Progressionswinkels transversal der gesunden Seite und dem Umfang der

Beckenrotation der gesunden Seite. Außerdem ließ sich eine Korrelation bei dem Umfang des Hüftwinkels sagittal der gesunden Seite, dem Umfang des Hüftwinkels frontal der gesunden Seite, dem Umfang der Beckenneigung der operierten Seite, dem Umfang des Hüftwinkels sagittal der operierten Seite, dem Umfang des Hüftwinkels transversal der operierten Seite, dem Umfang des Kniewinkels sagittal der operierten Seite, dem Umfang des Kniewinkels transversal der operierten Seite, dem Umfang des OSG- Winkels sagittal der operierten Seite, dem Umfang des OSG- Winkels frontal der operierten Seite, dem Umfang des OSG- Winkels transversal der operierten Seite und dem Umfang des Fuß-Progressionswinkel sagittal der operierten Seite ermitteln.

Der WOMAC zeigte bei den normalisierten Parametern der Ganganalyse außerdem eine statistisch signifikante Korrelation mit dem Umfang des Fuß- Progressionswinkels transversal der operierten Seite, dem Umfang der Beckenneigung der gesunden Seite, dem Umfang der Beckenrotation der gesunden Seite, dem Umfang des Hüftwinkels sagittal der gesunden Seite, dem Umfang des Hüftwinkels frontal der gesunden Seite, dem Umfang des Hüftwinkels transversal der gesunden Seite, dem Umfang des Fuß- Progressionswinkels sagittal der gesunden Seite, dem Umfang des Fuß- Progressionswinkels frontal der gesunden Seite, dem Umfang des relativen Hüftmoments sagittal der operierten Seite, dem Umfang des relativen Hüftmoments frontal der operierten Seite, dem Umfang 1 des relativen Hüftmoments frontal der operierten Seite, dem Umfang des relativen Hüftmoments transversal der operierten Seite, dem Umfang des relativen Kniemoments sagittal der operierten Seite, dem Umfang 1 des relativen Kniemoments sagittal der operierten Seite, dem Umfang 2 des relativen Kniemoments sagittal der operierten Seite, dem Umfang des relativen Kniemoments frontal der operierten Seite, dem Umfang 1 des relativen Kniemoments frontal der operierten Seite, dem Umfang des relativen OSG- Moments frontal der operierten Seite, dem Umfang des relativen OSG- Moments transversal der operierten Seite, dem Umfang des relativen Hüftmoments sagittal der gesunden Seite, dem Umfang des relativen Hüftmoments frontal der gesunden Seite, dem Umfang 2 des relativen Hüftmoments frontal der gesunden Seite, dem Umfang 1 des relativen Kniemoments frontal der gesunden Seite, dem Umfang 2 des relativen Kniemoments frontal der gesunden Seite, dem Umfang des relativen Kniemoments transversal der gesunden Seite, dem Umfang der Hüftleistung der operierten Seite, dem Umfang der Knieleistung der operierten Seite, dem

Umfang 2 der Knieleistung der operierten Seite, dem Umfang 1 der Knieleistung der gesunden Seite und dem Umfang 2 der Knieleistung der gesunden Seite.

Der FJS- 12 korrelierte signifikant mit 10 absoluten Parametern der Ganganalyse und im Gegensatz dazu mit 24 normalisierten Parametern. Die Korrelation der absoluten Parameter bezieht sich auf den Kniewinkel sagittal der operierten Seite in Flexion 1, den Kniewinkel sagittal der gesunden Seite in Extension, den Kniewinkel sagittal der gesunden Seite in Flexion 1, dem Winkel des oberen Sprunggelenks sagittal der operierten Seite in Dorsalextension, das relative Kniemoment der operierten Seite frontal im Varus 1, das relative Kniemoment der gesunden Seite frontal im Valgus, die Hüftleistung der operierten Seite im Minimum, der Kadenz, der relativen Ganggeschwindigkeit der gesunden Seite und den Umfang des relativen Kniemoments frontal der operierten Seite.

Die normalisierten korrelierenden Parameter waren hingegen die Bodenreaktionskraft der operierten Seite in Y- Richtung für Minimum, die Beckenneigung der operierten Seite aufwärts (frontal), die Beckenneigung der operierten Seite abwärts (frontal), der Hüftwinkel sagittal der operierten Seite in Flexion, der Kniewinkel sagittal der operierten Seite in Extension, dem Winkel des oberen Sprunggelenks sagittal der operierten Seite in Dorsalextension, sowie dem Winkel des oberen Sprunggelenks transversal der operierten Seite innen. Zudem zeigte sich eine statistisch signifikante Korrelation des FJS mit dem Fuß- Progressionswinkel transversal der operierten Seite innen, der Beckenneigung der gesunden Seite aufwärts (frontal), der Beckenneigung der gesunden Seite abwärts (frontal), dem Hüftwinkel sagittal der gesunden Seite in Flexion, dem relativen Kniemoment der operierten Seite frontal im Varus 1, dem relativen Kniemoment der gesunden Seite frontal im Valgus, der Hüftleistung der operierten Seite im Minimum, der Knieleistung der operierten Seite im Maximum 2, der Kadenz, der Doppelunterstützung, der relativen Ganggeschwindigkeit der gesunden Seite, der Umfang der Beckenneigung der operierten Seite, der Umfang des Winkels des oberen Sprunggelenks sagittal der operierten Seite in Plantarflexion, der Umfang des Fuß- Progressionswinkels der operierten Seite transversal, der Umfang der Beckenneigung der gesunden Seite, der Umfang des Kniewinkels frontal der gesunden Seite und dem Umfang des relativen Kniemoments frontal der operierten Seite.

In der anschließend erfolgten schrittweisen Regressionsanalyse zur Identifikation gezielter Ganganalyseparameter, welche den FJS- 12 direkt beeinflussen, konnten die normalisierte Kadenz, die normalisierte relative Ganggeschwindigkeit der nicht operierten Seite und der normalisierte Umfang des relativen Kniemoments der operierten Seite als korrelierende Faktoren identifiziert werden. Mit der Zunahme des Scores im FJS-12 minimierten sich diese Parameter mit Annäherung der Werte an ein gesundes Gangbild. Die Korrelation zeigte sich mit einem Koeffizienten von 0,708.

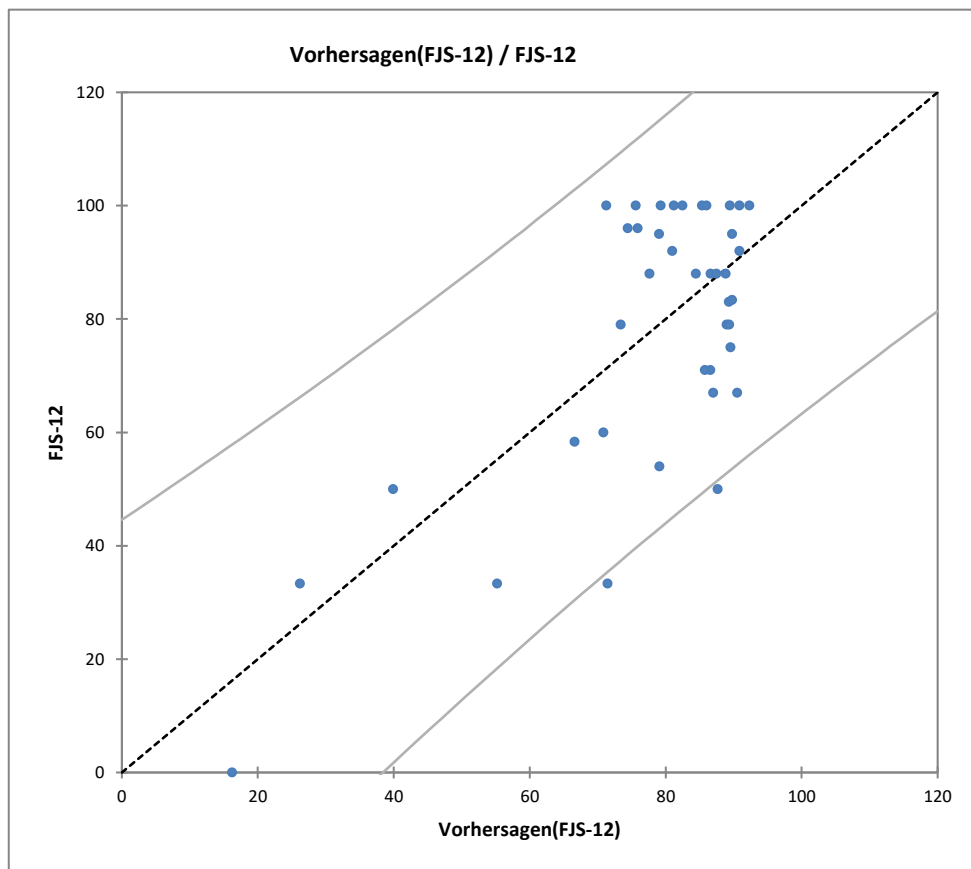


Abbildung 17: Korrelation zwischen dem gemessenen und dem vorhergesagten FJS-12-Score in der Regressionsanalyse

7. Diskussion

Nach aktuellem Kenntnisstand leidet ein erheblicher Anteil der Patienten nach bikondylärem Oberflächenersatz an persistierenden Beschwerden ohne exakte Diagnose und genaue Bestimmung der Ursache. Nach Studienlage variieren die Zahlen hierbei von 17 bis 20 Prozent unzufriedener Patienten mit diversen Beschwerden nach Implantation einer Knie-Totalendoprothese [31][43]. Es ist Gegenstand verschiedener Untersuchungen, die genauen Ursachen dieser Beschwerden zu ermitteln und so das Outcome nach Knie Totalendoprothese zu verbessern.

So konnten bisher verschiedene korrelierende Faktoren mit der Patientenzufriedenheit, beziehungsweise der Lebensqualität der Patienten nach Implantation einer Knieendoprothese identifiziert werden. Es zeigte sich zum Beispiel bei niedriger Patientenzufriedenheit eine Druckschmerzhaftigkeit über der proximalen Tibia, eine Instabilität im Gelenk in der koronaren Ebene bei 60° Flexion, eine niedrige soziale Unterstützung, ein verminderter Bewegungsumfang, eine Druckschmerzhaftigkeit bei patellofemorale Kompression, ein erhöhter Body-Mass-Index und eine geringe Schmerzschwelle der betroffenen Patienten mit signifikanter Korrelation in der Regressionsanalyse. [44]

Ziel der vorliegenden Dissertation ist die Identifikation von spezifischen Ganganalyseparametern, die signifikant mit dem Outcome gemessen an Patient related outcome measures nach Implantation eines bikondylären Oberflächenersatzes korrelieren.

Patient reported outcome wird als Oberbegriff für unterschiedliche Konzepte zur Messung subjektiv empfundener Gesundheitszustände verwendet. Sie sind dadurch gekennzeichnet, dass der Patient selbst seine Einschätzung berichtet. [2]

Zur Beurteilung der Kniegelenksfunktion nach Prothesenimplantation finden hierzu unter anderem Fragebögen wie der Knee Society Score (KSS), der Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) standartmäßig seit mehreren Jahrzehnten verbreitete Anwendung. Nach aktueller Datenlage wird mit bis zu 42 PROMs eine Evaluation der Kniefunktion vor oder nach endoprothetischer Versorgung vorgenommen. [45] Ein PROM, welcher erst seit einigen Jahren seine Anwendung im klinischen Alltag findet ist der Forgotten joint score, beziehungsweise FJS.

Der Forgotten joint Score evaluiert die Fähigkeit des operierten Patienten, das ersetzte Gelenk im Alltag zu vergessen. Es werden im Rahmen des Fragebogens explizit Fragen zum Spüren des Kniegelenkes beim Gehen und Wandern erfragt. Der FJS-12 wird in verschiedenen Studien favorisiert, um als Messinstrument für den Erfolg des operativen Eingriffs nach Knieendoprothese zu dienen. [46][47][48][49] Als Ziel eines optimalen Therapieergebnisses soll hier das „vergessene Kniegelenk“ evaluiert werden, welches der Patient nach einem bikondylären Oberflächenersatz bei verschiedenen Tätigkeiten, wie unter anderem auch beim Gehen, nicht mehr verspürt.

Nach gegenwärtiger Datenlage ist bekannt, dass die Ganganalyse nach Implantation einer Knie- Totalendoprothese hoch pathologisch ist. Bisher bleibt unklar, ob diese Pathologie auf der Basis der Arthrose oder auf dem operativen Eingriff selbst beruht. Bekannt ist, dass Patienten nach Knie- Totalendoprothese langsamer gehen, weniger Exkursion bei der Flexion des Kniegelenks im Stand haben, eine geringere maximale Kniebeugung während der Schwungphase aufweisen und veränderte Kniemomente in der Sagittalebene im Vergleich zu Kontrollgruppen zeigen. [50]

Das Gangbild wird dabei durch multiple Faktoren beeinflusst, wie zum Beispiel das Prothesendesign, die verwendete OP- Technik, sowie die anschließenden Rehabilitationsverfahren. Im Rahmen unterschiedlicher Studien zum endoprothetischen Gelenkersatz konnte durch verschiedene Forschungsgruppen ein pathologisches Gangbild festgestellt werden. Diese Pathologien werden unter anderem durch Resektion des vorderen Kreuzbandes und die Veränderung der Gelenkgeometrie mit signifikanter Veränderung der Propriozeption des Gelenks verursacht. Mit der Implantation einer Knieendoprothese wird die Gelenkstabilität verändert, sowie in die Kinematik des Kniegelenks eingegriffen. Dabei ist auch die Art der endoprothetischen Versorgung zu beachten mit den entsprechenden Unterschieden von unikondylärem und bikondylärem Oberflächenersatz. Bei einem unikondylären Oberflächenersatz bleibt der hälftige Gelenkanteil mit den entsprechenden Bandstrukturen bestehen. So zeigt sich hier zum Beispiel ein physiologischeres Gangbild in der Sagittalebene bei den Schlittenprothesen, während Patienten mit Totalendoprothese ein steiferes Gangmuster aufweisen. Trotzdem kann keine der beiden Arten der Endoprothetik die Kniekinematik der kontralateralen Seite vollständig wieder herstellen. [51]

Daraus resultiert, dass auch bei zufriedenen und beschwerdefreien Patienten ein pathologisches Gangbild im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe anzunehmen ist. Trotz dessen bleibt das Ziel des operativen Eingriffs der Implantation einer Knieendoprothese als kausaler Therapie der manifesten Gonarthrose die umfassende Wiederherstellung der Lebensqualität, zu welcher ein schmerzloser und möglichst normaler Gang hinzuzählt.

In der gegenwärtigen Literatur wird eine signifikante Korrelation des Gangbildes mit dem klinischen Ergebnis in Form von PROMs nach Implantation eines bikondylären Oberflächenersatzes kontrovers diskutiert.

Liebensteiner et al. konnten keine signifikante Korrelation des KSS mit einem Ganganalyseparameter präoperativ oder postoperativ eruieren. [52] Dies widerspricht der Hypothese, dass einige Ganganalyseparameter mit spezifischen PROMs korrelieren. Im Gegensatz dazu konnte in einer Untersuchung von Turcot et al eine signifikante Verbesserung des WOMAC, sowie des SF-12 ein Jahr postoperativ nach Knie-Totalendoprothese nachgewiesen werden. Zudem konnte in der Ganganalyse eine Verbesserung der Ganggeschwindigkeit, sowie des Bewegungsausmaßes festgestellt werden, was sich in einem verbesserten Gangbild ein Jahr postoperativ zeigt. Trotzdem konnte auch hier keine signifikante Korrelation von spezifischen Ganganalyseparametern zu den verwendeten PROMs aufgezeigt werden. [53] Dies steht einer Veröffentlichung gegenüber, bei welcher Turcot et al. aufzeigen konnten, dass ein schwacher Zusammenhang zwischen den Ganganalyseparametern und der Zufriedenheit nach dem Operationsergebnis besteht, der in Kombination mit dem WOMAC im Rahmen einer Regressionsanalyse stärker wird. Hierbei wurde aber im Vergleich ein deutlich kürzerer Beobachtungszeitraum von 3 Monaten postoperativ gewählt [54].

Dem gegenüber stehen Untersuchungen mit stärkerer Korrelation von Ganganalyseparametern und PROMs. Fuchs et al. konnte nach endoprothetischem Kniegelenkersatz eine signifikante Korrelation zwischen Bodenreaktionskraft minimum und verschiedenen PROMs, unter diesen auch der KSS, aufzeigen. Für diese Studie wurden aber nur bikondyläre Schlitten und gekoppelte Knieendoprothesen untersucht. Zudem zeigte sich die Korrelation der aufgezeigten Ganganalyseparameter nur mit einem P- Wert größer als

0,4 [47]. Damit wäre die Stärke der statistischen Signifikanz in diesem Fall kritisch zu hinterfragen.

Auch Liebensteiner konnte in einer anderen Studie für zahlreiche Ganganalyseparameter einen starken Zusammenhang mit dem KSS und anderen PROMs mit einer Korrelation von $R > 0,6$ nachweisen, welche jedoch erst vor der Implantation eines bikondylären Oberflächenersatzes zutraf. Nach endoprothetischem Gelenkersatz waren diese Korrelationen nicht mehr nachweisbar [55].

In der hier vorliegenden Dissertation korrelierte der FJS- 12 in der Regressionsanalyse signifikant mit drei Parametern. Zu diesen gehören die normalisierte Kadenz, die normalisierte relative Ganggeschwindigkeit der nicht operierten Seite und der normalisierte Umfang des relativen Kniemoments der operierten Seite. Zudem wiesen alle drei untersuchten PROMs eine signifikant engere Korrelation zu den nach der Methodik der kleinsten Quadrate normalisierten Ganganalyseparameter auf.

Die vorliegende Dissertation weist einige Schwächen auf. So wurden zum Beispiel retrospektiv gesammelte Daten verwendet, welche ihrerseits im Rahmen anderer Untersuchungen unter Verwendung einheitlicher Methodik und entsprechender wissenschaftlicher Standards erhoben wurden. Damit enthalten die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit aber keine klinischen Routinedaten.

Die Fallzahl in der vorliegenden Arbeit ist auf 40 begrenzt und damit im Vergleich zu anderen Arbeiten relativ gering. Im Vergleich zur gegenwärtigen Literatur, den berechneten Standardabweichungen und gezeigten Signifikanzen ist die vorliegende Fallzahl aber nicht unzureichend. Darüber hinaus wurden für jeden Ganganalyseparameter lediglich die Mittelwerte aller Kontrollpatienten zur Normalisierung herangezogen, obwohl Normalwerte in Abhängigkeit von Geschlecht und Alter nicht vorausgesetzt werden können. Trotzdem wurde die Alters- und Geschlechtsübereinstimmung der Kontrollgruppen genutzt, um diese potenzielle Verzerrung zu minimieren.

Die Studiendaten dieser Arbeit bestätigen einen Zusammenhang zwischen FJS- 12 und drei normalisierten Ganganalyseparametern. Daraus kann jedoch trotz der Regressionsanalyse keine Kausalität abgeleitet werden.

Auf der Grundlage der erhobenen Daten scheint es dennoch plausibel - über die beeinflussbaren Variablen Implantatdesign, Operationstechnik und Rehabilitation - auf ein möglichst physiologisches Gangbild nach der Implantation abzielen, um so die Ergebnisse nach Knie- Totalendoprothetik weiterführend zu optimieren.

8. Schlussfolgerungen

Das Hauptergebnis der vorliegenden Arbeit zeigt, dass die nach der Methode der kleinsten Quadrate normalisierten Ganganalyseparameter eine stärkere Korrelation mit höherer Signifikanz zu patient reported outcome measures aufweisen. Hierzu wurden im Vergleich nicht normalisierte und normalisierte Ganganalyseparameter mit den oben beschriebenen drei Fragebögen KSS, WOMAC und FJS- 12 verglichen. Zusätzlich wurde in dieser Arbeit der FJS- 12 als valides Instrument zur Erhebung des Outcomes von Patienten nach Knie-Totalendoprothese belegt, sowie drei Parameter evaluiert, welche in der Regressionsanalyse eine signifikante Korrelation aufweisen.

Zu diesen Parametern zählen die normalisierte Kadenz, die normalisierte relative Ganggeschwindigkeit der nicht operierten Seite und der normalisierte Umfang des relativen Kniemoments der operierten Seite.

Somit kann die Hypothese H1 dieser Dissertation, welche lautet, dass einige wenige Ganganalyseparameter mit Patient related outcome measures korrelieren, als belegt angenommen werden. Die gegenüber gestellte Hypothese H0 besagt, dass kein spezifischer Ganganalyseparameter mit Patient related outcome measures nach bikondylärem Oberflächenersatz korreliert. Diese ist somit im Rahmen dieser Dissertation widerlegt.

Bislang war in der Behandlung von Patienten nach Knie- Totalendoprothese unklar, welche Gangparameter optimiert werden müssten, um den größten klinischen Benefit, gemessen an Patient related outcome measures, zu erzielen. Diese Dissertation identifiziert drei Parameter, welche im Rahmen der postoperativen Rehabilitation gezielt korrigiert werden könnten, um in Zukunft das Outcome von Patienten nach Knie Totalendoprothese weiter zu verbessern.

Zudem könnte das Evaluieren des klinischen Ergebnis nach Kniegelenkersatz ökonomisiert und vereinfacht werden, da bei signifikanter Korrelation die verhältnismäßig aufwendige Ganganalyse als objektive Ergebniserfassung durch einen validen PROM abgebildet werden kann.

9. Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Jerosch et al. Knieendoprothetik. 2. Auflage, 2015. S. 2. ISBN: 978-3-642-38423-3
- [2] Brettschneider, Lühmann, Raspe. Der Stellenwert von Patient Reported Outcomes (PRO) im Kontext von Health Technology Assessment (HTA). DIMI, 2011. HTA- Bericht 109
- [3] Bleß und Kip. Weißbuch Gelenkersatz, Versorgungssituation endoprothetischer Hüft- und Knieoperationen in Deutschland. Springer Verlag, 2016. DOI 10.1007/978-3-662-53260-7
- [4] Matziolis, Röhner. Die mediale Gonarthrose. Georg Thieme Verlag, 2015. Doi: 10.1055/s-0035-1557834
- [5] Manger. Checkliste Rheumatologie. Georg Thieme Verlag, 2005. ISBN 3137630037
- [6] Martina Rabenberg. RKI Gesundheitberichterstattung des Bundes, Arthrose, Heft 54, 2013.
- [7] Jerosch und Heisel. Klassifizierung der degenerativen Veränderungen des Gelenkknorpels. Springer-Verlag, 2010. ISBN 3798515883, 9783798515888
- [8] AQUA Institut für angewandte Qualitätsförderung und Forschung im Gesundheitswesen, Bundesauswertung Erfassungsjahr 2013, 17/5 Knie Totalendoprothesen- Erstimplantationen, 2014
- [9] Felson DT, Couropmitree NN, Chaisson CE, et al. Evidence for a Mendelian gene in a segregation analysis of generalized radiographic osteoarthritis. The Framingham Study. Arthr Rheum, 1998. 41: 1064–71 Doi: 10.1002/1529-0131(199806)41:6<1064::AID-ART13>3.0.CO;2-K

- [10] Hannan MT, Felson DT, Pincus T. Analysis of the discordance between radiographic changes and knee pain in osteoarthritis of the knee. *J Rheumatol*, 2000. 27: 1513–17 PMID: 10852280
- [11] Michael, Joern W.-P., Schlüter-Brust, Klaus U., Eysel, Peer. Epidemiologie, Ätiologie, Diagnostik und Therapie der Gonarthrose. *The Epidemiology, Etiology, Diagnosis, and Treatment of Osteoarthritis of the Knee. Dtsch Arztebl, Int* 2010. 107(9): 152-62; Doi: 10.3238/arztebl.2010.0152
- [12] D-Statistisches Bundesamt. Daten und Fakten, Bevölkerung, Werte. Im Internet: www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Tabelle_n/_/lrbev01.html
- [13] Statistisches Bundesamt. (2006) Bevölkerung bis 2050, 11. Koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. Eigenverlag, Wiesbaden, Im Internet: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsvorausberechnung/Publikationen/Downloads-Vorausberechnung/bevoelkerung-deutschland-2050-bericht-5124203069004.pdf>
- [14] Statista. Anzahl der Zuwanderer nach Deutschland von 1991 bis 2019. Im Internet: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/28347/umfrage/zuwanderung-nach-deutschland/>
- [15] Huang, Liu et al. The Diagnosis and Therapy of Degenerative Knee Joint Disease: Expert Consensus from the Chinese Pain Medicine Panel. *Pain Res Manag*, 2018. Doi: 10.1155/2018/2010129
- [16] M. Underwood et al. OARSI guidelines for the non-surgical management of knee osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage* 22, 2014. 363e388

- [17] S2k- Leitlinie Gonarthrose. DGOOC. AWMF Registernummer: 033-004, 2018. Im Internet: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/033-004l_S2k_Gonarthrose_2018-01_1.pdf
- [18] Madry H, Kohn D. Conservative treatment of knee osteoarthritis. Unfallchirurg, 2004. Doi: 10.1007/s00113-004-0817-8
- [19] Vannini F, Spalding T, Andriolo L et al. Sport and early osteoarthritis: the role of sport in aetiology, progression and treatment of knee osteoarthritis. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2016. 24(6): p. 1786-96. Doi: 10.1007/s00167-016-4090-5
- [20] Zeng C, Li H, Yang T et al. Effectiveness of continuous and pulsed ultrasound for the management of knee osteoarthritis: a systematic review and network meta-analysis. Osteoarthritis Cartilage, 2014. 22(8): p. 1090-9 Doi: 10.1016/j.joca.2014.06.028.
- [21] Diehl, Tischer et al. Konservative Therapie der Gonarthrose. Hessisches Ärzteblatt, 2014. Doi: 10.1007/s001320-012-2016-6
- [22] Kutzner, Bergmann et al. The effect of laterally wedged shoes on the loading of the medial knee compartment- in vivo measurements with instrumented knee implants. Journal of Orthopaedic Research, 2012. Doi: 10.1002/jor.21477
- [23] Basad. Gelenkerhaltende operative Maßnahmen bei der Gonarthrose, Wissenschaft, Deutscher Ärzte- Verlag, OUP 2013.
- [24] Hunt, Jazrawi, Sherman. Arthroscopic management of osteoarthritis of the knee. Journal American Acad Orthopaedic Surgery, 2002. 10:356-363 Doi: 10.5435/00124635-200209000-00007

- [25] Petty, Lubowitz. Does arthroscopic partial meniscectomy result in knee osteoarthritis? A systematic review with a minimum of 8 years' follow up. *Arthroscopy*, 2011. 27:419-424 Doi: 10.1016/j.arthro.2010.08.016
- [26] Gardinier, Buchanan TS et al. Altered loading in the injured knee after ACL rupture. *Journal Orthopaedic Research*, 2013. 31: 458-464 Doi: 10.1002/jor.22249
- [27] Vollnberg, Jung et al. Prevalence of cartilage lesions and early osteoarthritis in patients with patellar dislocation. *European Radiologist*, 2012. 22:2347-2356 Doi: 10.1007/s00330-012-2493-3
- [28] Deie, Sumen et al. A long term follow-up study after medial patellofemoral ligament reconstruction using the transferred semitendinosus tendon for patellar dislocation. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 2005. 13: 522-528
- [29] Martinek, Imhoff. Tibiale Umstellungsosteotomie am Kniegelenk- Renaissance eines klassischen Verfahrens? *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, Jahrgang 54, 2003.
- [30] S2k-Leitlinie Indikation Knieendoprothese, Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie, EKIT- Knie. AWMF Registernummer: 033-052
- [31] Matziolis, Röhner. Primäre Endoprothetik am Kniegelenk. *Orthopädie und Unfallchirurgie update*. 2017. 12(04), 359-384. Doi: 10.1055/s-0043-100472
- [32] Lützner, Krummenhauer et al. Langzeitergebnisse in der Knieendoprothetik. Metaanalyse zu Revisionsrate und funktionellem Ergebnis. *Der Chirurg*. Ausgabe 7/2011
- [33] Klinke, Pape, Silbernagl. *Physiologie*, 5. Auflage 2005. S. 736-742
- [34] Konzept für ein Ganganalyselabor im Spastiker- Zentrum München, Dissertation S.A. Schrödl, 2008.

- [35] Attune. Technische Monographie. Depuy Synthes. 2013. Im Internet: http://synthes.vo.llnwd.net/o16/LLNWMB8/INT%20Mobile/Synthes%20International/Product%20Support%20Material/legacy_DePuy_PDFs/0612-21-513_LR.pdf
- [36] Patienteninformation. LCS Kniesystem. Wissenswertes über Ihr künstliches Kniegelenk. S.12 DePuy, 2002. Im Internet: https://imedo-downloads.s3.amazonaws.com/185/kuenstliches_kniegelenk_lcs.pdf
- [37] P.J. Jankowski. Prospektive klinische Studie zum Vergleich zweier posterior-stabilisierter Knieendoprothesen, mobile bearing (LCS RPS) versus fixed bearing (Journey BCS) unter besonderer Beachtung klinischer Scores. Dissertation 2017. S.23-24
- [38] A. Köstlin. Die Inzidenz des anterioren Knieschmerzes und dessen Auswirkung auf Funktion, Klinik und Range of Motion nach bikondylären, ungekoppelten, zementierten Kniegelenksendoprothesenersatz ohne Patella Rückflächenersatz in Abhängigkeit von der Art der Verankerung des Polyethyleninlays in der Tibiaplattform. Dissertation 2014. S.23-24
- [39] Amir T. Assessment WOMAC. Arthrose evaluieren. Physiotherapie 06/07.
- [40] E. Kensy. Vergleich von Assessment- Verfahren zur routinemässigen Ergebnismessung in der orthopädischen Rehabilitation bei Hüft- und Knieerkrankungen. Dissertation 2007. S.24-25
- [41] Noble PC, Scuderi GR, Brekke AC, et al. Development of a new Knee Society scoring system. Clin Orthop Relat Res, 2012. Doi: 10.1007/s11999-011-2152-z
- [42] The knee society score. Präoperativ. Im Internet: http://kneesociety.org/wp-content/uploads/2019/04/2011-KS-Score-c-Pre-Op_DE_PB_2.0_01082018.pdf

[43] Dunbar, Robertson et al. I can't get no satisfaction after my total knee replacement. *The bone and joint journal*, 2013. Doi: 10.1302/0301-620X.95B11.32767

[44] Howells N et al. Persistent pain after knee replacement: do factor associated with pain vary with degree of patient dissatisfaction? *Osteoarthritis cartilage*, 2016. 24:2061-2068 Doi: 10.1016/j.joca.2016.07.012

[45] Siljander , McQuivey , Fahs , Galasso , Serdahely , Karadsheh. Current Trends in Patient-Reported Outcome Measures in Total Joint Arthroplasty: A Study of 4 Major Orthopaedic Journals. *J Arthroplasty*. 2018. Doi: 10.1016/j.arth.2018.06.034.

[46] Schotanus MGM, Pilot P, Vos R, Kort NP. No difference in joint awareness after mobile- and fixed-bearing total knee arthroplasty: 3-year follow-up of a randomized controlled trial. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2017. Doi: 10.1007/s00590-017-1921-0.

[47] Fuchs S, Tibesku CO, Genkinger M, Volmer M, Laass H, Rosenbaum D. Clinical and functional comparison of bicondylar sledge prostheses retaining all ligaments and constrained total knee replacement. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2004. 19:263–9. Doi: 10.1016/j.clinbiomech.2003.11.004.

[48] Hajduk G, Nowak K, Sobota G, Kusz D, Kopec K, Błaszczak E, et al. Kinematic gait parameters changes in patients after total knee arthroplasty. Comparison between cruciate-retaining and posterior-substituting design. *Acta Bioeng Biomech*, 2016. 18:137–42. PMID: 27840435

[49] Otsuki T, Nawata K, Okuno M. Quantitative evaluation of gait pattern in patients with osteoarthrosis of the knee before and after total knee arthroplasty. Gait analysis using a pressure measuring system. *J Orthop Sci*, 1999. 4:99–105 Doi: 10.1007/s007760050081

[50] Papagiannis, Babis et al. Gait analysis methodology for the measurement of biomechanical parameters in total knee arthroplasties. A literature review. *J Orthop*, 2018 Mar. Doi: 10.1016/j.jor.2018.01.048

[51] Agarwal, Miller, Hadden, L Johnston, W Wang, G Arnold, R J Abboud. Comparison of Gait Kinematics in Total and Unicdylar Knee Replacement Surgery. *Ann R Coll Surg Engl*, 2019. Doi: 10.1308/rcsann.2019.0016.

[52] Liebensteiner MC, Herten A, Gstoettner M, Thaler M, Krismer M, Bach CM. Correlation between objective gait parameters and subjective score measurements before and after total knee arthroplasty. *Knee*, 2008. 15:461–6. Doi: 10.1016/j.knee.2008.07.001.

[53] Bonnefoy-Mazure A, Armand S, Sagawa Y, Suvà D, Miozzari H, Turcot K. Knee Kinematic and Clinical Outcomes Evolution Before, 3 Months, and 1 Year After Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*, 2017. 32:793–800. Doi: 10.1016/j.arth.2016.03.050.

[54] Turcot K, Sagawa Y, Fritschy D, Hoffmeyer P, Suvà D, Armand S. How gait and clinical outcomes contribute to patients' satisfaction three months following a total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*, 2013. 28:1297–300. Doi: 10.1016/j.arth.2013.01.031.

[55] Liebensteiner MC, Herten A, Gstoettner M, Thaler M, Krismer M, Bach CM. Correlation between objective gait parameters and subjective score measurements before and after total knee arthroplasty. *Knee*, 2008. 15:461–6. Doi: 10.1016/j.knee.2008.07.001.

10. Anhang

10.1. Korrelierende Parameter KSS und Ganganalyse absolut

Ganganalyseparameter	p-Wert
OS_Segment_sag_OS_ext	0,008
Fuß_Progr_sag_OS_down	0,045
Fuß_Progr_sag_OS_up	0,048
Fuß_Progr_fron_OS_abd	0,029
Fuß_Progr_trans_OS_ext	0,028
OS_Segment_sag_GS_ext	0,003
Fuß_Progr_sag_GS_down	0,035
Fuß_Progr_sag_GS_up	0,042
Fuß_Progr_fron_GS_abd	0,029
rel_Knie_Mom_sag_OS_flex	0,029
rel_Knie_Mom_fron_OS_valg	0,029
rel_Knie_Mom_trans_OS_ext	0,041
rel_Hüft_Mom_sag_GS_ext	0,049
rel_Knie_Mom_trans_GS_ext	0,044
OS_Segment_sag_GS_Range	0,043
OS_Segment_sag_OS_Range	0,035

10.2. Korrelierende Parameter KSS und Ganganalyse normiert

Ganganalyseparameter	p-Wert
Pelvis_Obliquity_OS_down	0,005
OS_Segment_sag_OS_flex	0,049
OS_Segment_sag_OS_ext	0,016
Knie_trans_OS_ext	0,009
Fuß_Progr_sag_OS_up	0,038
Pelvis_Obliquity_GS_up	0,006
OS_Segment_sag_GS_flex	0,023
OS_Segment_sag_GS_ext	0,009
Fuß_Progr_sag_GS_up	0,033
Fuß_Progr_trans_GS_ext	0,012
rel_Knie_Mom_sag_OS_flex	0,038
rel_Knie_Mom_sag_GS_flex	0,024
GRF_OS_z_Range2	0,020
Pelvis_Obliquity_OS_Range	0,024
OS_Segment_sag_OS_Range	0,032

Fuß_Progr_sag_OS_Range	0,042
Pelvis_Obliquity_GS_Range	0,021
OS_Segment_sag_GS_Range	0,031
Fuß_Progr_sag_GS_Range	0,040
rel_Hüft_Mom_front_OS_Range	0,042
rel_Knie_Mom_fron_OS_Range2	0,012
rel_Hüft_Mom_front_GS_Range	0,041
rel_Knie_Mom_sag_GS_Range1	0,038

10.3. Korrelierende Parameter WOMAC und Ganganalyse absolut

Ganganalyseparameter	p-Wert
GRF_OS_x_Min	0,004
GRF_OS_y_Max1	0,035
GRF_OS_y_Min	0,002
GRF_OS_z_Max1	0,005
GRF_OS_z_Min	0,007
GRF_OS_z_Max2	0,007
GRF_GS_y_Max1	0,024
Pelvis_Tilt_OS_ant	0,015
Pelvis_Obliquity_OS_up	0,016
Pelvis_Obliquity_OS_down	0,032
Pelvis_Rotation_OS_int	0,011
Pelvis_Rotation_OS_ext	0,033
OS_Segment_sag_OS_flex	0,011
OS_Segment_sag_OS_ext	0,002
OS_Segment_fron_OS_abd	0,004
OS_Segment_trans_OS_ext	0,050
Knie_sag_OS_flex2	0,014
Knie_fron_OS_valg	0,043
OSG_sag_OS_plan	0,006
OSG_fron_OS_add	0,002
OSG_fron_OS_abd	0,006
Fuß_Progr_sag_OS_up	0,004
Fuß_Progr_trans_OS_int	0,006
Pelvis_Tilt_GS_ant	0,045
Pelvis_Tilt_GS_post	0,046
Pelvis_Obliquity_GS_up	0,043
Pelvis_Obliquity_GS_down	0,018
Pelvis_Rotation_GS_ext	0,041
Fuß_Progr_sag_GS_up	0,006

Fuß_Progr_fron_GS_add	0,040
Fuß_Progr_fron_GS_abd	0,007
Fuß_Progr_trans_GS_ext	0,003
rel_Hüft_Mom_sag_OS_ext	0,008
rel_Hüft_Mom_front_OS_add1	0,022
rel_Knie_Mom_sag_OS_ext1	0,023
rel_Knie_Mom_fron_OS_var1	0,003
rel_Knie_Mom_trans_OS_ext	0,030
rel_OSG_Mom_fron_OS_abd	0,004
rel_OSG_Mom_trans_OS_int	0,005
rel_Hüft_Mom_sag_GS_ext	0,003
rel_Hüft_Mom_front_GS_add1	0,004
rel_Hüft_Mom_trans_GS_int	0,006
rel_Hüft_Mom_trans_GS_ext	0,006
rel_Knie_Mom_fron_GS_valg	0,002
rel_Knie_Mom_fron_GS_var1	0,016
rel_Knie_Mom_trans_GS_int	0,003
rel_Knie_Mom_trans_GS_ext	0,002
rel_OSG_Mom_sag_GS_plan	0,007
rel_OSG_Mom_trans_GS_ext	0,001
Hüft_Leistung_OS_gen	0,017
Hüft_Leistung_OS_abs	0,001
Knie_Leistung_OS_gen1	0,000
Knie_Leistung_OS_abs	0,005
Knie_Leistung_OS_gen2	0,004
OSG_Leistung_GS_gen	0,004
OSG_Leistung_GS_abs	0,004
Standphase_GS	0,037
Gang_Geschw_OS	0,003
rel_Gang_Geschw_GS	0,001
GRF_OS_z_Range3	0,022
Pelvis_Obliquity_OS_Range	0,006
OS_Segment_sag_OS_Range	0,005
OS_Segment_fron_OS_Range	0,044
OS_Segment_trans_OS_Range	0,022
Knie_sag_OS_Range	0,001
Knie_trans_OS_Range	0,001
OSG_sag_OS_Range	0,014
OSG_fron_OS_Range	0,004
OSG_trans_OS_Range	0,024
Fuß_Progr_sag_OS_Range	0,002
Fuß_Progr_trans_OS_Range	0,002
Pelvis_Obliquity_GS_Range	0,005
Pelvis_Rotation_GS_Range	0,001
OS_Segment_sag_GS_Range	0,006
OS_Segment_fron_GS_Range	0,001
OS_Segment_trans_GS_Range	0,012

Fuß_Progr_sag_GS_Range	0,004
Fuß_Progr_fron_GS_Range	0,003
Fuß_Progr_trans_GS_Range	0,012
rel_Hüft_Mom_sag_OS_Range	0,003
rel_Hüft_Mom_front_OS_Range	0,012
rel_Hüft_Mom_front_OS_Range1	0,034
rel_Hüft_Mom_trans_OS_Range	0,006
rel_Knie_Mom_sag_OS_Range	0,006
rel_Knie_Mom_sag_OS_Range1	0,012
rel_Knie_Mom_fron_OS_Range	0,041
rel_Knie_Mom_fron_OS_Range1	0,002
rel_Knie_Mom_fron_OS_Range2	0,009
rel_OSG_Mom_fron_OS_Range	0,001
rel_OSG_Mom_trans_OS_Range	0,011
rel_Hüft_Mom_sag_GS_Range	0,016
rel_Hüft_Mom_front_GS_Range	0,002
rel_Hüft_Mom_front_GS_Range2	0,004
rel_Knie_Mom_fron_GS_Range	0,020
rel_Knie_Mom_fron_GS_Range1	0,037
rel_Knie_Mom_trans_GS_Range	0,004
rel_OSG_Mom_sag_GS_Range	0,027
Hüft_Leistung_OS_Range	0,010
Knie_Leistung_OS_Range	0,001
Knie_Leistung_GS_Range2	0,014

10.4. Korrelierende Parameter WOMAC und Ganganalyse normiert

Ganganalyseparameter	p-Wert
GRF_OS_x_Max1	0,000
GRF_OS_x_Min	0,003
GRF_OS_y_Max1	0,048
GRF_OS_y_Min	0,004
GRF_OS_z_Max1	0,007
GRF_OS_z_Min	0,002
GRF_OS_z_Max2	0,002
GRF_GS_y_Max1	0,030
OS_Segment_sag_OS_ext	0,000
OS_Segment_fron_OS_add	0,042
OS_Segment_fron_OS_abd	0,019
OS_Segment_trans_OS_ext	0,028
Knie_sag_OS_flex2	0,015
Knie_fron_OS_valg	0,024

Knie_trans_OS_int	0,006
OSG_sag_OS_plan	0,008
OSG_fron_OS_add	0,000
OSG_fron_OS_abd	0,006
OSG_trans_OS_ext	0,017
Fuß_Progr_sag_OS_down	0,004
Fuß_Progr_sag_OS_up	0,004
Fuß_Progr_trans_OS_int	0,001
Fuß_Progr_sag_GS_down	0,005
Fuß_Progr_sag_GS_up	0,008
Fuß_Progr_fron_GS_add	0,004
Fuß_Progr_fron_GS_abd	0,014
Fuß_Progr_trans_GS_ext	0,005
rel_Hüft_Mom_sag_OS_ext	0,017
rel_Hüft_Mom_front_OS_add1	0,022
rel_Knie_Mom_sag_OS_ext1	0,015
rel_Knie_Mom_sag_OS_flex	0,023
rel_Knie_Mom_fron_OS_var1	0,007
rel_OSG_Mom_fron_OS_abd	0,002
rel_OSG_Mom_trans_OS_int	0,004
rel_Hüft_Mom_sag_GS_ext	0,003
rel_Hüft_Mom_front_GS_add1	0,005
rel_Hüft_Mom_trans_GS_int	0,018
rel_Hüft_Mom_trans_GS_ext	0,012
rel_Knie_Mom_sag_GS_ext1	0,046
rel_Knie_Mom_fron_GS_valg	0,002
rel_Knie_Mom_fron_GS_var1	0,000
rel_Knie_Mom_trans_GS_int	0,003
rel_Knie_Mom_trans_GS_ext	0,001
rel_OSG_Mom_sag_GS_plan	0,020
rel_OSG_Mom_trans_GS_ext	0,001
Hüft_Leistung_OS_gen	0,012
Hüft_Leistung_OS_abs	0,004
Knie_Leistung_OS_gen1	0,000
Knie_Leistung_OS_abs	0,010
Knie_Leistung_OS_gen2	0,003
OSG_Leistung_GS_gen	0,004
OSG_Leistung_GS_abs	0,005
Standphase_GS	0,002
rel_Schrittlänge_OS	0,002
Gang_Geschw_OS	0,003
GRF_OS_z_Range3	0,018
Pelvis_Obliquity_OS_Range	0,025
OS_Segment_sag_OS_Range	0,007
OS_Segment_trans_OS_Range	0,003
Knie_sag_OS_Range	0,001
Knie_trans_OS_Range	0,000

OSG_sag_OS_Range	0,005
OSG_fron_OS_Range	0,004
OSG_trans_OS_Range	0,005
Fuß_Progr_sag_OS_Range	0,002
Fuß_Progr_trans_OS_Range	0,004
Pelvis_Obliquity_GS_Range	0,012
Pelvis_Rotation_GS_Range	0,005
OS_Segment_sag_GS_Range	0,010
OS_Segment_fron_GS_Range	0,000
OS_Segment_trans_GS_Range	0,009
Fuß_Progr_sag_GS_Range	0,005
Fuß_Progr_fron_GS_Range	0,002
rel_Hüft_Mom_sag_OS_Range	0,004
rel_Hüft_Mom_front_OS_Range	0,023
rel_Hüft_Mom_front_OS_Range1	0,004
rel_Hüft_Mom_trans_OS_Range	0,005
rel_Knie_Mom_sag_OS_Range	0,004
rel_Knie_Mom_sag_OS_Range1	0,008
rel_Knie_Mom_sag_OS_Range2	0,022
rel_Knie_Mom_fron_OS_Range	0,028
rel_Knie_Mom_fron_OS_Range1	0,001
rel_OSG_Mom_fron_OS_Range	0,000
rel_OSG_Mom_trans_OS_Range	0,004
rel_Hüft_Mom_sag_GS_Range	0,029
rel_Hüft_Mom_front_GS_Range	0,002
rel_Hüft_Mom_front_GS_Range2	0,007
rel_Knie_Mom_sag_GS_Range1	0,038
rel_Knie_Mom_fron_GS_Range2	0,012
rel_Knie_Mom_trans_GS_Range	0,004
Hüft_Leistung_OS_Range	0,012
Knie_Leistung_OS_Range	0,000
Knie_Leistung_OS_Range2	0,046
Knie_Leistung_GS_Range1	0,039
Knie_Leistung_GS_Range2	0,002

10.5. Korrelierende Parameter FJS und Ganganalyse absolut

Ganganalyseparameter	p-Wert
Knie_sag_OS_flex1	0,026
Knie_sag_GS_ext	0,019
Knie_sag_GS_flex1	0,002
OSG_sag_GS_dors	0,026
rel_Knie_Mom_fron_OS_var1	0,001
rel_Knie_Mom_fron_GS_valg	0,002
Hüft_Leistung_OS_abs	0,038
Kadenz	0,002
rel_Gang_Geschw_GS	0,033
rel_Knie_Mom_fron_OS_Range	0,010

10.6. Korrelierende Parameter FJS und Ganganalyse normiert

Ganganalyseparameter	p-Wert
GRF_OS_y_Min	0,040
Pelvis_Obliquity_OS_up	0,000
Pelvis_Obliquity_OS_down	0,012
OS_Segment_sag_OS_flex	0,003
Knie_sag_OS_ext	0,009
OSG_sag_OS_dors	0,012
OSG_trans_OS_int	0,022
Fuß_Progr_trans_OS_int	0,035
Pelvis_Obliquity_GS_up	0,028
Pelvis_Obliquity_GS_down	0,002
OS_Segment_sag_GS_flex	0,019
rel_Knie_Mom_fron_OS_var1	0,001
rel_Knie_Mom_fron_GS_valg	0,001
Hüft_Leistung_OS_abs	0,042
Knie_Leistung_OS_gen2	0,025
Kadenz	0,000
Doppelunterstützung	0,014
rel_Gang_Geschw_GS	0,021
Pelvis_Obliquity_OS_Range	0,001
OSG_sag_OS_Range	0,048
Fuß_Progr_trans_OS_Range	0,028
Pelvis_Obliquity_GS_Range	0,002
Knie_fron_GS_Range	0,031
rel_Knie_Mom_fron_OS_Range	0,024

10.7. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt zuerst meinem Doktorvater Herrn Professor Dr. Georg Matziolis, welcher mir die Erstellung dieser Promotion ermöglichte. Als mein Betreuer konnte er mir stets konstruktive und schnelle Rückmeldungen geben und mir wissenschaftliche, sowie methodische Unterstützung ermöglichen. Zudem ist er mir als Vorgesetzter im klinischen Alltag ein stetes Vorbild bei Patientenversorgung, Forschung und Lehre.

Allen meinen Freunden danke ich für die Unterstützung und Ermutigung bei der Durchführung der vorliegenden Promotion.

Danke an meinen Bruder Robert, welcher mir stets tatkräftig zur Seite gestanden hat, ebenso wie ich mir der Unterstützung meiner gesamten Familie immer sicher sein konnte.

Zudem möchte ich im Besonderen meinen Eltern Britta und Uwe für ihre Ermunterung, Einsatz, Geduld und Liebe danken. Ohne ihren Glauben an mich wäre mir Vieles im Leben nicht möglich gewesen. Ihnen möchte ich diese Arbeit an dieser Stelle widmen.

10.8. Ehrenwörtliche Erklärung

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich Schiller-Universität bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben: Univ. Prof. Dr. Georg Matziolis,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Ort, Datum

Unterschrift