

Aus der Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
der Universität zu Köln
Direktor: Universitätsprofessor Dr. med. P. Eysel

**Korrekturfaktor zur intraoperativen Messung der
Pfanneninklination bei primärer Hüft-Totalendopro-
these (TEP) –
eine retrospektive Analyse**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde der Medizinischen Fakultät
der Universität zu Köln

vorgelegt von
Inken Meiß aus Moers

promoviert am 21. Oktober 2025

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität zu Köln
Druckjahr 2025

Dekanin/Dekan:

Dekan: Universitätsprofessor Dr. med. G. R. Fink

1. Gutachter: Professor Dr. med. J. Oppermann

2. Gutachter: Professor Dr. med. J. Dargel

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskriptes habe ich keine Unterstützungsleistungen erhalten.

Weitere Personen waren an der Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich nicht die Hilfe einer Promotionsberaterin/eines Promotionsberaters in Anspruch genommen. Dritte haben von mir weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertationsschrift stehen.

Die Dissertationsschrift wurde von mir bisher weder im Inland noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Der dieser Arbeit zugrunde liegenden Datensatz wurde ohne meine Mitarbeit in Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universität zu Köln von Herrn Dr. med. Kai Hoffeld sowie Herrn Prof. Dr. med. Johannes Oppermann zur Verfügung gestellt. Die Erhebung sowie Vermessung der Daten erfolgten durch mich.

Aus einen anonymisierten Datensatz erfolgte die statistische Auswertung der erhobenen Messwerte durch die beteiligten Leiter der Forschungsarbeit sowie durch meine Person. Eine retrospektive Analyse der Patientendaten mittels Messung an bereits vorliegenden konventionellen 2D-Röntgenbildern bildet den Fokus der Arbeit. Dabei erfolgte die Vermessung von intra- sowie post-operativer Röntgenbildern sowohl im digitalen Format (Impaxx), sowie manuell durch Bildmaterial aus dem orthopädischen Archiv.

Die Hüft-TEP-Implantationen erfolgten in den Jahren 2013-2017 durch verschiedene Operatoren.

Erklärung zur guten wissenschaftlichen Praxis

Ich erkläre hiermit, dass ich die Ordnung zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und zum Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten (Amtliche Mitteilung der Universität zu Köln AM 132/2020) der Universität zu Köln gelesen habe und verpflichte mich hiermit, die dort genannten Vorgaben bei allen wissenschaftlichen Tätigkeiten zu beachten und umzusetzen.

Köln, den 28.04.2025

Unterschrift:

Danksagung

Mit dem Abschluss dieser Arbeit möchte ich besonderen Menschen meinen Dank aussprechen, ohne deren Unterstützung die erfolgreiche Absolvierung meines Studiums sowie die Fertigstellung meiner Dissertationsschrift nicht möglich gewesen wäre.

Mein tiefster Dank gilt meinen Eltern, Herrn H.-J. und Frau S. Meiβ, die immer an mich geglaubt und mich bestärkt haben. Ohne ihre Unterstützung wäre mein Werdegang in dieser Form nicht denkbar gewesen. Ebenso danke ich meiner Großmutter, Frau R. Kühling, sowie meinen beiden Schwestern, Frau R. und Frau W. Meiβ, die mich während meines gesamten Studiums und der Promotion jederzeit unterstützt haben.

Ein besonderes Dankeschön widme ich Herrn P. Pusch, der mir vor allem in der finalen Phase meiner Dissertation, immer zu Seite stand und dessen Zuspruch maßgeblich dazu beigetragen hat, dass ich diesen Punkt im Leben erreichen durfte.

Dank gilt zudem Herrn A. Andone-Grommes, da er mich stets ermutigt hat, nie aufzugeben. Ebenso danke ich meinen Freunden und Studienbegleitern für ihre Unterstützung.

Mein Dank gilt außerdem Herrn F. Przybylski, der mir den Zugang zu den Patientendaten des orthopädischen Archivs ermöglicht und mich mit großem Engagement unterstützt hat.

Ein besonderer Dank richtet sich an Herrn Dr. med. K. Hoffeld für die Betreuung meiner Arbeit und seine wertvollen Ratschläge. Ebenso möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. J. Oppermann für die Betreuung und die Möglichkeit, diese wissenschaftliche Arbeit unter seiner Anleitung durchführen zu dürfen, bedanken. Darüber hinaus danke ich Herrn Universitätsprofessor Dr. med. P. Eysel, dem Direktor der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universitätsklinik Köln, der mir ermöglicht hat, die Dissertation in seiner Abteilung zu realisieren.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS | 8 |
| 1. ZUSAMMENFASSUNG | 9 |
| 2. EINLEITUNG | 11 |
| 2.1. Einführung in die Hüftendoprothetik | 11 |
| 2.1.1. Fehlprojektionen in der Röntgenbildmorphologie bei Hüft-TEP-Implantation | 14 |
| 2.2. Zielsetzung der Studie | 15 |
| 2.3. Koxarthrose | 16 |
| 2.3.1. Pathophysiologie | 16 |
| 2.3.2. Inzidenz und Prävalenz der Koxarthrose | 17 |
| 2.3.3. Ätiologie | 18 |
| 2.3.4. Klassifikation der primären und sekundären Koxarthrose | 18 |
| 2.3.5. Risikofaktoren der Koxarthrose | 20 |
| 2.3.6. Alter | 21 |
| 2.3.7. Körpergewicht | 21 |
| 2.3.8. Vaskuläre Gefäßerkrankungen | 21 |
| 2.3.9. Geschlecht | 21 |
| 2.3.10. Genetik | 22 |
| 2.3.11. Beruf | 22 |
| 2.3.12. Nikotinkonsum | 22 |
| 2.3.13. Diabetes mellitus | 22 |
| 2.3.14. Anämie | 22 |
| 2.3.15. Symptomatik der Koxarthrose | 23 |
| 2.3.16. Diagnose und radiologische Klassifikation | 24 |
| 2.3.17. Therapie-Regime der Koxarthrose | 31 |
| 2.3.18. Indikation zur Hüft-TEP-Implantation bei Koxarthrose | 37 |
| 2.4. Hüftendoprothetik | 38 |
| 2.4.1. Ziel des Gelenkersatzes | 38 |
| 2.4.2. Parameter der Endoprothetik bei einer Hüft-TEP | 39 |
| 2.4.3. Implantatmaterialien und Prothesenformen | 39 |
| 2.4.4. Gleitpaarung bei Hüftendoprothesen | 40 |
| 2.4.5. Hüft-TEP Verankerung | 41 |
| 2.4.6. Zeichen der Femurschaftlockerung | 49 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4.7. Zugangsmethoden | 49 |
| 2.4.8. Minimal-invasive Implantationstechnik | 52 |
| 2.5. Präoperative Planung bei primärer Hüft-TEP | 54 |
| 2.6. Komplikationsmanagement | 57 |
| 2.7. Qualitätssicherung in der Hüft-Endoprothetik | 59 |
| 3. MATERIAL UND METHODEN | 61 |
| 3.1. Arbeitsprogramm: Messzeitpunkte und dokumentierte Daten | 61 |
| 3.1.1. Charakteristika des Patientenkollektivs | 61 |
| 3.2. Methoden | 62 |
| 3.2.1. Radiologische Auswertung | 62 |
| 3.2.2. Statistische Auswertung | 63 |
| 3.3. Statistische Auswertung | 67 |
| 3.3.1. Deskriptive Statistik | 67 |
| 3.3.2. Dependenzanalyse | 67 |
| 3.3.3. t-Test der Inklinationswinkel in Abhängigkeit zur Seite | 68 |
| 3.3.4. t-Test der Inklinationswinkel in Abhängigkeit zum Geschlecht | 68 |
| 4. ERGEBNISSE | 70 |
| 4.1. Häufigkeitsverteilung | 70 |
| 4.2. Verteilungsparameter | 71 |
| 4.2.1. Verteilung nach Operationsseite | 71 |
| 4.2.2. Altersverteilung | 71 |
| 4.2.3. Messparameter – Inklinationswinkel | 72 |
| 4.2.4. Inklinationswinkel im Seitenvergleich | 73 |
| 4.2.5. Differenz des Inklinationswinkels in Abhängigkeit zum Geschlecht | 74 |
| 4.2.6. Seitenspezifische Differenz der Inklinationswinkel | 74 |
| 4.3. Nicht parametrische Tests | 75 |
| 4.3.1. Test auf Normalverteilung | 75 |
| 4.3.2. Prüfung der Differenz der Inklinationswinkel | 77 |
| 4.3.3. Inklinationswinkel in Abhängigkeit zum Geschlecht | 77 |
| 4.4. Korrelationen nach Pearson und Zusammenhänge | 78 |
| 4.4.1. Korrelationsanalyse der Inklinationswinkel in Abhängigkeit vom Alter | 78 |

| | |
|--|------------|
| 4.4.2 Korrelation des intraoperativen Winkels zum postoperativen Winkel | 80 |
| 4.5. Lineare Regressionsanalyse | 81 |
| 5. DISKUSSION | 95 |
| 5.1. Limitierungen der Übersichtsarbeit | 100 |
| 5.2. Ausblick | 102 |
| 5.3. Interessenkonflikt | 102 |
| 6. LITERATURVERZEICHNIS | 103 |
| 7. ANHANG | 114 |
| 7.1. Abbildungsverzeichnis | 137 |
| 7.2. Tabellenverzeichnis | 139 |
| 8. VORABVERÖFFENTLICHUNGEN VON ERGEBNISSEN | 140 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-----------|---|
| ACR | American College of Rheumatology |
| AOI | Apparent operative inclination/ Scheinbare operative Inklination |
| AP | Anterior-Posterior |
| APP | Anterior Pelvic plane |
| BMI | Body-Mass-Index |
| CAM | CAM-Impingement (Störung des Femurkopfes/ Femurhalses) |
| CCD | Centrum-Collum-Diaphysenwinkel |
| CDH | Congenital dysplasia of the hip |
| CF | Korrekturfaktor |
| CT | Computertomographie |
| df | Fallzahl |
| 2D | Zweidimensional |
| DRI | Differenz der radiologischen Neigungswinkel |
| EPRD | Endoprothesenregister Deutschland |
| HA | Hydroxylapatit-Kristallgranulaten |
| IBBC | Interface bioactive bone cement |
| IF | Intraoperative radiologische Neigung |
| KI | Konvidenzintervall |
| KL | Kellgren-Lawrence |
| KS-Test | Kolmogorov-Smirnov-Test |
| LLLD | Lower limb length discrepancy |
| M. | Musculus (Muskel) |
| M | Mittelwert |
| Max. | Maximum |
| Min. | Minimum |
| MRT | Magnetresonanztomographie |
| N. | Nervus (Nerv) |
| n | Anzahl an Probanden / Fallzahl |
| NSAID | Nichtsteroidale Entzündungshemmer / non steroidal anti-inflammatory drugs |
| NSAR | Nicht steroidale Antrheumatika |
| OA | Osteoarthritis |
| OI | Operative inclination / operative Inklination |
| p | Signifikanzniveau / Irrtumswahrscheinlichkeit ($p < 1\%$) |
| PMMA | Polymethylmethacrylat |
| PRI | Postoperative radiologische Neigung |
| R | Spannweite |
| r | Korrelationskoeffizient ($r = 0,5$) |
| RA | Cup-Anteversion / Pfannen-Anteversion |
| RI | Radiographic inclination / Radiographische Inklination |
| ROM | Range of Motion, Bewegungsumfang |
| SD | Standardabweichung |
| SEM | Standardfehler des Mittelwertes |
| SuperPath | supercapsuläre perkutan assistierte Hüfttotalendoprothese |
| TEP | Totalendoprothese |
| TPL | Transversale Beckenlinie |

1. Zusammenfassung

Bei der primären Implantation von Hüftprothesen spielt die Pfannenneigung eine entscheidende Rolle, da diese als zentrales Element zur Reduktion der Komplikationsrate gilt. Trotz unterschiedlicher Zugänge zum Hüftgelenk zeigen radiologische Durchleuchtungen variiierende Ergebnisse hinsichtlich der Pfanneninklination. Diese Unterschiede basieren auf veränderten Winkelmessungen, die durch stereometrische Effekte (Parallaxe) in zweidimensionalen Projektionsaufnahmen entstehen.

Eine frühere wissenschaftliche Arbeit von Rueckl et al. beschreibt einen Korrekturfaktor für die intraoperative Messung der Exkavationsneigung (RI) im Vergleich zu postoperativen Röntgenbildern im Stand. In der Studie wurde ein Korrekturfaktor von 5° für den direkten anterioren Zugang (DAA) unter Verwendung eines 12Zoll-C-Bogens vom Typ GE 9900 Elite (GE Healthcare, Chicago, IL) bei intraoperativer Röntgendurchleuchtung ermittelt [5]. Die im Rahmen der Dissertation durchgeführten Tests und Untersuchungen legen wesentliche Parameter dar, die bei der primären Implantation einer Hüft-Totalendoprothese (TEP) berücksichtigt werden sollten, um die Effizienz der Totalendoprothese und das Behandlungsergebnis zu maximieren.

Die Analyse der Pfanneninklination durch postoperative Bilddiagnostik zeigt durchschnittlich einen Korrekturfaktor von plus $3,95^\circ$ ($\approx 4^\circ$). Mithilfe eines t-Tests konnte die Relevanz dieses Korrekturfaktors statistisch bestätigt werden, sodass eine Grundlage für die optimale Inklination bei der primären Hüft-TEP geschaffen wurde. Der etablierte signifikante Korrekturfaktor von $3,95^\circ$ verdeutlicht die Relevanz und Zielsetzung der wissenschaftlichen Arbeit und unterstreicht die Notwendigkeit, die intraoperative Pfannenmessung entsprechend anzupassen. Durch die radiologische Messung der Pfanneninklination bei primären Hüft-TEP-Implantationen, den korrelierenden Vergleich der Messergebnisse und deren Zusammenführung konnte ein aussagekräftiger Korrekturfaktor abgeleitet werden. Zudem kann die Inklination der Winkel weiter optimiert werden, indem eine Anpassung des Korrekturfaktors in Korrelation zum bestehenden Winkel vorgenommen wird. Bei einer steilen Winkelinklination ($\geq 43^\circ$) sollte die intraoperative Pfannenmessung um etwa 2° reduziert werden. Bei niedrigen oder flachen Winkeln ($\leq 31^\circ$) ist eine Addition von circa 2° auf den signifikanten Korrekturfaktor von $3,95^\circ$ sinnvoll. Das Studiendesign, das auf 369 anonymisierten Patientendaten basiert, unterstützt durch den ausreichend großen Stichprobenumfang die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse.

Die Anwendung des ermittelten Korrekturfaktors trägt dazu bei, Implantat-Impingement, Prothesenverschleiß und verstärkten Abrieb zu reduzieren. Dies würde ein positives Behandlungsergebnis zur Folge haben, wodurch die Lebensqualität der Patientinnen und Patienten gesteigert werden könnte. Dennoch bleibt ein gewisses Maß an Ungenauigkeit und Verzerrung

bei der Messung prothesenspezifischer Winkelinklination bestehen. Diese kann durch beobachterspezifische Messvariabilität erklärt werden, die jedoch durch den Einsatz digitaler Messmethoden weitgehend minimiert wurde.

Die vorliegende Arbeit lässt den Schluss zu, dass der direkte Vergleich der intraoperativen und postoperativen Pfanneninklination mithilfe des Korrekturfaktors eine Optimierung des operativen Managements der Pfannenorientierung ermöglicht. Dadurch können die Ergebnisse nach einer Hüft-TEP-Implantation gezielt verbessert werden. Die Anwendung des Korrekturfaktors während der Totalendoprothesen-Implantation trägt unmittelbar zu Vorteilen für die Patientinnen und Patienten bei, wie dem Erhalt des Bewegungsumfangs (Range of Motion, ROM), einer Schmerzreduktion und einem verringerten Luxationsrisiko.

Ein Korrekturfaktor, wie dieser in der Vorstudie von Rueckl et al. beschrieben wurde, konnte erfolgreich reproduziert werden, wodurch die Bedeutung eines intraoperativen Korrekturfaktors für die optimale Positionierung der Pfanne nachgewiesen wurde. Im Vergleich zu der genannten Vorstudie, in der der Korrekturfaktor für den direkten anterioren Zugang ermittelt wurde, zeigte sich in den eigenen Untersuchungen, dass dieser Korrekturfaktor ebenfalls für den lateralen Zugang zur Hüfte und unabhängig vom verwendeten C-Bogen-Modell Gültigkeit besitzt.

2. Einleitung

2.1. Einführung in die Hüftendoprothetik

Bereits seit vielen Jahren stellt die Hüftendoprothetik eine bewährte operative Behandlungsmöglichkeit dar, die Schmerzen lindert, das Bewegungsausmaß der Patientinnen und Patienten verbessert und insbesondere deren Lebensqualität steigert. Die Implantation einer Endoprothese zählt zu den erfolgreichsten Therapieverfahren in der orthopädischen Chirurgie. Insbesondere die Hüft-TEP gehört zu den häufigsten operativen Eingriffen und hat sich zu einem Routineverfahren entwickelt [68].

Im Jahr 2017 wurden in Deutschland rund „309 Implantationen künstlicher Hüftgelenke je 100.000 Einwohner durchgeführt“ [16]. Damit liegt Deutschland weltweit an erster Stelle bei der Anzahl dieser Eingriffe. Auf Platz zwei und drei folgen die Schweiz mit etwa 307 und Österreich mit 286 Hüftimplantationen pro 100.000 Einwohner. „Der Durchschnitt aller OECD-Länder belief sich im selben Jahr auf 182 Operationen je 100.000 Einwohner“ [6]. Im Jahr 2019 wurden in deutschen Kliniken circa 243.477 Hüftgelenkimplantationen vorgenommen [7]. Laut dem Endoprothesenregister Deutschland (EPRD) entfielen davon 157.681 auf primäre Hüft-TEP-Implantationen [17]. Im Zuge der COVID-19-Pandemie im Jahr 2020 war ein Rückgang der endoprothetischen Eingriffe, insbesondere der Primärversorgungen, zu verzeichnen. In der Folge sank auch die Zahl der im EPRD dokumentierten Implantationen. Bis 2022 erreichten die Fallzahlen jedoch erneut das Niveau der Vorpandemie-Zeit. Das EPRD verzeichnete sogar einen Anstieg von 9 % im Vergleich zu 2019. Insgesamt wurden im Jahr 2022 in 751 teilnehmenden deutschen Kliniken 347.702 Endoprothesen-Implantationen im Bereich der Hüfte und des Knies dokumentiert [18, 23]. Der Anteil relevanter Voroperationen bei Hüfterstimplantationen betrug 2022 3,1 %. Laut den im EPRD registrierten Daten wurden im selben Jahr etwa 177.826 Erstimplantationen im Hüftgelenk durchgeführt, von denen 88 % Hüft-Totalendoprothesen waren. Der Anteil der Männer an den Erstimplantationen lag bei 40 %, während der Wert bei den Frauen mit 60 % höher ausfiel. Mit einem Anteil von 77,2 % blieben zementfreie Hüft-TEP-Implantationen auf dem Niveau der vergangenen Jahre und stellen weiterhin den Standard dar. Im Jahr 2022 wurde zudem eine leichte Zunahme von Hybrid-Hüft-Totalendoprothesen festgestellt [18]. Auch die Anzahl der Implantationen von Kurzschaftprothesen stieg kontinuierlich auf 13,3 % an [18, 33]. Bei Hüft-Teilendoprothesen wurden im Jahr 2022 zu 89 % zementierte Schäfte implantiert [18]. Es ist davon auszugehen, dass die Zahl der Patientinnen und Patienten mit Koxarthrose weiter ansteigen wird, da durch den demographischen Wandel und den medizinischen Fortschritt der Anteil älterer Menschen in der Bevölkerung zunimmt [105]. Koxarthrose, Hüftgelenkdysplasie (CDH), Oberschenkelhalsfrakturen mit degenerativen Knochen- und Knorpelschädigungen sowie Hüftgelenksverschleiß gelten als Indikationen für die Implantation einer Endoprothese [105].

Das Körpergewicht und die körperliche Aktivität nehmen unmittelbar Einfluss auf die Belastung des Hüftgelenks. Dabei wirken „Druckbelastung durch das Körpergewicht und muskuläre Zugbelastung“ in Kombination [22]. Das Hüftgelenk erfährt infolgedessen eine 2,5bis 3-fache Belastung des Eigengewichts. Neben dem muskulären Kraftgrad sind die Kraftverteilung und die Stellung der knöchernen Hüftstrukturen zueinander von entscheidender Bedeutung [21, 22].

Bei der Implantation einer Hüftprothese spielt die Positionierung der Pfanne eine zentrale Rolle. Im Allgemeinen orientiert sich die Pfannenneigung an der Trajektorie der beiden Tränenfiguren. Die knöcherne Pfanne im Becken gibt dabei einen Neigungswinkel von etwa 35 bis 40° vor [5]. Regelrechte Artikulationsverhältnisse im Hüftgelenk ermöglichen eine Reduktion von Osteolysen, die andernfalls Dislokationen begünstigen könnten, was in vielen Fällen eine Revision erforderlich macht. Eine Fehlpositionierung der Pfanne bei einer Hüft-TEP-Implantation ist mit einem erhöhten Risiko [2] für Luxationen verbunden. Weitere Komplikationen bei übermäßiger oder unzureichender Inklination der Pfanne umfassen frühzeitigen Prothesenverschleiß, der durch vermehrten Abrieb entsteht, sowie Implantat-Impingement. Diese Probleme führen zu einem reduzierten Bewegungsausmaß [1, 66, 70].

Die korrekte Positionierung der Pfanne beeinflusst somit sowohl das kurz- als auch das langfristige Ergebnis nach einer Hüft-Totalendoprothesen-Implantation (TEP-Implantation). Eine optimale Passform von Hüftpfanne und Hüftkopf trägt entscheidend zu einer langfristigen Stabilität der Prothese bei [69]. Der Bewegungsumfang (Range of Motion, ROM) nach einer Hüft-Totalendoprothese hängt nicht nur von der korrekten Neigung und Anteversion der Pfanne ab, sondern auch von der Einspannung der Pfanne, der Antetorsion des Schaftes und dem Centrum-CollumDiaphysen-Winkel (CCD) [70].

Für den Gelenkersatz können unterschiedliche Implantate sowohl für die Knochenverankerung als auch für die Gleitpaarung verwendet werden [10]. Die durchschnittliche Standzeit einer Prothese beträgt 15 – 20 Jahre [18]. Die Standzeit einer Endoprothese gilt als zentrales Qualitätskriterium des EPRD und wird als die Zeitspanne definiert, in der eine Endoprothese ohne Revisionseingriff im menschlichen Körper verbleibt [18].

Individuelle Faktoren wie Geschlecht, Alter der Patientin oder des Patienten, Vorerkrankungen und der Body-Mass-Index (BMI) haben einen erheblichen Einfluss auf die Standzeit einer Endoprothese [18, 33]. Ein fortlaufender Entwicklungsprozess in der Implantationstechnik und bei Prothesenmaterialien wird künftig zu einer weiteren Optimierung der Operationsergebnisse nach Hüft-TEP-Implantation und zu einer längeren Haltbarkeit der Prothesen führen [10].

Das Einsetzen einer Hüft-Totalendoprothese sollte mit einer deutlichen Verbesserung der Lebensqualität der Patientinnen und Patienten einhergehen. Die Indikation für eine Hüft-TEP-Implantation ist gemäß Leitlinien dann zu stellen, wenn trotz vorangegangener konservativer Therapie weiterhin subjektive Schmerzsymptomatik besteht, auffällige Befunde in der klinischen Untersuchungsdiagnostik nachweisbar sind und arthrotische Verschleißerscheinungen

in der radiologischen Bildgebung vorliegen (AWMF-Leitlinie 2008, 2021) [5, 84, 105].

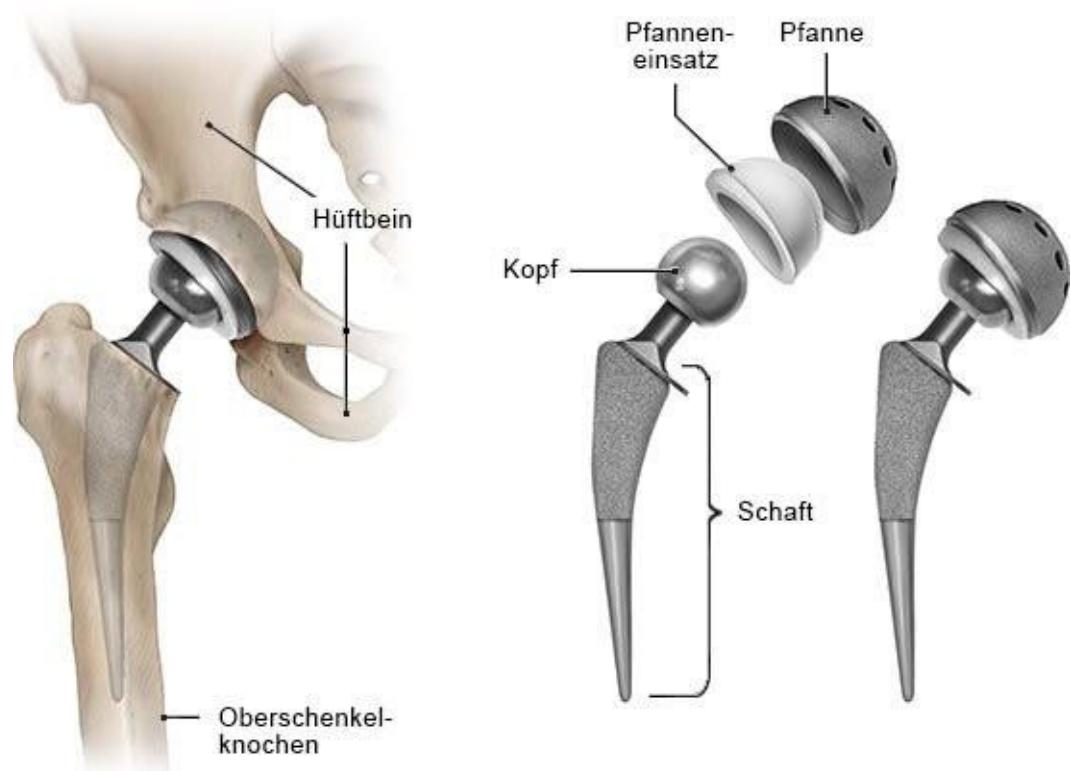


Abbildung 1: Komponenten des künstlichen Gelenkersatzes [124]

Variablen: Prothesensitz nach operativer Implantation (links) und Einzelkomponenten (rechts)

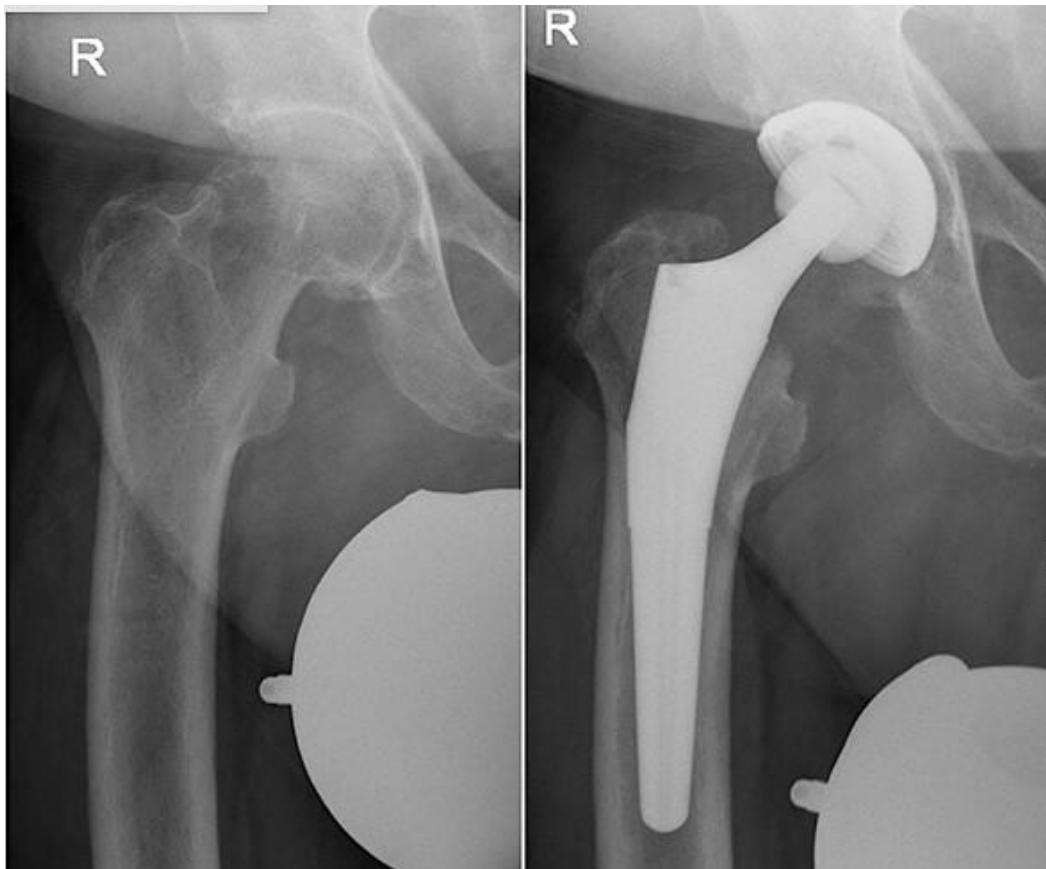


Abbildung 2: Implantation einer primären Hüftendoprothese bei Koxarthrose [123]

2.1.1. Fehlprojektionen in der Röntgenbildmorphologie bei Hüft-TEP-Implantation

Der Fokus bei der Implantation einer primären Hüft-TEP liegt darauf, intraoperative Beckenbewegungen sowie Beckenrotationen so weit wie möglich zu eliminieren. Aus diesem Grund ist eine sorgfältige präoperative Planung unerlässlich. Sowohl die Adduktion des Beckens als auch die Beckeninnenrotation beeinflussen die radiologische Inklination (RI) erheblich und sind maßgeblich für hohe Ausreißer bei den RI-Werten verantwortlich. Da operationsbedingte Beckenbewegungen jedoch unvermeidbar sind, wird eine intraoperative Kontrolle und Überwachung angestrebt. Als visuelle Orientierungshilfe kann die präoperative Anpassung der Pfannenpositionierung an transversalen Beckenlinien (TPLs) genutzt werden. Dies trägt dazu bei, radiologische Ausreißer zu minimieren und Ungenauigkeiten zu reduzieren. Für die Röntgenneigung bei einer Hüft-TEP-Implantation ist die horizontale Ausrichtung der Becken-Sagittalebene von entscheidender Bedeutung [32, 77].

Die Beckeninklination lässt sich durch die anterior pelvic plane (APP) beschreiben. Als charakteristische Merkmale der Becken-Eingangsebene und als knöcherne Orientierungspunkte sind die Symphysenmitte bzw. die Tubercula pubica sowie beidseits die Spinae iliacae anteriores superiores zu nennen. In Neutral-Null-Stellung verläuft die APP parallel zur Coronarebene [10, 72, 73, 7].

Trotz fortschrittlicher Methoden bleibt die konstante Genauigkeit bei der Platzierung der Hüftpfanne ein herausfordernder Schritt während des operativen Eingriffs. Zur Beurteilung der postoperativen Pfanneninklination werden Parameter wie die Version, die Ausrichtung der Becken-Sagittalebene während der Pfannenimplantation und die operative Inklination (AOI) herangezogen. Die operative Winkelinklination lässt sich definieren als der Winkel zwischen der Sagittalebene und der Acetabulumachse. Bei Annahme eines fixen Werts für die operative Inklination (OI) zeigt sich, dass mit zunehmender Anteversion auch ein Anstieg der radiologischen Inklination einhergeht. Die radiologische Inklination nimmt somit stets höhere Werte an als die operative Inklination, mit Ausnahme einer retrovertierten Hüftpfanne. Bei korrekter Anwendung ergibt sich eine operative Inklination von 45°, während die Röntgenneigungen Werte von mehr als 45° aufweisen können [32, 34].

2.2. Zielsetzung der Studie

Die präzise Platzierung der Hüftpfanne bleibt weiterhin eine bedeutende operative Herausforderung. Das Ziel der vorliegenden Studie ist, durch eine retrospektive Analyse eines neuen Datensatzes, der in einem anderen chirurgischen Zentrum erhoben wurde, einen reproduzierbaren Korrekturfaktor zu identifizieren, der bei der intraoperativen Messung der Pfanneninklination von Relevanz stehen könnte. Zudem soll untersucht werden, ob dieser Korrekturfaktor unabhängig vom verwendeten C-Bogen-Modell sowie vom chirurgischen Zugang anwendbar ist.

Die Idealwerte für Pfanneninklination und Anteversion sind weiterhin Gegenstand kontroverser Diskussionen. Bei der operativen Positionierung der Pfanne sind eine röntgenologische, anatomische und intraoperative Beurteilung des Pfanneninklinationswinkels möglich. Daher sollen potenzielle Faktoren, die eine Dislokation begünstigen oder beeinflussen könnten, berücksichtigt werden. Im Rahmen dieser Studie wird angestrebt, einen Korrekturfaktor zu identifizieren, der die Prothesenpositionierung bei primären Hüft-TEP-Implantationen optimiert. Im Fokus der Vermessung standen anatomische Strukturen wie die Tränenfigur, die Iliumgrenze und der Pfannenerker. Die Korrelation zwischen der Position des Acetabulums, dem Luxationsrisiko und der Hüftpfannenposition nach primärer Hüft-TEP-Implantation war signifikant [34].

Ein weiteres Forschungsziel gilt der Ausrichtung der Beckensagittalebene während der Implantation sowie der Anteversion der Pfanne. Stereometrische Effekte (Parallaxe) in radiologischen Projektionen können zu scheinbaren Varianzen bei der Messung der Pfannenwinkel

führen. Darüber hinaus ergeben sich durch die Wahl unterschiedlicher chirurgischer Zugangswege ebenfalls variierende Ergebnisse in der Röntgendiagnostik. Ein Vergleich zwischen intraoperativer Bildgebung und postoperativer Röntgendiagnostik soll weitere Erkenntnisse liefern. Mithilfe von zweidimensionalen Röntgen-Projektionsaufnahmen wird die Schätzung der tatsächlichen räumlichen Ausrichtung der Prothesenkomponenten ermöglicht. Gleichzeitig reduziert das digitale Vermessungsformat die beobachterspezifische Messvariabilität erheblich. Eine Studie von Rueckl et al. wies bereits auf einen Korrekturfaktor hin, der möglicherweise eine Anpassung der intraoperativen Pfannenmessung erforderlich macht. Dieser Korrekturfaktor könnte in Abhängigkeit von der Zugangsmethode oder dem verwendeten Röntgengerät variieren. Eine potenzielle Anpassung der intraoperativen Winkelinklination würde zu einer Reduktion des Streuungsmaßes sowie der intraoperativen und postoperativen Winkeldifferenz führen.

2.3. Koxarthrose

2.3.1. Pathophysiologie

Die Koxarthrose, begleitet von degenerativen Veränderungsprozessen und rheumatischen Erkrankungen des Hüftgelenks, zählt zu den häufigsten Krankheitsbildern. Diese Erkrankung führt zu einer deutlichen Einschränkung des Bewegungsumfangs und der Funktionalität. Die Koxarthrose wird als eine altersbedingte Veränderung des Knochens betrachtet und tritt ab dem 30. Lebensjahr auf [59, 105]. Deformitäten und eine irreguläre Stellung des Hüftgelenks mit potenzieller Fehlbelastung fördern die Entwicklung einer Arthrose, ebenso wie starkes Übergewicht [13].

Eine Synovitis kann ursächlich für die bewegungsabhängigen Schmerzen der Arthrose sein. Darüber hinaus können Tendopathien und Veränderungen der Kapsel-Band-Strukturen die Gelenkbeschwerden beeinflussen [59]. Die Koxarthrose ist durch den fortschreitenden Abbau des Gelenkknorpels gekennzeichnet [61]. Die Einteilung nach Kellgren-Lawrence dient als Orientierung und klassifiziert die Arthrose basierend auf dem Ausmaß der Knorpeldefekte in verschiedene Stadien. Höhere Stadien sind durch eine deutliche Gelenkspaltverschmälerung, subchondrale Sklerosierung, Geröllzysten sowie Osteophytenanbauten gekennzeichnet [4, 63].

Grad 0 definiert sich durch das Fehlen von Arthrosezeichen in der radiologischen Bildgebung. Grad 1 beschreibt eine fragliche Koxarthrose mit einer möglichen mediale Gelenkspaltverengung sowie subtilen Osteophytenanbauten am Oberschenkelkopf. Radiologische Kriterien für Grad 2 nach Kellgren-Lawrence umfassen eine leichte Arthrose mit deutlicher, nach kaudal ausbreitender Gelenkspaltverschmälerung, geringfügige Gelenkflächenunregelmäßigkeiten und Osteophytenbildung. Eine leichte subchondrale Sklerose kann ebenfalls vorliegen. Grad 3 entspricht einer mäßigen Arthrose und ist durch eine ausgeprägte Gelenkspaltverschmäle-

rung, Osteophyten, Sklerose, Gelenkflächenunregelmäßigkeiten und Zystenbildung charakterisiert. Zusätzlich können Deformitäten am Hüftkopf und an der Hüftpfanne vorhanden sein. Grad 4 beschreibt eine schwere Arthrose mit einem oblitterierten Gelenkspalt, großen Osteophytenanbauten, groben Deformitäten des Acetabulums und des Hüftkopfes sowie allen Merkmalen der Stadien 1–3 (vgl. Tab. 2) [26, 28, 38, 39, 48, 51, 116].

Häufig besteht eine deutliche Diskrepanz zwischen der Symptomatik und dem radiologischen Nachweis einer Koxarthrose [35, 48]. Die Hüftgelenksarthrose weist meist einen chronischen Verlauf auf, der eine Langzeitbehandlung erforderlich macht [11]. Die Koxarthrose gilt als unheilbar, jedoch können konservative Maßnahmen dazu beitragen, die Beschwerden zu lindern. Sollte die konservative Therapie versagen, bleibt betroffenen Patientinnen und Patienten oft nur der operative Gelenkersatz als Behandlungsoption. In den meisten Fällen liegt bei der Diagnosestellung bereits eine Vorschädigung des Hüftgelenks vor, wodurch von einer sekundären Hüftgelenksarthrose gesprochen wird [16]. In diesem Zusammenhang können posttraumatische Hüftarthrosen, Subluxationsarthrosen, Protrusionskoxarthrosen sowie Morbus Perthes als mögliche Ursachen genannt werden [16, 51]. Fehlstellungen im Hüftgelenk fördern zudem das Fortschreiten der Koxarthrose. Die Einteilung der Arthrose nach klinischem Schweregrad erfolgt in drei Stadien (vgl. Abb. 3).

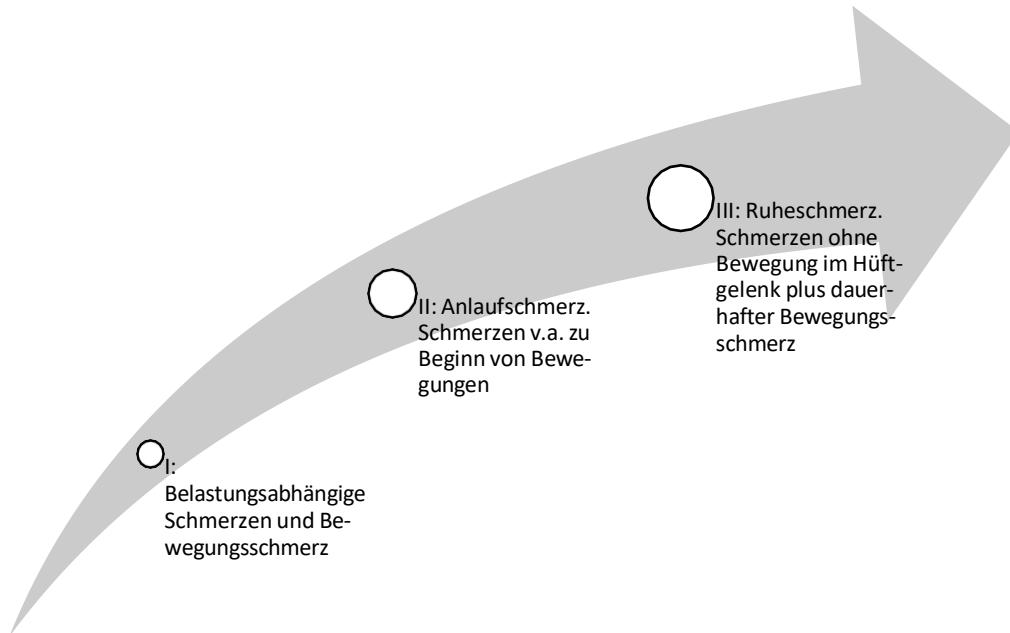


Abbildung 3: Einteilung des Schmerzcharakters bei Koxarthrose [16]

2.3.2. Inzidenz und Prävalenz der Koxarthrose

Aufgrund der zunehmend älter werdenden Gesellschaft steigt der Anteil der Arthrose kontinuierlich an [105]. Befragungen innerhalb eines Patientenkollektivs ab 65 Jahren ergaben, dass 31,2 % der Männer und 48,1 % der Frauen eine diagnostizierte Arthrose aufwiesen [105, 110]. Ein beidseitiger Hüftgelenksbefall tritt bei etwa einem Drittel der Betroffenen auf [16].

Es zeigt sich eine klare Korrelation zwischen steigendem Lebensalter und einem Anstieg der Prävalenz der Hüft-Osteoarthritis (Hüft-OA), unabhängig vom Geschlecht. In der Altersgruppe der 65 bis 74-Jährigen liegt die Häufigkeit einer mittelschweren bis schweren Koxarthrose bei etwa 2 % [48]. Übersichtsarbeiten deuten auf eine höhere Prävalenz der Koxarthrose in kaukasischen Populationen hin, die zwischen 3 % und 6 % liegt. Im Vergleich dazu beträgt die Prävalenz bei asiatischen ostindischen oder amerikanischen Bevölkerungsgruppen maximal 1 %. Diese Unterschiede lassen Rückschlüsse auf eine mögliche genetische Prädisposition zu. Daten der Centers for Disease Control and Prevention (CDC) weisen darauf hin, dass das Lebenszeitrisiko für eine symptomatische Koxarthrose bei Frauen etwa 28,6 % und bei Männern 18,5 % beträgt [26]. Die hohe Inzidenz der Koxarthrose stellt eine erhebliche wirtschaftliche Belastung für die Gesellschaft dar [28, 39, 63].

2.3.3. Ätiologie

Der Begriff der Koxarthrose als „degenerative Erkrankung der Gelenke“ ist nicht zutreffend. Das Krankheitsbild der Hüft-Osteoarthritis (OA) lässt sich vielmehr als ein Zusammenspiel von Destruktion und Reparaturprozessen definieren. Die krankheitsbedingte Degeneration zeigt sich durch einen fortschreitenden Verlust des Gelenkknorpels, begleitet von Reparaturmechanismen wie dem Wachstum von Osteophyten, Remodelling-Prozessen und einer gesteigerten Osteoblastenaktivität [26, 61]. Eine ausschließliche Betrachtung der Degeneration ist jedoch unzureichend, um den Krankheitsprozess vollständig zu erklären. Vielmehr gilt ein gehäuftes Auftreten im höheren Lebensalter als wesentliches Element.

Zu den genetischen Prädispositionen der Koxarthrose zählt die vererbte Acetabulumdysplasie. Studien weisen darauf hin, dass das Risiko, an einer Hüft-OA zu erkranken, signifikant erhöht ist, wenn ein Geschwisterkind mit Hüftdysplasie in der Familie auftritt [26]. Eine dysplastische Hüftgelenksmorphologie, die zu einer Fehlbelastung der Hüfte führt, wird als ausschlaggebender Faktor für die Entwicklung der Koxarthrose angesehen [35].

2.3.4. Klassifikation der primären und sekundären Koxarthrose

(1) Primäre Koxarthrose

Für die primäre Koxarthrose, auch als idiopathische Osteoarthritis (OA) bezeichnet, lassen sich weder anatomische Anomalien noch ein ursächlicher Degenerationsprozess feststellen. Lediglich ein hohes Lebensalter scheint einen erheblichen Einfluss auf die Entstehung der Koxarthrose zu haben. Im Gegensatz dazu ist bei der idiopathischen bzw. primären Koxarthrose kein entzündlicher Prozess maßgeblich, da Entzündungsparameter in der Regel fehlen. Diagnostisch wird die primäre Koxarthrose als Ausschlussdiagnose gesichert und macht, nach vorliegenden Annahmen, den Großteil der Hüft-OA aus [26, 48] (vgl. Tab. 1).

(2) Sekundäre Koxarthrose

Die Diagnosestellung der sekundären Koxarthrose erfolgt auf der Grundlage bekannter Ursachen. Hierzu zählen Traumafolgen, entwicklungsbedingte oder vererbte Anomalien der Gelenke, infektiöse Erkrankungen, endokrinologische Pathologien, Neuropathien und metabolische Syndrome [48, 105]. Nachweislich wies die Mehrheit der Patientinnen und Patienten mit diagnostizierter Koxarthrose bereits eine Vorschädigung des Hüftgelenks auf [16].

Erkrankungen der Hüfte, wie Morbus Perthes, Hüftgelenksdysplasie, Protusionskoxarthrose, postkoxitische Koxarthrose, posttraumatische Koxarthrose, Frakturen, idiopathische Hüftkopfnekrose sowie Epiphyseolysis capitis femoris, gelten als ursächlich für eine gestörte Biomechanik [16, 48, 10]. Diese Erkrankungen beeinflussen unmittelbar die Stoffwechselregulation und -funktion des hyalinen Knorpels. Eine sekundäre Koxarthrose manifestiert sich, wenn der Krankheitsverlauf anatomische Defekte nach sich zieht. Durch diese Anomalien kann das Hüftgelenk mit einer Prädisposition belastet sein, die degenerative Veränderungen begünstigt. Dies führt dazu, dass bereits im frühen Lebensalter progrediente Beschwerden im Hüftgelenk auftreten können [16, 26, 39, 48].

Eine Übersicht der Ursachen der sekundären Koxarthrose ist in der folgenden Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Ursachen der Koxarthrose [48]

| Form | Ursache |
|-----------------------|--|
| Primäre Form | Gewebealterung |
| Sekundäre Form | <u>Störungen der Biomechanik:</u> Epiphyseolysis capitis femoris Morbus Perthes Hüftgelenkdysplasie Gelenkfehlstellungen Gelenkfrakturen Idiopathische Hüftkopfnekrose <u>Gestörte Gelenkbiologie:</u> Infektionen Gicht Chondrokalzinose Rheumatische Erkrankungen Hämochromatose |

2.3.5. Risikofaktoren der Koxarthrose

Es ist zwischen lokalen und allgemeinen Risikofaktoren zu unterscheiden, die die Entstehung einer Koxarthrose begünstigen (vgl. Abb. 4). Durch präventive und therapeutische Maßnahmen, die dem Entstehungsprozess der Arthrose entgegenwirken, können potenzielle Risikofaktoren reduziert werden. Dies würde gleichzeitig zu einer Entlastung des Gesundheitssystems beitragen. Die Risikostratifizierung bleibt auch zukünftig ein zentraler Bestandteil der klinischen Forschung [63].

(3) Lokale Risikofaktoren

Zu den lokalen Risikofaktoren zählt die Hüftdysplasie. Dysplasien im Bereich des Acetabulums sowie Entwicklungsstörungen prädisponieren für Hüftgelenksdeformitäten und erhöhen das Risiko für eine spätere Koxarthrose. Ebenso können posttraumatische Ereignisse mit Gelenkschädigungen die Entstehung einer Koxarthrose fördern [26, 35, 39]. Traumata verursachen nicht nur direkten Schaden am lokalen Gewebe, sondern führen auch zu einer Störung der normalen Biomechanik und einer veränderten Lastverteilung im Gelenk, was das Risiko für Osteoarthritis (OA) erhöht. Dieses Risiko steigt weiter an, wenn zusätzlich andere Gelenke von Arthrose betroffen sind [28].

(4) Generelle Risikofaktoren

Zu den allgemeinen Risikofaktoren für die Koxarthrose zählen Trauma-Ereignisse, Fehl- oder Überbelastungen im Gelenk, höheres Lebensalter, Adipositas, genetische Prädisposition, Stress, ethnische Zugehörigkeit, Arthritis, endokrinologische und metabolische Erkrankungen sowie angeborene und erworbene Malformationen. Auch das weibliche Geschlecht wird als Risikofaktor genannt. Im Folgenden werden einige dieser Faktoren detailliert beschrieben [18, 26, 28, 35, 39, 105].

2.3.6. Alter

Ein hohes Lebensalter gilt als ein dominierender Risikofaktor für die Pathophysiologie der Koxarthrose. Laut der „Research on Osteoarthritis / Osteoporosis Against Disability“-Studie ist ein Alter von über 60 Jahren mit einem signifikant erhöhten Risiko für Osteoarthritis verbunden. Die Chondrokalzinose, eine typische Erscheinung der alternden Knochenmatrix, kann durch proinflammatorische Prozesse zur Arthroseentwicklung beitragen [26, 35, 63].

2.3.7. Körpergewicht

Adipositas ($BMI \geq 30 \text{ kg/m}^2$) bzw. starkes Übergewicht korrelieren aufgrund der Überlastung der Gelenke und des Knochens mit einem erhöhten Arthroserisiko [18, 26, 28, 63, 105]. Aktuelle Studien zeigen zudem eine mögliche Assoziation zwischen Koxarthrose und dem metabolischen Syndrom. Dieser Zusammenhang wird durch einen Pathomechanismus gestützt, der Entzündungsprozesse sowie metabolische Anomalien umfasst [28].

Gemäß aktuellen Leitlinien ist Adipositas mit einem erhöhten Risiko für Revisionsoperationen nach Hüft-TEP, Implantatinfektionen und einer verkürzten Prothesenstandzeit verbunden. Zudem besteht bei adipösen Patientinnen und Patienten eine höhere Evidenz für das Auftreten von Embolien und Thromboembolien. Es wurde eine signifikante Korrelation zwischen dem Outcome nach einer Hüft-TEP-Implantation (Revision/Infektion: ja/nein) und der Exposition ($BMI \geq 30 \text{ kg/m}^2$) festgestellt. Bei einem $BMI \geq 40 \text{ kg/m}^2$ sollte die Nutzen-Risiko-Abwägung einer operativen Hüft-TEP-Implantation besonders kritisch erfolgen, da die Komplikationsrate deutlich erhöht ist [105, 111].

2.3.8. Vaskuläre Gefäßerkrankungen

Vaskuläre Gefäßerkrankungen fördern die Entstehung von Stasen, Mikroembolien und venösen Gefäßverschlüssen, wodurch ein progredienter Verlauf der Koxarthrose begünstigt wird [28].

2.3.9. Geschlecht

In den letzten Jahren verweisen Studien auf eine zunehmende Prävalenz der Koxarthrose bei beiden Geschlechtern. Frauen sind jedoch häufiger betroffen [57, 79]. Während bei Personen unter 50 Jahren die Prävalenz der Koxarthrose bei Männern höher ist, tritt diese ab einem

Lebensalter von über 50 Jahren vermehrt bei Frauen auf. Diese Geschlechtsunterschiede werden durch körperliche und hormonelle Veränderungen in der Postmenopause erklärt. Östrogen scheint in Bezug auf die Entwicklung der Osteoarthritis (OA) eine präventive Wirkung zu haben [26, 28, 35, 39, 63].

2.3.10. Genetik

Eine genetische Komponente wird für die Koxarthrose angenommen. Studien zeigen, dass bei einer familiären Verwandtschaft ersten, zweiten oder dritten Grades mit einer erfolgten Hüft-TEP aufgrund von Koxarthrose das persönliche Risiko für operative Eingriffe erhöht ist [35, 44]. Zwillingsstudien weisen auf eine genetische Komponente hin, die mit einem Risiko von bis zu 60 % für Hüft-Osteoarthritis verbunden ist [35, 45].

2.3.11. Beruf

Handwerkliche oder körperlich belastende Tätigkeiten, die mit einer starken Beanspruchung der Gelenke einhergehen, sind mit der Entstehung von Arthrose assoziiert. Ein direkter Nachweis, dass körperliche Aktivität zwingend mit Hüft-OA in Verbindung steht, konnte bisher jedoch nicht erbracht werden [26, 35].

2.3.12. Nikotinkonsum

Der Konsum von Nikotin ist nachweislich mit einer erhöhten Rate an Prothesen- und Wundinfektionen assoziiert. Andere Komplikationen konnten bislang nicht evidenzbasiert nachgewiesen werden. Meta-Analysen empfehlen eine 30-tägige Abstinenz von Nikotin vor der Implantation einer Hüft-TEP. Eine solche präoperative Nikotinkarenz bewirkt nachweislich eine Risikominimierung und unterstützt die postoperative Ossifikation [105, 111].

2.3.13. Diabetes mellitus

Evidenzbasiert besteht eine Korrelation zwischen einem erhöhten HbA1c-Wert und einem erhöhten Risiko für postoperative Wund- und Implantatinfektionen. Ein spezifischer Cut-off-Wert lässt sich laut Leitlinien jedoch nicht definieren. Eine präoperative Optimierung des Blutzuckerspiegels (beispielsweise auf einen Wert von ≤ 8 %) wird empfohlen [105, 111].

2.3.14. Anämie

Um einer postoperativen Anämie nach der Implantation einer Hüft-TEP vorzubeugen, wird ein therapeutischer Ansatz mit einer kombinierten Gabe von Eisen (intravenös oder oral) und Erythropoetin empfohlen [105, 109].

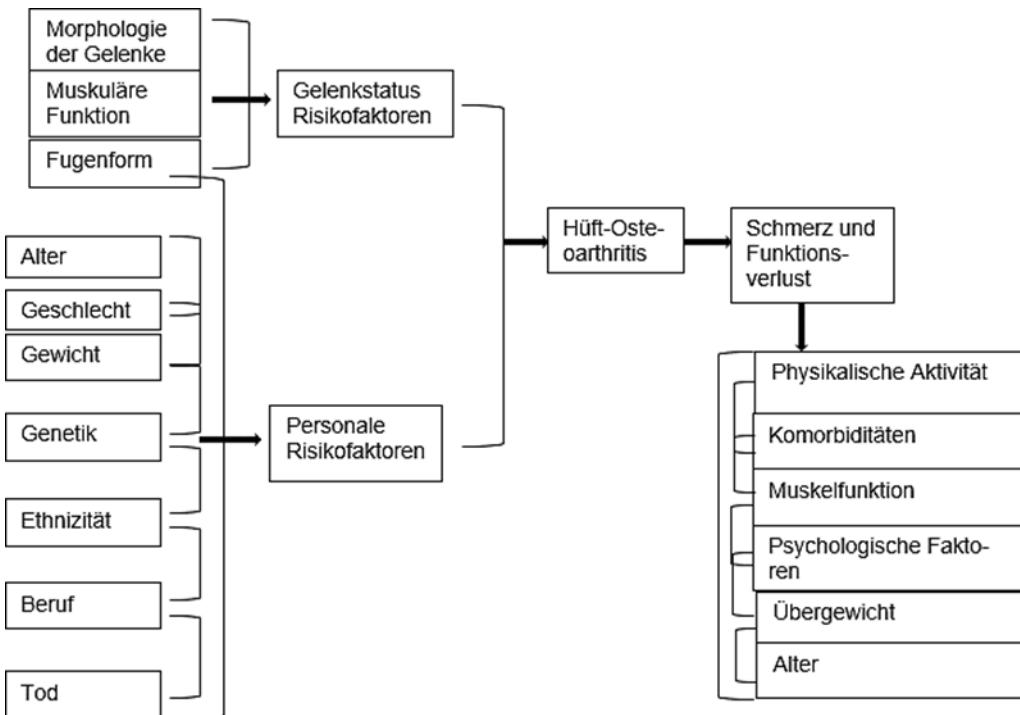


Abbildung 4: Risikofaktoren der Hüft-OA [35]

2.3.15. Symptomatik der Koxarthrose

Meistens dominiert ein in die Leistengegend ausstrahlender Hüftschmerz das Krankheitsbild der Hüftarthrose. Häufig verläuft die Erkrankung progradient, wobei anfangs eine leichte Symptomatik auffällt, die sich im Laufe der Zeit zunehmend verschlimmert. Gelegentlich kann auch ein plötzlich einsetzender Schmerz auftreten. Typischerweise zeigt sich zu Beginn ein belastungsabhängiger oder Anlaufschmerz, während im Endstadium überwiegend Ruheschmerzen vorherrschen [16, 58]. Eine kurzzeitig anhaltende Morgensteifigkeit gilt als klassisches Merkmal der fortgeschrittenen Koxarthrose [27, 40, 51, 105].

Der Schmerz bei ausgeprägter Koxarthrose projiziert sich häufig auf die Leistengegend. Zur Schmerzlinderung wird oft eine Schonhaltung eingenommen [16]. Diese Schonhaltung, kombiniert mit fehlerhaften Haltungsanomalien, Fehlregulationen der beteiligten Muskeln oder Muskelatrophie, kann den Bewegungsumfang zunehmend einschränken [16, 61, 62]. Der Schmerz kann von der Leistengegend oder dem Oberschenkel bis in das Gesäß oder Knie ausstrahlen [26]. Charakteristisch für die Koxarthrose sind Hüftschmerzen mit einer eingeschränkten Innenrotation von weniger als 14°, einer Abduktion von weniger als 15° sowie einer Flexionskontraktur von 10 – 20° [40, 51].

Bei fortgeschrittener Koxarthrose zeigt die Neutral-Null-Methode häufig eine Außendrehkontraktur. Eine Verbesserung der Symptomatik wird durch Bewegung und muskuläre Lockerung erreicht. Mit zunehmendem Fortschreiten der Erkrankung treten Schmerzen jedoch auch vermehrt in der Nacht oder in Ruhephasen auf. Krepititionen, verursacht durch Versteifung oder Blockaden des Gelenks, beeinträchtigen die Beweglichkeit des Hüftgelenks und erschweren

das Gehen. Oft resultiert daraus ein hinkendes Gangbild. Krepitationen entstehen durch freie Knorpelstücke, die einen reibungslosen Bewegungsablauf der Hüfte verhindern [26, 40, 51]. Die Koxarthrose geht mit erheblichen sozioökonomischen, physischen und psychischen Belastungen einher. Eine deutliche Funktionsbeeinträchtigung kann die Mobilität und die Bewältigung von Alltagsaktivitäten stark einschränken. Psychische Folgen zeigen sich häufig in Form von Einsamkeit, Verzweiflung und einem verminderten Selbstwertgefühl [28, 39, 63]. Bei subjektiv hohem Leidensdruck, starken Schmerzen, radiologisch nachgewiesenen Verschleißerscheinungen und auffälligen Befunden in der klinischen Diagnostik sollte die Indikation für eine Hüft-TEP-Implantation in Erwägung gezogen werden [7, 105].

2.3.16. Diagnose und radiologische Klassifikation

Die Diagnose der Koxarthrose wird anhand eines Vollbildes gestellt, das sich aus der klinischen Präsentation, in Form subjektiv wahrgenommener Schmerzen, den Ergebnissen der klinischen Untersuchungsdiagnostik und dem Nachweis von Verschleißerscheinungen in der Bildgebung zusammensetzt. Die Bildgebung ist dabei unverzichtbar für die Überwachung des Erkrankungsverlaufs. Die klinische Untersuchungsdiagnostik umfasst eine gründliche Inspektion des betroffenen Hüftgelenks, eine Beurteilung des Gangbildes sowie die Identifikation von Knochen-Knorpel-Deformitäten oder Krepitationen. Im direkten Seitenvergleich sollte dabei auch die jeweilige Beinlänge bewertet werden. Auf die klinische Inspektion folgt die Palpation, die sich auf knöcherne Vorsprünge und Sehnen konzentriert [26, 51, 58].

Ein wesentliches Merkmal der Koxarthrose ist die Entwicklung von Versteifungen in der Adduktions- und Beugemuskulatur. Diese führt zu einer anterioren Beckenkippung und einer verstärkten Lordose der Wirbelsäule. Dabei sind Adduktion, Abduktion und Rotation stärker eingeschränkt als die Flexion und Extension des Hüftgelenks. Dies resultiert häufig in einer sogenannten „Scharniergelenkbeweglichkeit“ [48]. Eine neurovaskuläre Beurteilung der unteren Extremität sowie des Bewegungsumfangs des betroffenen Gelenks sollte im direkten Vergleich zur kontralateralen Seite erfolgen [26, 28, 51].

Die bildgebende Diagnostik erfolgt in der Regel mittels Röntgenuntersuchung. Standard ist hierbei eine Aufnahme im anterior-posterioren Strahlengang [26]. Ergänzend wird die Lauenstein-Aufnahme genutzt, bei der das Bein um 45° flektiert sowie 45° außenrotiert und abduziert wird, um eine seitliche Darstellung des proximalen Femurs zu ermöglichen [6].

Die Koxarthrose wird durch den progredienten Abbau des Gelenkknorpels charakterisiert. Zur Orientierung dient die Klassifikation nach Kellgren-Lawrence, die das Ausmaß der Knorpeldefekte in verschiedene Stadien einteilt. Dieses System wurde erstmals 1957 beschrieben und ist weiterhin ein wesentlicher Bestandteil der Diagnostik (vgl. Tab. 2 und Abb. 5–8) [4, 26].

(1) Kellgren und Lawrence Klassifikation

Die Differenzierung der Koxarthrose erfolgt in vier bis fünf Grade, basierend auf dem Ausmaß

der Osteophytenbildung, der Gelenkspaltverschmälerung, arthritischen Umbauten sowie Veränderungen der Knochenränder und letztlich grober Deformitäten [26, 28, 38, 39, 48, 51, 116].

Tabelle 2: Einteilung der Arthrose nach Kellgren und Lawrence [26, 28, 38, 39, 48, 51, 116]

| Schweregrad | Radiologische Kriterien |
|--------------------|--|
| Grad 0 | Keine Arthrosezeichen |
| Grad 1 | Fragliche Kox-OA mit möglicher Verengung medial des Gelenkspaltes sowie subtiler Osteophytenanbauten am Femurkopf. |
| Grad 2 | Leichte OA mit deutlicher, nach kaudal sich ausbreitende Gelenkspaltverengung und initialen Osteophyten. Eine leichte subchondrale Sklerose kann existent sein. |
| Grad 3 | Mäßige Hüft-OA mit deutlicher Verschmälerung des Gelenkspalts, kleinen Osteophyten, geringfügige Zystenbildung und Sklerose sowie Deformität im Bereich von Hüftkopf und der Hüftpfanne. |
| Grad 4 | Obliterierter Gelenkspalt und Einschluss der Merkmale von Grad 1 bis 3. Große Osteophytenbauten und grobe Deformitäten der Hüftpfanne und des Hüftkopfes. |



Abbildung 5: Keine Arthrose [48]

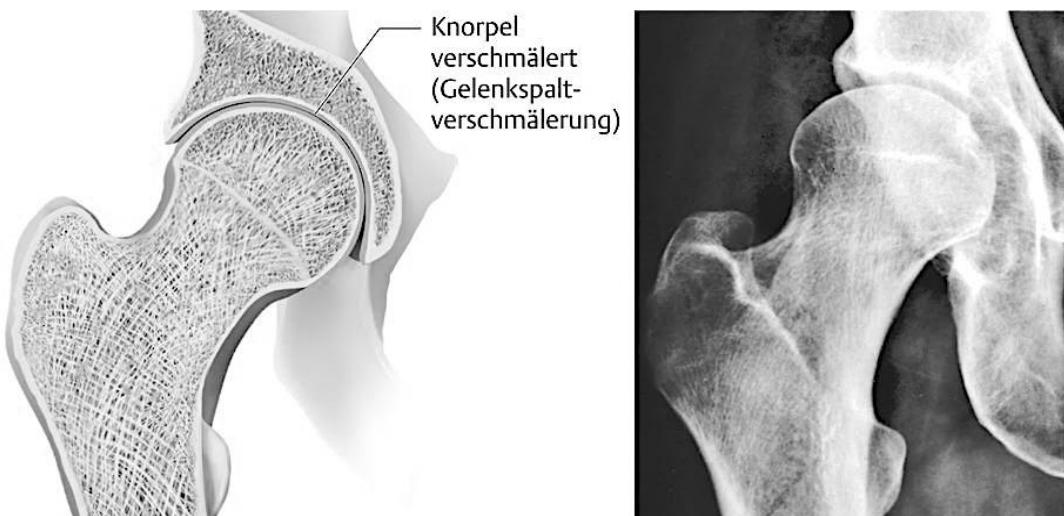


Abbildung 6: Arthrose Grad I [48]

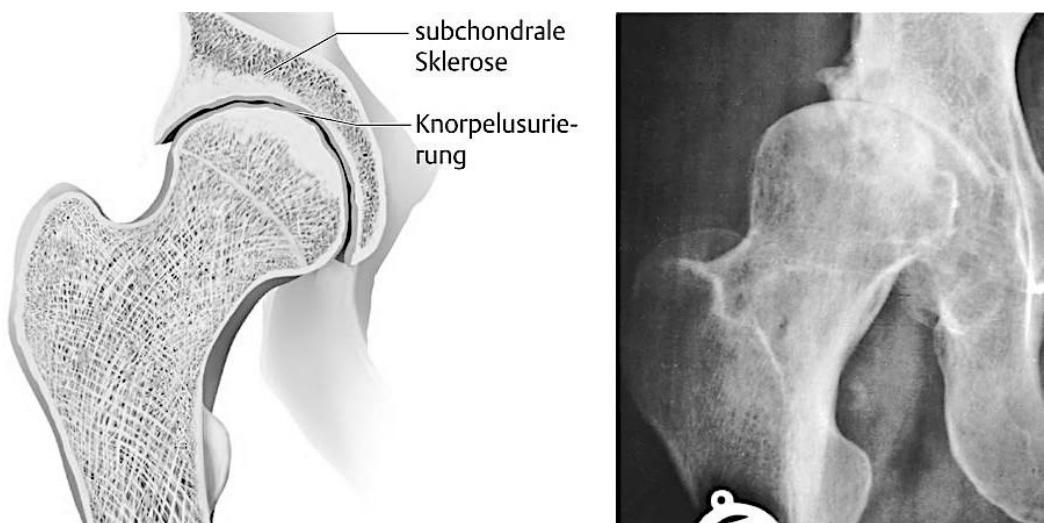


Abbildung 7: Arthrose Grad II^[48]

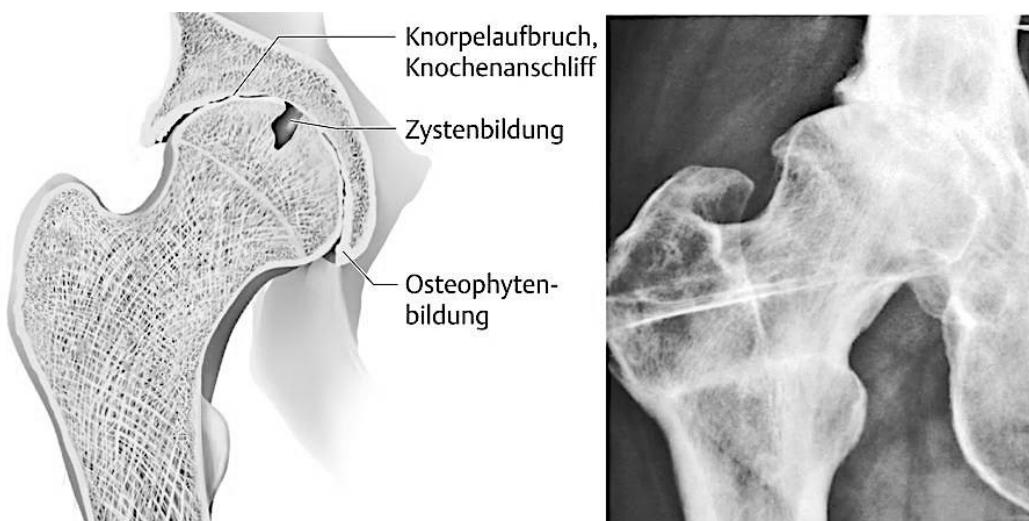


Abbildung 8: Arthrose Grad III^[48]



Abbildung 9: Arthrose Grad IV^[48]

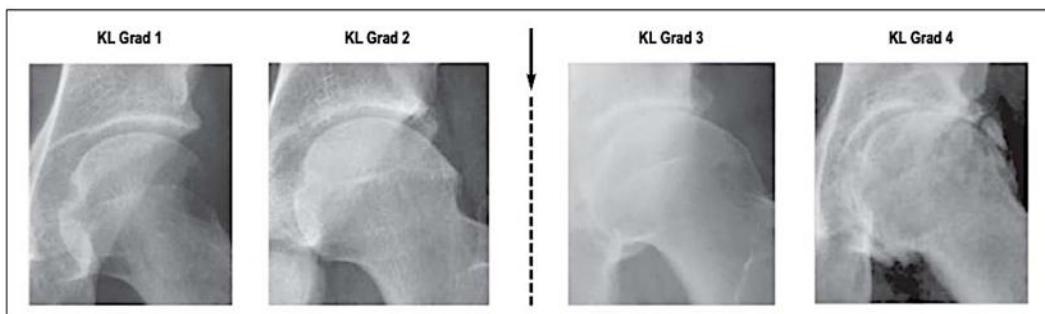


Abbildung 10: Stadien der Coxarthrose nach dem Kellgren-Lawrence-Score (KL)
[111]

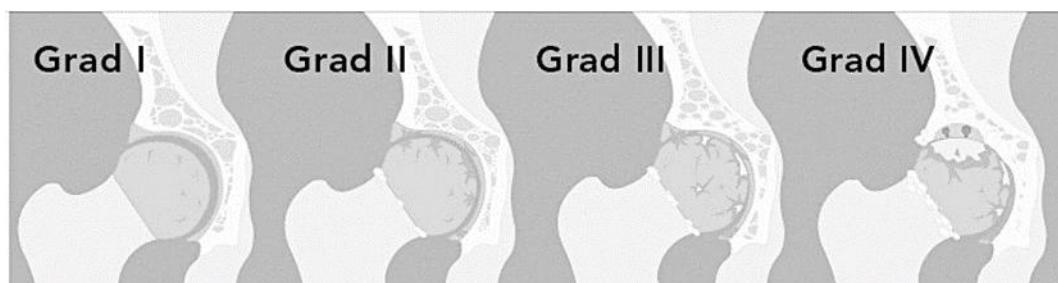


Abbildung 11: Coxarthrose-Stadien^[122]

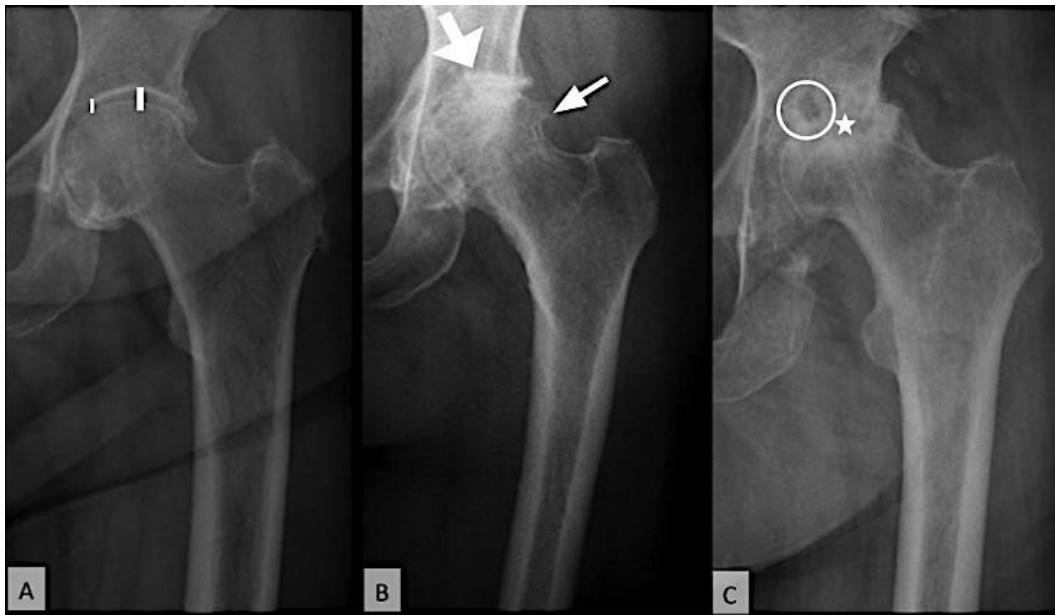


Abbildung 12: Radiologische Kriterien der Koxarthrose [26]

- A. Eine Gelenkspaltverschmälerung ist im durch weiße Linien markierten Bereich erkennbar.
- B. Eine Knochen-auf-Knochen-Arthrose wird durch einen dickeren weißen Pfeil markiert, begleitet von Osteophytenbildung (dünnerer weißer Pfeil).
- C. Eine Arthrose im Endstadium zeigt sich durch eine Deformation des Hüftkopfes (Stern) und Geröllzystenbildung (Kreis).

MRT- und CT-gesteuerte Bildgebungsverfahren können die Diagnose der Hüftarthrose unterstützen, sind jedoch nicht zwingend notwendig. Diese dienen vielmehr der Abklärung sekundärer Ursachen oder der präoperativen Planung [16, 51]. Das Blutbild kann ergänzend zur Diagnosebestätigung herangezogen werden oder dazu beitragen, andere entzündliche Pathologien wie rheumatoide Arthritis auszuschließen. Das „American College of Rheumatology“ (ACR) hat spezifische radiologische und klinische Parameter definiert, anhand derer die Diagnose einer Koxarthrose gestellt werden kann. Jedoch wird darauf hingewiesen, dass die subjektiv empfundene Schmerzsymptomatik häufig erheblich vom radiologischen Befund abweicht. Ein signifikanter Verschleiß in der Röntgenbilddiagnostik bedeutet nicht zwangsläufig, dass die klinische Präsentation des Patienten ebenso stark ausgeprägt ist. Umgekehrt können Patientinnen und Patienten trotz radiologisch nachgewiesener Hüftarthrose völlig asymptatisch sein [26, 28, 40, 48].

Ein möglicher Erklärungsansatz für die Diskrepanz zwischen Bildgebung und patientenzentrierter Schmerzsymptomatik liegt in der nozizeptiven Innervation. Einige der radiologisch dargestellten Hüftstrukturen verfügen nicht über Nozizeptoren. Zudem umfasst das Schmerzerleben weit mehr als eine reine Reaktion auf strukturelle Gelenkumbauten oder Deformitäten [28, 48]. Laut ACR gilt eine fast täglich auftretende Schmerzsymptomatik im Hüftgelenk, im Sinne eines nicht übertragbaren oder periarthrikulären Schmerz, als ein Klassifikationskriterium der Coxarthrose. Zusätzlich sollten zwei der folgenden drei Kriterien erfüllt werden. Eine Blutsenkungsgeschwindigkeit von mehr als 20 mm/h und der Nachweis von Osteophyten am Acetabulum oder Femur, sowie eine Gelenkspaltverschmälerung [39].



Abbildung 13: MR Arthrografie der rechten Hüfte (koronar). Darstellung des Labrum acetabulare und der Gelenkknorpel [6]



Abbildung 14: CT des Hüftgelenks (a Normalbefund, b posteriore Arthrose, c posteriore Arthrose) [6]

2.3.17. Therapie-Regime der Koxarthrose

(1) Nicht pharmakologisch gestützte Behandlungsmethodik

Übungen und Bewegungen zur Stärkung der Gluteal- und Hüftmuskulatur unterstützen das Hüftgelenk und verringern eine Überlastung. Auch gezielte Muskeldehnungen wirken positiv auf die Funktion des Hüftgelenks [26, 41, 60, 82]. Zur Schonung des Gelenks sollten Sportarten, die mit einer hohen Belastung oder Torsion der Hüfte verbunden sind, vermieden werden. Aktivitäten wie Joggen oder Tennisspielen sollten durch gelenkschonende Alternativen wie Radfahren, Schwimmen oder Yoga ersetzt werden. Wassergymnastik ist besonders geeignet, da diese keine belastenden Aktivitäten für das Hüftgelenk beinhaltet und gleichzeitig die Hüftfunktion verbessert [26].

Im Vordergrund sollte die Stärkung der hüftgelenksübergreifenden Muskulatur sowie die Stabilisierung und Mobilisierung von Becken-, Lenden- und Hüftregion stehen [41, 48]. Eine dänische Studie, die die Wirkung von präoperativem Krafttraining vor einer totalen Hüftgelenkersatzoperation untersuchte, zeigte, dass Krafttraining die postoperative Rehabilitation positiv beeinflusst und mit einer schnelleren Erholungsphase verbunden ist. Allerdings wurde festgestellt, dass präoperatives Muskeltraining der unteren Extremitäten, im Vergleich zur Standardbetreuung, nach einem postoperativen Zeitraum von zwölf Monaten keinen zusätzlichen Vorteil für den Funktionserhalt des Hüftgelenks, die Muskelkraft oder die Schmerzbelastung bietet [30].

Ein Review von Fransen et al. deutet auf einen signifikanten, positiven Effekt der Bewegungs- und Muskelkrafttherapie hin, insbesondere in Bezug auf eine Schmerzreduktion bei Patientinnen und Patienten mit symptomatischer Osteoarthritis. Die Basis dieser Metaanalyse war der Vergleich eines Patientenkollektivs mit intensiver Bewegungstherapie gegenüber einer Kontrollgruppe ohne gezieltes Muskelkrafttraining [84, 111]. Bewegungstherapie ist unabhängig vom radiologischen Schweregrad der Erkrankung eine wirksame Methode zur Schmerztherapie. Besonders effektiv ist diese in Kombination mit einer umfassenden Patientenschulung, bei der die Betroffenen an ein individuelles Trainingsprogramm herangeführt werden (vgl. Tab. 3, Abb. 11) [55, 60, 62, 82, 84].

In den frühen Stadien der Koxarthrose hat sich die physikalische Therapie als wirksam und muskelstärkend etabliert. Bewegungstherapie kombiniert leicht zugängliche und sichere Maßnahmen, wie beispielsweise Gehen oder „Walking“ [62, 82]. Zusätzlich fördert eine Gewichtsreduktion bei Übergewicht die Entlastung des Hüftgelenks und wirkt dem Prozess des degenerativen Knorpelabbaus entgegen [26, 55, 82, 111].

Zur Schmerzlinderung können therapeutische Maßnahmen mit Wärme- oder Kälteanwendungen eingesetzt werden. Wärmeanwendungen reduzieren Gelenksteifigkeit, fördern die Durchblutung und bewirken eine Muskelrelaxation. Im Gegensatz dazu reduziert die Kältetherapie die Durchblutung, wirkt jedoch abschwellend und lindert akute Schmerzen. Bei Patientinnen und Patienten mit Hüft-Osteoarthritis sollte auf geeignetes Schuhwerk, Bandagen, Einlagen

sowie bedarfsgerechte Gelenkstützen geachtet werden. Diese Maßnahmen verbessern die Biomechanik des Hüftgelenks und tragen zur Reduktion von Instabilitäten bei. Die genannten konservativen Behandlungsmethoden sind als ergänzende oder vorbereitende Maßnahmen für den endgültigen operativen Gelenkersatz bei ausgeprägter und symptomatischer Koxarthrose zu betrachten [26, 55, 62, 82]. Um die Compliance in Bezug auf das Therapieregime bei Koxarthrose sowie nach einer Hüftprothesen-Implantation zu fördern, sollten die Betroffenen geschult und in ihrem Selbstmanagement gestärkt werden [41, 48, 55, 62, 111].

Tabelle 3: Übungsempfehlungen für Koxarthrose [55]

| | Empfehlung |
|---|--|
| 1 | Angebot eines überwachten, progressiven Widerstands-, Aerobicoder Leistungstrainings. Angepasst an die Eigenschaften des Patienten. |
| 2 | Wenn der Patient nicht fähig ist, Übungen an Land durchzuführen, sollten Bewegungsübungen im Wasser eine Möglichkeit darstellen, v.a. in der Anfangsphase des Programms. |
| 3 | Nach der Eingewöhnungsphase sollten drei wöchentliche Sitzungen in Betracht gezogen werden, um die Wirkung zu verstärken (besonders in der Eingewöhnungsphase). |
| 4 | Damit die Compliance und Langzeitwirkung verbessert werden, sollten Patientenschulungen angeboten werden. |
| 5 | Ggf. sind Folgesitzungen nach Beendigung des Programms nötig, um die Wirkung und Compliance langfristig zu verbessern. |
| 6 | Eventuell sind Orthesen/ Gehstützen und manuelle Behandlungen als Zusatzbehandlung bedeutsam, wenn die Intervention keine Wirkung zeigt. |

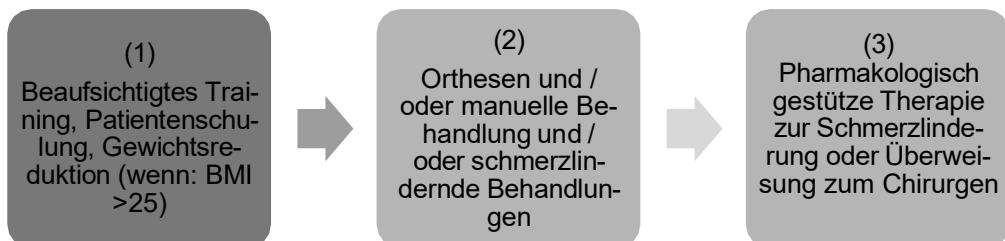


Abbildung 15: Empfohlener Behandlungsansatz bei Arthrose [55]

Variablen:

- (1): Erstlinientherapie
- (2): ergänzende Behandlung
- (3): Weitere Maßnahmen

(1) Pharmakologisch gestützte Behandlung der Koxarthrose

Laut der S3-Leitlinie gelten Paracetamol und nichtsteroidale Entzündungshemmer (NSAIDs) als Mittel der ersten Wahl zur Schmerzreduktion bei der pharmakologischen Behandlung der Koxarthrose [58, 59]. Neben ihrer analgetischen Wirkung ist insbesondere die antiphlogistische Komponente der nichtsteroidalen Antirheumatika (NSAR) hervorzuheben [82, 105]. Der Einsatz topischer NSAR und Paracetamol sollte vor der Anwendung von Cyclooxygenase-2-Hemmern, oralen NSAIDs oder Opioiden bevorzugt werden. Falls Paracetamol keine ausreichende Schmerzlinderung bietet, können NSAIDs eine verstärkte Wirksamkeit entfalten. Etoricoxib und Diclofenac gelten als die effektivsten NSAIDs zur Schmerzreduktion bei Koxarthrose und weisen eine mittlere bis starke Wirksamkeit auf. Aufgrund ihres Nebenwirkungsprofils sollte der Einsatz von NSAR jedoch zeitlich begrenzt erfolgen. Zudem empfiehlt sich eine bedarfsgerechte Medikation, insbesondere während einer akuten Schmerzphase und zur Ausheilung eines entzündlichen Prozesses [16, 82, 105]. Bei der Langzeitanwendung von NSAR und Coxiben ist auf mögliche Komplikationen hinzuweisen, darunter ein erhöhtes Blutungsrisiko, kardiovaskuläre Ereignisse sowie gastrointestinale, hepatische und renale Nebenwirkungen [16, 26, 35, 59, 105].

Opioid-Analgetika sollten aufgrund ihres erhöhten Suchtpotenzials, der Toleranzentwicklung sowie ihres Nebenwirkungsprofils nur mit großer Vorsicht und zurückhaltend eingesetzt werden [26]. Zur zentralen Schmerzhemmung können jedoch NSRIs (Noradrenalin- und Serotonin-Wiederaufnahmehemmer) bei der symptomatischen Behandlung der Osteoarthritis (OA) beitragen [35, 105]. Bei der Verordnung von Medikamenten sollten Nutzen und Risiken individuell abgewogen und an die spezifische Situation der Patientin oder des Patienten angepasst werden. Auch intraartikuläre Injektionen können zur Schmerzlinderung bei OA wirksam sein. Hierbei kommen Hyaluronsäure, Kortikosteroide und plättchenreiches Plasma zum Einsatz [16, 26, 105]. Diese Injektionen sind als ergänzende Maßnahme zu anderen nicht-chirurgischen Behandlungsmethoden zu betrachten. Allerdings ist die bisherige Datenlage zur Wirksamkeit dieser Verfahren begrenzt [105].

Neuere Erkenntnisse weisen darauf hin, dass bei einer kombinierten oder wiederholten Anwendung intraartikulärer Steroid-Hüftinjektionen vor einer Hüft-TEP-Implantation Vorsicht geboten ist. Mehrfache Injektionen korrelieren mit einem signifikant erhöhten Risiko für prothetische Gelenkinfektionen im Vergleich zu einer einmaligen präoperativen Injektion [26, 35, 59, 82]. Studien zeigen zudem ein erhöhtes Infektionsrisiko, wenn der empfohlene zeitliche Abstand

von mindestens drei Monaten zwischen einer intraartikulären Injektion und der Hüft-TEP-Implantation nicht eingehalten wird. Bislang gibt es keine Evidenz, die eine präventive Antibiotikagabe zur Reduzierung des Infektionsrisikos bei der Implantation einer Hüft-Totalendoprothese rechtfertigt [105].

(2) Chirurgische Hüft-Arthroskopie

Die Hüft-Arthroskopie gilt als ein minimal-invasives Operationsverfahren, das vor allem in frühen und symptomarmen Stadien der Koxarthrose angewandt werden kann [112, 114]. Zunächst fand die Hüft-Arthroskopie nur begrenzte Beachtung, etablierte sich jedoch seit 2003 zunehmend im Zusammenhang mit dem femoroacetabulären Impingement. Im Rahmen der minimal-invasiven Methode wurden verschiedene Zugangsportale entwickelt, die kontinuierlich modifiziert und erweitert werden. Zu diesen gehören das anteriore, posterolaterale, proximale anterolaterale und distale anterolaterale Portal. Im Vergleich dazu sind die arthroskopischen Zugangsmethoden an Schulter- und Kniegelenken international weitgehend standardisiert [42].

Die Häufigkeit arthroskopischer Eingriffe hat in den vergangenen Jahren zugenommen, was auch einen allgemeinen Anstieg der durchgeführten Hüft-Arthroskopien einschließt [42, 112, 114].

Ein Problemfeld bildet die Diskrepanz zwischen persistierenden Beschwerden im Hüftgelenk trotz ausgeschöpfter konservativer Therapie und einem geringen Arthrosegrad. Die Hüft-Arthroskopie sollte insbesondere bei mäßigen Arthrosegraden Anwendung finden, da ohne dieses Verfahren eine therapeutische Lücke zwischen konservativer und operativer Versorgung entstehen könnte [114]. Diese führt in der Regel zu einer kurzfristigen Linderung der Beschwerden und Verschleißerscheinungen [112, 114], zeigt jedoch bei fortgeschrittenen Stadien der Koxarthrose (Grad 3/4 nach Kellgren-Lawrence) eine hohe Konversionsrate zur Hüft-TEP und ein negatives Ergebnis [114]. Daher stellen fortgeschrittenen Koxarthrosen sowie relevante acetabuläre Hüft-Retroversionen Kontraindikationen für die Hüft-Arthroskopie dar [42].

In einigen Fällen kann die Arthroskopie als diagnostisches Verfahren genutzt werden, um das Ausmaß der Gelenkdestruktion vor einer offenen chirurgischen Versorgung zu bestimmen. Zudem kann die Hüft-Arthroskopie eine Grundlage für die Entscheidungsfindung zwischen konservativen und operativen Therapieansätzen bieten. Während eines arthroskopischen Eingriffs können freie Gelenkkörper, Knorpel- und Knochendefekte, Labrumrisse oder ein femoroacetabuläres Impingement minimal-invasiv therapiert werden [42, 112, 113, 114].

Im Vergleich zur Arthroskopie anderer Gelenke, wie der Schulter oder des Knie, gilt die Hüft-Arthroskopie als technisch anspruchsvoller und erfordert meist einen erfahrenen Operateur. Dies liegt vor allem an der schwierigen Anlage der Zugangsportale zum tief gelegenen und schwer zugänglichen Hüftgelenk [42, 114]. Arthroskopische Eingriffe ermöglichen jedoch häufig gute Kurzzeitergebnisse, eine schnelle Rückkehr zu sportlichen Aktivitäten und eine frühe Verbesserung der Hüftgelenksfunktion [115].

Neben offen-chirurgischen Operationsverfahren und konservativen Therapieansätzen hat sich

die Hüft-Arthroskopie als fester Bestandteil im Therapieregime bei pathologischen Veränderungen des Hüftgelenks etabliert [42, 114].

(3) Gelenkerhaltende Eingriffe

Jüngere Patientinnen und Patienten mit mechanisch ungünstiger Hüftgelenkskonfiguration profitieren häufig von gelenkerhaltenden operativen Eingriffen. Die Indikation für einen Gelenkerhalt besteht, wenn durch die Operation die gestörte Hüftgelenkmechanik langfristig verbessert werden kann. Dabei wird insbesondere auf eine optimierte Gelenkkongruenz abgezielt, wie diese bei der Beckenosteotomie und den intertrochantären Osteotomieverfahren angestrebt wird. Im Vordergrund stehen varisierende und valgisierende Umstellungsosteotomien [118]. Auch Osteotomien in Extensions- und Flexionsstellung sind möglich.

Ein etabliertes Verfahren ist die Triple-Osteotomie nach Tönnis, bei der das Os pubis, Os ischiadicum und Os ileum durchtrennt werden, um das Acetabulum zu drehen. Weitere standardisierte Techniken umfassen die Osteotomie nach Salter sowie die periacetabuläre Osteotomie [16, 48, 51]. Umstellungsosteotomien haben das Ziel, die Gelenkkongruenz und Lastübertragung zu verbessern, Schmerzen zu reduzieren, den Gelenkdruck zu verringern und die Durchblutung zu steigern. Zudem können diese die Beweglichkeit im Hüftgelenk durch intertrochantäre Osteotomieverfahren verbessern. Zu den Indikationskriterien für eine intertrochantäre Valgisisierungsoder Varisierungsosteotomie gehören Fehlstellungen des Femurhalses, beispielsweise durch Wachstumsstörungen oder Traumata, sowie symptomatische Valgusoder Varusfehlstellungen im proximalen Schenkelhals bei konzentrischer Koxarthrose. Weitere Indikationen umfassen geringgradig ausgeprägte, mechanisch bedingte Koxarthrosen, insbesondere bei jüngeren Personen unter 50 Jahren, sowie Pseudarthrosen des Femurhalses und ein femoroacetabuläres Impingement. Bei symptomatischer Hüftdysplasie oder Coxa valga antetorta kann eine intertrochantäre Umstellungsosteotomie angeboten werden. Kontraindikationen für Osteotomieverfahren am proximalen Femur bestehen bei zu fortgeschrittener Koxarthrose mit erheblichen Bewegungseinschränkungen sowie bei Infektionen. Im Rahmen varisierender Osteotomien sollten Patientinnen und Patienten über mögliche Risiken wie eine Beinlängenverkürzung, zeitweilige Insuffizienz der Abduktorengruppe und ein positives Trendelenburg-Zeichen aufgeklärt werden. Weitere potenzielle Risiken umfassen Beinlängendifferenzen, Frakturen im Bereich des Trochanter oder des Femurschafts sowie Pseudarthrosen. Zusätzlich sind allgemeine Risikofaktoren wie Bewegungseinschränkungen, Embolien, Thrombosen, Infektionen, Gefäß- oder Nervenschäden und Blutungen zu berücksichtigen [118]. Durch gelenkerhaltende Eingriffe können die Risiken eines endoprothetischen Gelenkersatzes vermieden werden. Gleichzeitig bleibt die Möglichkeit eines endoprothetischen Ersatzes bestehen, falls dieser zukünftig erforderlich sein sollte [16, 48, 51, 115]. Um potenzielle Fehlerquellen bei der Umstellungsosteotomie, wie Rotationsfehler, falsch angelegte Osteotomien oder fehlerhafte Plattenlagen, zu vermeiden, ist eine präzise präoperative Planung unerlässlich [115, 118].

(4) Regime des totalen Hüftgelenkersatzes (Hüft-TEP)

Bei der Implantation einer Hüft-TEP werden in der Regel der Femurkopf und das Acetabulum ersetzt [51]. Die Indikation für eine Hüft-TEP besteht bei Patientinnen und Patienten mit ausgeprägter Schmerzsymptomatik, Nachweis einer fortgeschrittenen Koxarthrose, erheblicher Funktionseinschränkung im Hüftgelenk sowie dem Versagen sämtlicher konservativer Behandlungsansätze [27, 82]. Der endoprothetische Gelenkersatz wird bevorzugt bei älteren Patientengruppen durchgeführt [48].

Weltweit werden jährlich etwa eine Million Hüft-TEP-Operationen bei Patientinnen und Patienten mit progredienter Osteoarthritis (OA) durchgeführt. Studien zeigen eine hohe Haltbarkeit moderner Hüftprothesen, mit einer Funktionsfähigkeit von 95 % nach einer Standzeit von 10 Jahren. Bei körperlich aktiven, normalgewichtigen Personen mit gutem Allgemeinzustand sind etwa 80 % der Prothesen auch nach 25 Jahren noch funktionstüchtig. Bei Versagen konservativer Therapien sollte eine zeitnahe chirurgische Intervention empfohlen werden, da Studien ein schlechterer klinischer Outcome nach verzögerter Hüft-TEP-Implantation belegen. Eine unbehandelte Koxarthrose kann durch starke Schmerzen und Funktionseinschränkungen umliegende Gewebestrukturen schädigen und die Biomechanik benachbarter Gelenke beeinträchtigen [26]. Aufgrund des Erfolgs von Totalendoprothesen besteht heutzutage keine Indikation für Gelenk-Arthrodesen mehr [48].

Nach einem totalen Gelenkersatz ist eine krankengymnastische Rehabilitation unverzichtbar und sollte unmittelbar postoperativ beginnen. Rehabilitationsprogramme umfassen Gang- und Transfertraining, therapeutische Übungen sowie Anleitungen für Aktivitäten des täglichen Lebens. Ambulante physiotherapeutische Behandlungen können sowohl in klinischen Einrichtungen als auch im häuslichen Umfeld durchgeführt werden. Das Ziel der Physiotherapie nach einer Hüft-TEP-Implantation ist es, die Gelenkfunktionalität und Selbstständigkeit der Patientinnen und Patienten zu maximieren sowie postoperative Komplikationen wie Venenthrombosen, Infektionen, Lungenembolien und Hüftluxationen zu minimieren [64].

Im Rahmen des Therapieregimes des endoprothetischen Gelenkersatzes ist eine partizipative Entscheidungsfindung zwischen Ärztin oder Arzt und Patientin oder Patient essenziell. Gemeinsam sollten individuelle Ziele und Wünsche in Bezug auf den Endoprothesenersatz evaluiert werden. Zudem ist eine patientenzentrierte Aufklärung über potenzielle Risikofaktoren und das postoperative Behandlungsergebnis unerlässlich [92, 111].

Die Therapie der Koxarthrose basiert auf einem multidisziplinären Ansatz. Angesichts des aktuellen Wissensstandes ist eine einzig wirksame Heilbehandlung oder eine vollständige Remission bei fortgeschrittener Hüft-OA unrealistisch. Jedoch ist anzunehmen, dass durch ein besseres Verständnis der Pathogenese der Koxarthrose sowie die Berücksichtigung korrespondierender Risikofaktoren künftig effektive Behandlungsmaßnahmen bereits in frühen Stadien der OA möglich werden könnten, mit einem Fokus auf krankheitsmodifizierende Ansätze [35,

63].

Eine Übersicht der Therapieoptionen zur Behandlung der Koxarthrose ist anhand der Abbildungen 11 und 12 dargestellt [26, 35, 48].

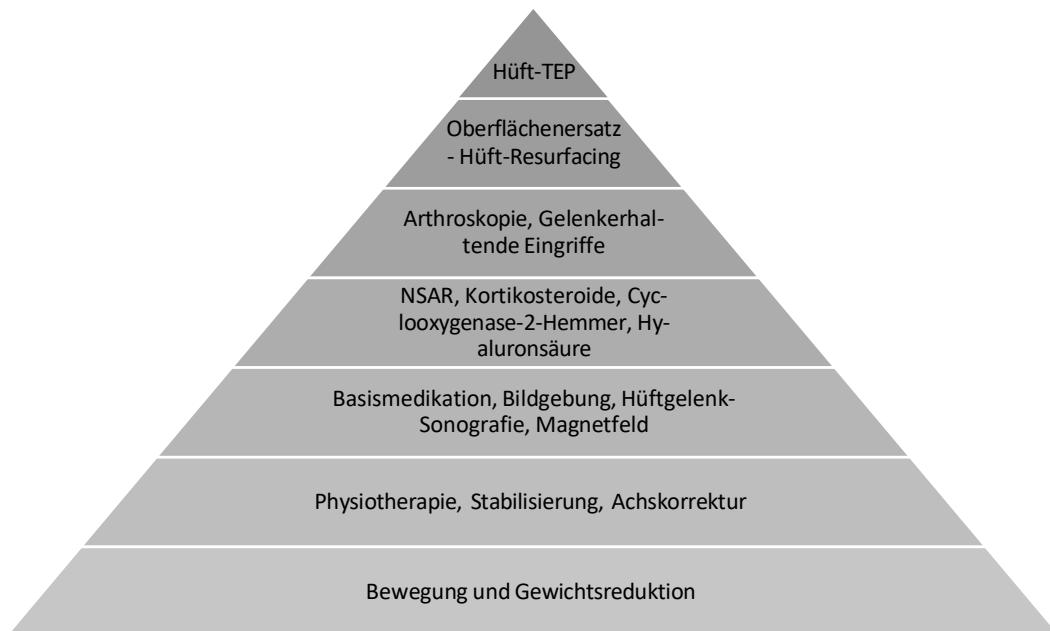


Abbildung 16: Therapieregime in Abhängigkeit vom Schweregrad der Koxarthrose [26, 35, 48]

2.3.18. Indikation zur Hüft-TEP-Implantation bei Koxarthrose

Zu den Indikationskriterien für den totalen Hüftgelenkersatz zählt ein höhergradiger Strukturschaden des Hüftgelenks, entsprechend Grad III nach der Klassifikation von Kellgren/Lawrence. Ebenso stellt eine Hüftkopfnekrose im Stadium ARCO III c eine Indikation dar. Eine weitere Indikation ergibt sich beim Versagen eines konservativen Therapieregimes, das aus einer Kombination pharmakologischer und nicht-pharmakologischer Behandlungsansätze besteht. Für diesen Ansatz ist ein Zeitraum von mindestens drei Monaten vorgesehen. Die Bestandteile der konservativen Therapie, wie Nikotinkarenz, Gewichtsreduktion, Patientenaufklärung und Bewegungstherapie, sollten dabei vollständig ausgeschöpft sein. Ein zusätzlicher Faktor für die Indikation ist ein ausgeprägter subjektiver Leidensdruck, der trotz Anwendung eines konservativen Therapieregimes bestehen bleibt. Dieser persönliche Leidensdruck kann sich auf klinische Beschwerden wie Schmerzen und Bewegungseinschränkungen des Hüftgelenks oder auf eine erhebliche Einschränkung der Lebensqualität beziehen. Zu den Kontraindikationen für die Implantation einer Hüft-TEP bei Koxarthrose zählen aktive Infektionen der Weichteile oder Gelenke sowie hämatogene Streuungen. Auch akute oder chronische Begleiterkrankungen, die mit einem erhöhten Sterberisiko einhergehen, stellen Kontraindikationen dar. Bei Patientinnen und Patienten mit Adipositas und einem BMI $\geq 40 \text{ kg/m}^2$ wird die Prothesenimplantation ebenfalls als kontraindiziert angesehen. Zu den modifizierbaren Risikofaktoren zählen Aspekte wie ein Nikotinabusus. In diesem Zusammenhang wird eine Nikotinkarenz von

mindestens vier Wochen vor dem operativen Eingriff sowie bis zur vollständigen Wundheilung empfohlen. Bei Diabetes mellitus sollte ein HbA1c-Wert von unter 8 % angestrebt werden. Bei einem BMI $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ sollte eine Gewichtsreduktion in Betracht gezogen werden. Zudem ist bei nachgewiesener Anämie eine hämatologische Optimierung vor dem Eingriff erforderlich. Nach intraartikulären Injektionen von Kortikosteroiden sollte die Hüft-TEP-Implantation erst nach einer Latenzzeit von mindestens sechs Wochen erfolgen. Falls bei Patientinnen oder Patienten psychische Erkrankungen bekannt sind, wird eine fachspezifische Abklärung oder ein psychologisches Konsil empfohlen.

Im Kontext einer Hüft-TEP-Implantation bei symptomatischer Koxarthrose sollte zwischen der Ärztin oder dem Arzt und der Patientin oder dem Patienten eine partizipative Entscheidungsfindung angestrebt werden. Vor dem operativen Eingriff sollten die wichtigsten Ziele und Wünsche, die durch die Hüft-TEP-Implantation erreicht werden sollen, dokumentiert werden [105, 111].

(Vgl. Anhangsverzeichnis: Abbildung: Checkliste: Indikation zur Hüft-TEP bei Koxarthrose [105, 111]).

2.4. Hüftendoprothetik

2.4.1. Ziel des Gelenkersatzes

Die Zielsetzung des Hüftgelenkersatzes umfasst nicht nur die Wiederherstellung der Funktionalität und Biomechanik im Hüftgelenk, sondern fokussiert primär die Schmerzreduktion bis hin zur Schmerzfreiheit [59, 104]. Die durch Koxarthrose bedingte Schmerzsymptomatik beeinträchtigt Alltagsaktivitäten, vegetative Körperfunktionen und soziale Kontakte erheblich, sodass der Behandlung dieser Einschränkungen besondere Bedeutung zukommt [26, 28, 35]. Die Endoprothese dient der Wiederherstellung der ursprünglichen Funktion des Hüftgelenks und muss kinetisch sowie mechanisch präzise angepasst werden. Durch die Steigerung der Gelenkfunktion und die Reduktion von Schmerzen verbessert sich das allgemeine Wohlbefinden der Betroffenen [28, 39].

Zur Optimierung des Behandlungsergebnisses werden die Beckeninklination, die Rotation und der Antetorsionswinkel korrigiert. Es gilt, anatomische Diskrepanzen in der Gliedmaßenlänge (LLLD) sowie Abweichungen des Hüft- und Femurversatzes zu vermeiden, ohne dabei die Stabilität des Gelenkersatzes zu beeinträchtigen. Der Erfolg der Hüftprothesenimplantation korreliert direkt mit der sorgfältigen Beachtung der intra- und extramedullären Anatomie der knöchernen Strukturen, insbesondere im Hinblick auf die Erhaltung oder Wiederherstellung der Extremitätenlänge [104].

2.4.2. Parameter der Endoprothetik bei einer Hüft-TEP

Arthrose ist die häufigste Indikation für den Einsatz einer Hüft-Totalendoprothese [85]. Bei der Implantation einer Endoprothese müssen Faktoren wie der Knochenzustand, das Alter der Patientinnen und Patienten sowie bestehende Erkrankungen des Hüftgelenks berücksichtigt werden, um ein optimales Ergebnis zu erzielen [13]. Im Rahmen des endoprothetischen Ersatzes können die Hüftpfanne mit anschließender Beckenimplantation, der Hüftschaft und der Kugelkopf ersetzt werden. Der Hüftschaft mit aufgesetztem Kugelkopf wird dabei in den Femur eingebbracht [16]. Sowohl bei akuten als auch bei chronischen Beschwerden ermöglicht die Hüft-Totalendoprothese eine Linderung der Schmerzen und eine Verbesserung der Funktionalität des Hüftgelenks [29, 69, 81].

Durch Fortschritte im Gesundheitssystem und die zunehmende Lebenserwartung steigen insbesondere bei älteren Bevölkerungsgruppen die Erwartungen an die körperliche Aktivität und Fitness. Dies führt zu hohen Anforderungen an die Ergebnisse einer Hüft-TEP [81]. Das primäre Ziel der Hüft-Totalendoprothese ist die möglichst vollständige Wiederherstellung der Funktionalität des Hüftgelenks. Bereits ab dem ersten postoperativen Tag kann in den meisten Fällen eine Mobilisation unter Vollbelastung erfolgen. Zudem ermöglicht eine funktional angepasste Hüft-TEP die Reintegration in den Alltag und das Ausüben leichter Sportarten. Auf Aktivitäten, die mit plötzlichen Spitzenbelastungen des Hüftgelenks einhergehen, wie etwa Tennisspielen, sollte jedoch verzichtet werden. Der langfristige Outcome einer Hüft-TEP zeigt eine hohe Erfolgsquote: Nach zehn Jahren beträgt die Funktionsfähigkeit 95 %, nach fünfzehn Jahren liegt diese bei 90 % [51].

2.4.3. Implantatmaterialien und Prothesenformen

Endoprothesen lassen sich anhand ihrer Gelenkauflageflächen unterscheiden. Zu den gebräuchlichen Kombinationen zählen Keramik-auf-Keramik- oder zweiteilige Metallverbindungen, die als „hart-auf-hart“-Bindungen bezeichnet werden. Diese bestehen beispielsweise aus einem Keramikkopf und einer Keramikpfanne oder einem Metallkopf und einer Metallpfanne. Aktuelle Daten des EPRD zeigen einen deutlichen Trend zur vermehrten Verwendung von Keramikköpfen bei Hüft-TEP-Implantationen, während der Anteil der Metallköpfe mit 6,6 % weiter zurückgeht [18].

Zu den „hart-auf-weich“-Verbindungen gehören Kombinationen wie Metall- oder Keramikköpfe auf Polyethylenpfannen [85, 86, 87]. Keramik, Titan, Legierungen und Kunststoffe sind die Hauptbestandteile der standardmäßig verwendeten Endoprothesensysteme [16, 29]. Titan wird aufgrund seiner vorteilhaften Biokompatibilität und mechanischen Eigenschaften bevorzugt. Titanprothesen können zementfrei oder mit Zement fixiert werden, wobei die Stabilität durch das Einwachsen des Knochens gewährleistet wird. Faktoren wie die Reduzierung inflammatori-

scher und fibrotischer Gewebereaktionen sowie die Stimulierung der Osteoblastenaktivität tragen positiv zur Haltbarkeit und Standzeit der Hüftprothesen bei. Zusätzlich unterstützen bioaktive Oberflächenbeschichtungen, wie Silicotitan oder Hydroxylapatit, die Bildung und Differenzierung der Knochenmatrix sowie die Zelladhäsion. Eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Prothesenoberflächenfunktionalität ist der Einsatz von Stammzellen oder Osteoblastenzellen [29].

Bei den Prothesenformen wird unter anderem zwischen Geradschaftprothesen und Kurzschaftprothesen unterschieden [16, 18]. Durch die verkürzte Schaftlänge von Kurzschaftprothesen kann das Weichteilgewebe geschont und die Knochensubstanz langfristig geschützt werden. Zudem wirkt sich diese Form positiv auf die Implantatstabilität aus, da die auf den Knochen einwirkenden Kräfte überwiegend im apikalen Bereich oder am Femurhals wirken [16, 101]. Im Gegensatz dazu verlagert sich bei Geradschaftprothesen die Hauptkraftwirkung unterhalb des Oberschenkelhalses, was durch Inaktivität zu einem deutlichen Knochenverlust im Bereich des Trochanters und des Femurhalses führen kann [16].

Für eine optimale Passgenauigkeit der Prothese ist es erforderlich, vor der Implantation den Abstand des Drehzentrums zur Schaftachse sowie den CCD-Winkel durch entsprechende Messungen zu bestimmen [16].

In Bezug auf die Prothesenköpfe zeigt sich ein Trend zu größeren Durchmessern. Im Jahr 2022 lag der Anteil von Prothesenköpfen mit einem Durchmesser von 36 mm bei 47,1 %, während der Anteil kleinerer Köpfe (XS/S) bei 41 % lag [18, 33].

2.4.4. Gleitpaarung bei Hüftendoprothesen

Die Gleitpaarung beschreibt die Interaktion der künstlichen Komponenten im Hüftgelenk. Standardmäßig werden verschiedene Typen von Gleitpaarungen eingesetzt, darunter Hart-Hart-Gleitpaarungen wie Keramik/Metall-, Keramik/Keramik- oder Metall/Metall-Verbindungen. Ebenso etabliert sind Hart-auf-Weich-Gleitpaarungen, bei denen ein Keramikkopf mit einer Pfanne aus vernetztem Polyethylen kombiniert wird. Diese Kombination stellt den aktuellen Standard dar. Alternativ ist auch eine Metall-Polyethylen-Gleitpaarung möglich [16, 18, 33, 36, 50, 101].

Laut Daten des EPRD ist ein konstanter Rückgang keramischer Inserts auf 7,5 % zu verzeichnen. Mehr als 80 % der Hüft-TEP-Implantationen verwenden Inlays aus vernetztem Polyethylen, was einem Anstieg von 28 Prozentpunkten seit 2014 entspricht [18, 33].

Alle Formen der Gleitpaarung haben spezifische Vor- und Nachteile sowie unterschiedliche Verschleißeigenschaften. Idealerweise sollte eine Gleitpaarung bei Hüftendoprothesen einen möglichst geringen Abrieb aufweisen, um die Freisetzung von Implantatpartikeln in das umliegende Gewebe zu minimieren [16, 36, 101]. Der Verkettungsgrad der Polymere beeinflusst dabei die Bruchfestigkeit, den Abrieb und die Resistenz gegenüber oxidativen Schädigungen. Durch

Bestrahlung mit Gammastrahlen kann die Anzahl vernetzter Polymere erhöht werden. Ein höherer Vernetzungsgrad korreliert mit einem geringeren Abrieb der Prothese. Obwohl Polyethylen gute Abriebeigenschaften aufweist, kann die Freisetzung von Materialpartikeln Osteolyse hervorrufen. Ein weiterer Nachteil dieser Gleitpaarung ist der potenzielle Verschleiß des Polyethylens [15, 36, 67, 68, 101]. Im Gegensatz dazu bietet die Verwendung von Keramik den Vorteil einer langen Prothesenhaltbarkeit durch geringeren Abrieb sowie eine reduzierte Luxationsgefahr und hohe Biokompatibilität. Allerdings ist bei Keramik-Keramik-Verbindungen die Bruchgefahr erhöht. Ein Implantatbruch kann zur Freisetzung von Partikeln führen, die in seltenen Fällen Organschäden verursachen können [15, 51, 101].

Die Metall-Metall-Gleitpaarung zeigt ebenfalls Schwächen: Erhöhter Abrieb und Bruchgefahr können nur bei optimaler Prothesenposition und Lastverteilung minimiert werden. Diese Gleitpaarung weist eine sehr geringe Fehlertoleranz auf, und insbesondere bei Randbelastung entsteht ein erheblicher Abrieb. Im Gegensatz dazu bieten Metall-Polyethylen-Gleitpaarungen eine hohe Toleranz gegenüber Schädigungen und eine geringere Anfälligkeit für Fehlbelastungen [15, 36, 65, 67, 101].

2.4.5. Hüft-TEP Verankerung

Angesichts der Hüft-TEP-Implantation ist eine Differenzierung zwischen zementierten und unzementierten Verfahren notwendig. Die Oberflächenstruktur sowie die Beschichtung der Implantate, beispielsweise mit Hydroxylapatit oder Reintitan, spielen dabei eine essenzielle Rolle [101].

Bei der unzementierten Verankerung wird meist eine metallische Pfannenschale als Standard gewählt, während zementierte Pfannen häufig in Monoblockoder Polyethylenform vorkommen [16]. Im Rahmen des Totalendoprothesenersatzes werden die arthrotische Hüftpfanne und der Femurkopf entfernt und durch eine künstliche Pfanne sowie eine Hüftkopschaftkomponente ersetzt. Bei der zementierten Implantation dient Knochenzement als Verankerungssubstanz, während die zementfreie Totalendoprothese von einer Press-fit-Verankerung profitiert [118].

(1) Zementierte Hüft-Endoprothetik

Die Ursprünge der zementierten Hüft-Endoprothese reichen bis in das Jahr 1960 zurück, als Sir John Charnley diese Methode erstmals anwandte. Die zementierte Schaftverankerung ermöglicht es, den Prothesenstiel mithilfe von Knochenzement im Femur zu fixieren. Dabei handelt es sich um ein selbst aushärtendes Modellmasse, deren Grundsubstanz Polymethylmethacrylat (PMMA) ist [15, 51].

Die Methodik des Interface bioaktiven Knochenzements (IBBC) wurde erstmals 1982 von Dr. Hironobu Oonishi angewandt, um die Fixierung von Zement und Knochen bei TEP-Implantationen zu optimieren. Diese Technik basiert auf der Einbringung zusätzlicher osteokonduktiver Hydroxylapatit-Kristallgranulate (HA) an der Grenzfläche zwischen Knochen und Zement.

Nachbeobachtungen von IBBC-Implantaten zeigen eine verringerte Rate an Revisionseingriffen, Osteolysen und Radiolinien [83].

Die mechanische Versiegelung ist entscheidend für die Verankerung der Prothese durch Zement. Dieser fungiert als bindende Struktur zwischen der Knochengrundsubstanz und der Hüft-Endoprothese [16]. Durch seine elastischen Eigenschaften übernimmt der Zement mehrere Funktionen: Dieser wirkt als Lastübertragungsverteiler, Stoßdämpfer und entkoppelndes Element zwischen Strukturen mit unterschiedlicher Elastizität, wie Implantat und Knochen [15].

Die zementierte Technik hat sich als bewährtes Verfahren etabliert und findet vor allem bei älteren Patientengruppen (> 60 – 65 Jahre) oder bei stark vorgeschädigtem Knochen sowie reduzierter Knochendichte Anwendung [16, 118]. Ein positiver Outcome der zementierten Pfannenverankerung unter starker und permanenter Belastung, insbesondere bei jüngeren Personen, ist bisher nicht nachgewiesen. Gleches gilt für Fälle mit ausgeprägten Knochenfehlstellungen oder Revisionseingriffen [15]. Da die zementierte Technik eine sofortige postoperative Vollbelastung ohne Verzögerung durch Gewebsheilung ermöglicht, profitieren insbesondere Bestrahlungs- und Tumorpatienten sowie Personen mit Osteoporose von dieser Methodik [15, 16].

Zu den Indikationskriterien für die zementierte Totalendoprothese zählen eine ausgeprägte Coxarthrose mit Gelenkpflanzenprotrusion sowie Hüftkopfnekrosen. Auch bei kombinierter Coxarthrose und Schenkelhalsfraktur scheint die zementierte Technik indiziert zu sein. Weitere Indikationen umfassen proximale Femurmetastasen, rheumatoide Arthritis und Osteoporose. Kontraindiziert ist diese Technik bei floriden Infektionen und narkosebedingter Lebensgefahr des Patienten. Im Rahmen der zementierten Implantationstechnik ist eine umfassende Aufklärung der Patienten erforderlich, einschließlich potenzieller Risiken wie Beinlängendifferenz, periartikuläre Ossifikationen, Pseudarthrose, Bewegungseinschränkungen, Blutungen, Frakturen und Revisionseingriffen. Zu den Spätkomplikationen zählen Implantatbruch, aseptische Lockerung, Prothesenabrieb, Infektionen, thrombotisch-embolische Ereignisse sowie Verletzungen von Gefäßen und Nerven, wie dem N. ischiadicus, N. femoralis und den Vasa femoralis. Fehlerquellen, die bei der Implantation einer zementierten Hüft-TEP vermieden werden sollten, umfassen kraniale Zementmanteldefekte, überschüssigen medialen Zement und eine unzureichende Präparation des Pfannenlagers. Letzteres ist entscheidend, um eine ausreichende Druckzementierung zu gewährleisten, da postoperative Lysen das Risiko einer Luxation um das Vierzigfache erhöhen. Eine zu dünne Zementschicht oder eine überdimensionierte Prothese können frühzeitige Lockerungen bedingen. Die Präparation des Markraums in dorsolateraler Richtung ist essenziell, um eine varisierende Fehlpositionierung des Prothesenschaftes zu vermeiden. Starkes Übergewicht erhöht das Risiko von Femuroder Trochanterfrakturen, welche präventiv durch Refixationen mit Drahtcerclagen behandelt werden können. Darüber

hinaus sind ein ausreichendes Kapselrelease sowie ein Release des Femurendes und der Außenrotatoren für die Zementierung von Bedeutung. Das Nachbehandlungskonzept einer zementierten Hüftprothese umfasst Mobilisationsmaßnahmen wie physiotherapeutische Übungen, Gehtraining mit Unterarmgehstützen, isometrisches Muskeltraining sowie Gangschulung ab dem ersten postoperativen Tag. Prognostisch liegt die Standzeit einer zementierten Hüft-TEP nach 10 bis 15 Jahren bei etwa 90 bis 95 % und reduziert sich nach 20 bis 30 Jahren auf 85 bis 95 % [118].

Laut den Daten des EPRD weisen zementierte Schaftprothesen eine geringere Ausfallwahrscheinlichkeit auf. Ein Grund hierfür ist der bessere Outcome zementierter Endoprothesen bei älteren Bevölkerungsgruppen [18].



Abbildung 17: Röntgenbilddaufnahme mit zementierter Hüft-TEP [118]

(2) Zementfreie Hüft-Endoprothetik

Implantiert werden zementfreie Endoprothesenstile mit mikro- oder makroporöser Oberflächenbeschaffenheit, die ein Einwachsen der Knochensubstanz ermöglichen. Dabei lagert sich Knochen an das Implantatmaterial an. Ein dynamisches Knochengewebe ist für die zementfreie Verankerungsmethode entscheidend. Bevorzugt wird die zementfreie Schaftverankerung bei jüngeren Patientengruppen (< 60 – 65 Jahre) mit guter Knochenqualität angewendet [29, 51].

^[118]. Als häufige Ursache für das frühe Versagen unzementierter Schäfte wird die maskierte, intraoperative Femurfraktur angeführt ^[98].

Bei der zementfreien Verankerung wird nach dem Einbringen der Endoprothese ein „Presso-der Formfit“ erzeugt, was eine Primärstabilität sicherstellt ^[16, 37, 51, 69]. Die Press-Fit-Methode basiert auf der präzisen Aufbereitung der Prothesenpfanne und des Prothesenschaftes. Dabei werden „sphärische Pfannen mit poröser Oberfläche in die aufgefräste Hütpfanne eingeschlagen“ ^[15, 51]. Die Rauigkeit der Materialoberflächen fördert eine sekundäre Knochenanheilung. Kobalt-Chromoder Titanlegierungen gelten als häufig verwendete Grundsubstanzen der Hüft-TEP-Implantate ^[15]. Scheitert der Ossifikationsprozess, bildet sich an der Implantat-Knochen-Grenze fibrinöses Gewebe, was die Wahrscheinlichkeit von Implantatlockerungen und Revisionen erhöht. Dies kann auf eine reduzierte Biokompatibilität der Prothesen, chirurgische Techniken, das Implantatdesign, die Oberflächenbeschaffenheit des Implantats, die Knochenqualität oder einen mangelnden Ossifikationsumsatz zurückzuführen sein ^[29].

Nicht-zementierte Prothesen sind mit einem erhöhten Frakturrisiko verbunden, da für eine stabile Fixierung im Femurmarkraum ein größerer Kraftaufwand beim Einbringen der Prothese erforderlich ist ^[87, 90]. Dennoch ermöglicht auch die zementfreie Schaftverankerung eine sofortige Belastbarkeit der neu implantierten Hüft-TEP. Für ein gutes Ergebnis des zementfreien Designs ist jedoch eine intakte Knochengrundsubstanz unabdingbar. Aus diesem Grund werden zementfreie Verankerungen bei Stoffwechselstörungen wie Hypo- oder Hyperparathyreoidismus sowie Hypovitaminosen abgelehnt ^[16, 36].

Zu den Indikationen für einen zementfreien Totalendoprothesenersatz zählen die Koxarthrose nach erfolgter Umstellungsosteotomie, Femurkopfmetastasen, Hüftkopfnekrosen und Dysplasiearthrosen. Auch bei chronischer Polyarthritis junger Patienten mit guter Knochenqualität ist die unzementierte Verankerungsmethode zu empfehlen. Weitere Indikationen umfassen frustane Osteosynthesen nach Schenkelhalsfrakturen sowie symptomatische und schmerzende Hüftluxationen. Die unzementierte Implantation ist nicht nur für jüngere Patienten, sondern auch für ältere Patientengruppen mit symptomatischer Koxarthrose geeignet, vorausgesetzt, die Knochenqualität ist gut. Als absolute Kontraindikationen gelten lebensbedrohliche Narkoserisiken und bestehende Infektionen. Eine relative Kontraindikation besteht bei ausgeprägter Osteoporose. Um eine Einklemmung des Weichteilgewebes am Interface zu vermeiden, sollte die Hütpfanne ausreichend dargestellt werden. Eine schlechte Implantatanheilung, beispielsweise durch eine unzureichende Auffrischung der Sklerose, ist prognostisch ungünstig und prädisponiert für eine Frühlockerung. Ein hinteres Luxationsrisiko besteht, wenn die Pfannenimplantation in Retroversion erfolgt. Ein Überdachungsdefizit sowie eine zu weit nach kranial und lateral eingebauchte Pfannenkomponente resultieren aus einer unzureichenden Fräsumgebung nach medial. Auch bei der zementfreien Implantation ist das Kapselrelease entschei-

dend. Eine präzise Präparation des Markraums verhindert einen möglichen Abriss des Trochanter major. Während der Instrumentierung sollten das Weichteilgewebe und umliegende Strukturen geschont werden, um Gefäße und Nerven nicht zu verletzen. Eine postoperative Beinlängendifferenz deutet häufig auf eine unzureichende präoperative Planung hin [118].

Im Kontext der Hüft-Endoprothetik ist ein zielgerichtetes Nachbehandlungskonzept von entscheidender Bedeutung. Unmittelbar postoperativ sollte ein Kompressionsverband, auch als Hüft-Spica-Verband bezeichnet, angelegt werden. Die Nachbehandlung umfasst zudem Maßnahmen zur Thromboseprävention sowie eine analgetische und antiphlogistische Therapie. Mit der Mobilisation der Patientinnen und Patienten sollte bereits am ersten postoperativen Tag begonnen werden. Durch die Zementierung der Endoprothese ist eine sofortige Vollbelastung der operierten Extremität möglich. Bei zementfreien Implantationen erfolgt die patientenzentrierte Mobilisation entweder mit Sohlenkontakt über einen Zeitraum von sechs Wochen oder mit direkter Vollbelastung. Die Beinlänge sollte im direkten Seitenvergleich und unter Vollbelastung überprüft werden. Um ein optimales Operationsergebnis zu gewährleisten, ist es wichtig, die Patientinnen und Patienten darin zu schulen, starke Innenrotationen des Beins in Flexionsstellung sowie Außenrotationen in Adduktionsstellung zu vermeiden. Zur Vermeidung von Luxationen wird empfohlen, eine sitzende Position vorzugsweise mit einem erhöhten Arthrodesekissen einzunehmen. Eine Röntgenkontrolle der operierten Hüfte ist obligatorisch, um das Operationsergebnis zu dokumentieren und mögliche Fehler zu identifizieren. Weitere radiologische und klinische Kontrolluntersuchungen sollten nach zwölf Monaten, fünf Jahren und zehn Jahren erfolgen [118].

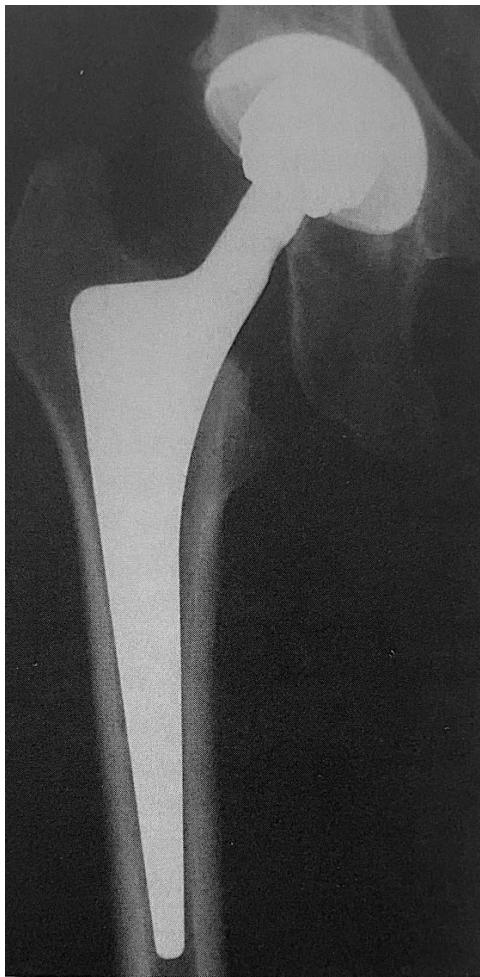


Abbildung 18: Röntgenbildaufnahme einer zementfreien Prothesenimplantation [118]

(3) Hybrid-Endoprothetik

Die Hybrid-Endoprothetik verbindet die Vorteile der zementierten und unzementierten Implantationstechniken. Die Schaftzementierung ermöglicht eine sofortige Belastbarkeit, sodass die Mobilisation der Patientinnen und Patienten postoperativ unter Vollbelastung erfolgen kann. Gleichzeitig wird die Pfannenkomponente meist unzementiert implantiert, da Osteopenie oder Störungen des Knochenstoffwechsels im Pfannenbereich häufig erst spät erkannt werden [16, 118].

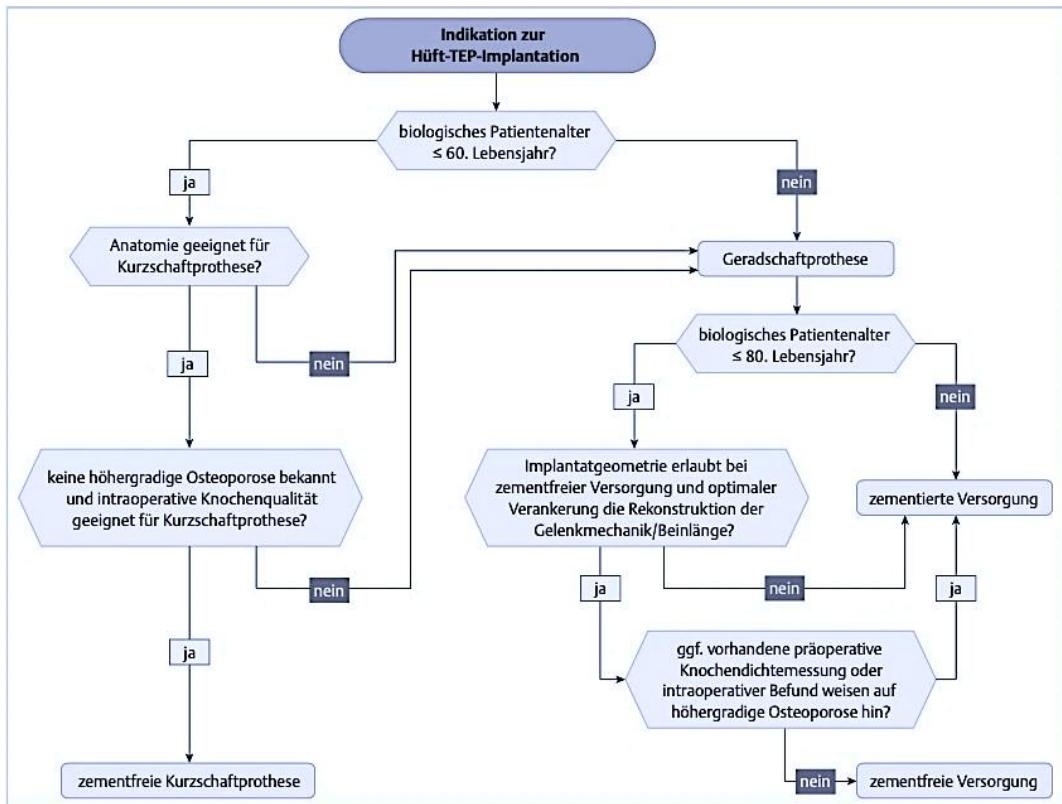


Abbildung 19: Schemadarstellung zur Wahl der Hüftpfannenverankerung bei einem Patientenkollektiv ≤ 60. Lebensjahr [6]

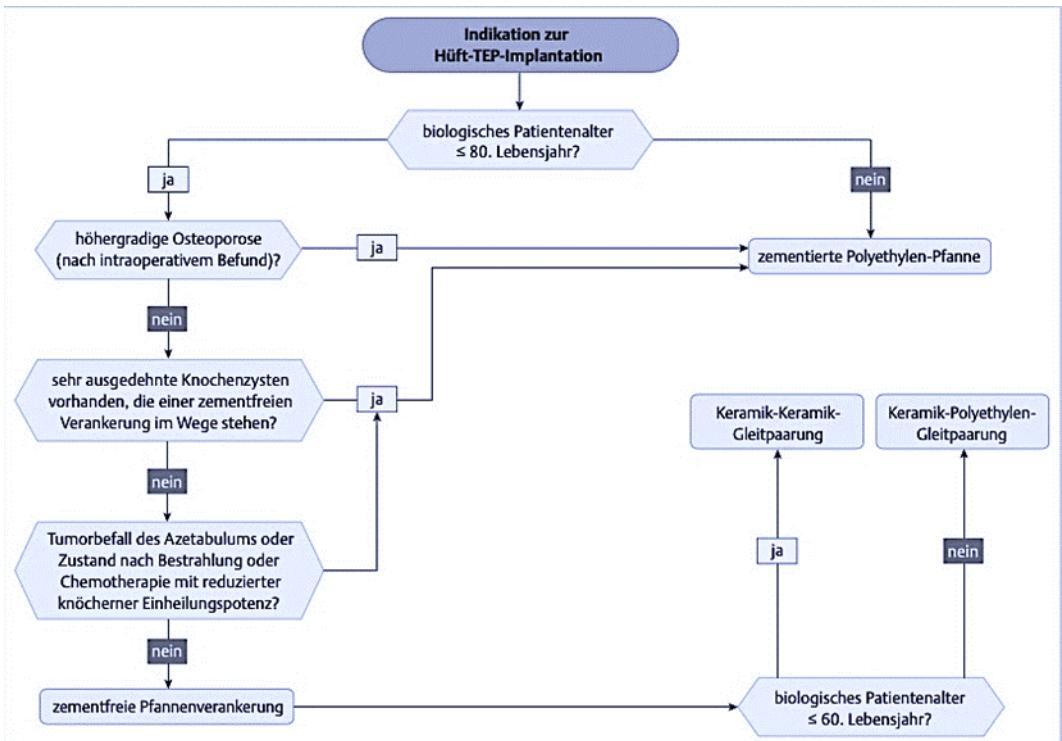


Abbildung 20: Schemadarstellung zur Wahl der Hüftpfannenverankerung bei einem Patientenkollektiv ≤ 80. Lebensjahr [6]

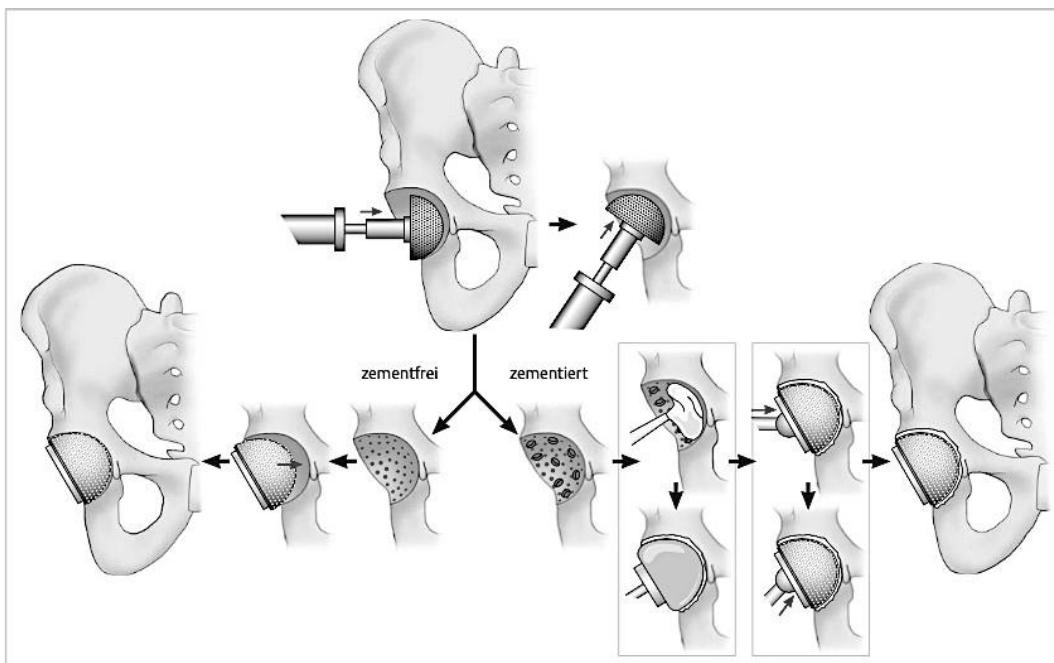


Abbildung 21: Präparation der Hüftpfanne bei Einbringung einer primären Hüft-TEP [6]

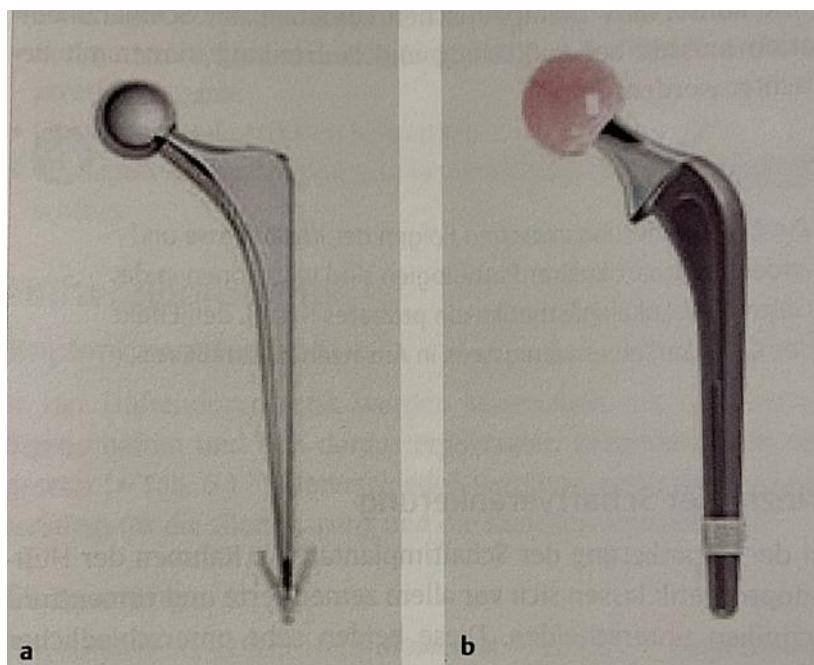


Abbildung 22: Schaftbeispiele [6]

a Konischer, polierter, zementierter Schaft (Stryker Exeter)

b Zementierter, matter Schaft (Stryker Accolade C)

2.4.6. Zeichen der Femurschaftlockerung

Die häufigste Ursache für das Versagen von Implantaten ist eine gestörte oder fehlerhafte Implantatfixierung (76 %), die als aseptische Prothesenlockerung bezeichnet wird [29, 65]. Die Diagnose basiert auf klinischen Symptomen und radiologischen Befunden. Wesentlich ist der Ausschluss einer infektiösen Genese, um eine mechanische Lockerung sicher zu diagnostizieren. Diese wird definiert als Bewegung des Implantats [86, 87]. Radiologisch zeigt sich die aseptische Lockerung durch eine mehr als 2 mm breite Grenzfläche zwischen Implantat und Knochen sowie durch Radioluzenzlinien. Bei unzementierten Femurschäften können ein fortschreitendes Absinken der Prothese, Lageveränderungen und endostale Ablösungen Hinweise auf eine Lockerung geben. Ein bedeutendes Zeichen ist das sogenannte „Sockelzeichen“, das distal am Femurschaft durch Osteogenese oder Knochenbildung entsteht [29, 86–88]. Eine neue Knochendeckplatte oder ein Sockel, der durch die distale Lastübertragung bedingt ist, kann jedoch auch bei stabilen Prothesen auftreten und weist nicht zwingend auf Prothesenbewegungen hin. Ausschlaggebend wäre das gleichzeitige Vorhandensein einer periprothetischen Luzenz [87, 88]. Bei zementierten Techniken lassen sich Prothesenlockerungen durch Komponentenmigration oder Zementbruch nachweisen [87, 89].

Schaftlockerungen erfordern häufig aufwendige und komplikationsreiche Revisionseingriffe. Um die Implantatfixierung zu optimieren, sollten Faktoren wie die Implantatauswahl, die Operationstechnik, die systemische Medikamentengabe sowie rehabilitative Maßnahmen berücksichtigt werden. Ein optimales präoperatives Patientenmanagement und die ausreichende Erfahrung der operierenden Chirurgen oder des operierenden Chirurgen sind hierbei entscheidend [29, 36].

2.4.7. Zugangsmethoden

Es stehen verschiedene Zugangswege für operative Eingriffe am Hüftgelenk zur Auswahl, die sich allesamt durch spezifische Vor- und Nachteile auszeichnen. Die Wahl des korrekten Zugangsweges bei einer primären Hüft-TEP-Implantation korreliert maßgeblich mit der Standzeit der Hüfttotalendoprothese. Dabei werden Aspekte wie die Biomechanik des Hüftgelenks, die anatomischen Gegebenheiten und die exakte Implantatpositionierung berücksichtigt. Bevorzugt werden weichteil- und muskelschonende Zugangsvarianten [14].

So ist zwischen folgenden Zugängen zu differenzieren:

- Anteriorer / ventraler Zugang nach Carl Hueter (1870), modifiziert nach Judet (1985) und Smith Petersen (1949)
- Anterolaterale Zugangsmethode nach Sayre (1884), modifiziert nach Watson Jones (1936)
- Medialer Zugang nach Ludloff (1908), modifiziert nach Thomas und Benecke (2002)
- Lateraler transtrochantärer Zugang nach Charnley (1970)

- Lateraler transglutealer Zugang nach Bauer (1979), modifiziert nach Hardinge (1982)
- Posteriorer / dorsaler Zugangsweg nach Moore (1943), modifiziert nach Langenbeck (1874), Kocher (1902), Gibson (1950)
- Posterolaterale Zugangsmethode nach Marcy und Fletcher (1954)
- Ilioinguinaler Zugang nach Letournel (1960)
- Stoppa-Zugang (1984)
- Digastrische Trochanterosteotomie nach Ganz (2001) [14, 36, 53, 117]

Zu den häufigsten Zugangswege bei Hüft-TEP-Implantationen zählen der laterale, anteriore und posteriore Zugang. Diese Zugangswege bieten technische Freiheitsgrade, die eine effektive und sichere Rekonstruktion von Hüftpfanne und Femur ermöglichen. Das Risiko für postoperative Komplikationen variiert jedoch in Abhängigkeit vom chirurgischen Ansatz [31]. Im Rahmen dieser Studienarbeit wurde die laterale transtrochantäre Zugangsmethode genutzt. Als Orientierungspunkte dienen der Trochanter major sowie der Femurschaft im Längsschnitt. Die Lagerung der Patientin oder des Patienten erfolgt in Seiten- oder Rückenlage (Dekubitus-Position). Der Hautschnitt beginnt am posterioren Teil des Trochanter majors und verläuft distal entlang des Oberschenkelschafts. Nach der Spaltung der Glutealmuskulatur und des Tractus iliotibialis wird der Knochen freigelegt. Eine Kapsulektomie kann vorgenommen werden, um das Ausrenken der Hüfte zu erleichtern. Der Hüftkopf wird durch Beugung und Außenrotation von Hüfte und Knie disloziert [14, 31]. Anschließend erfolgt die Resektion des zerstörten Hüftkopfes durch eine stufenförmige oder gerade Durchtrennung des Femurhalses. Dies ermöglicht einen direkten Zugang zum proximalen Femur und Acetabulum. Eine nach außen rotierte Positionierung mit einer Flexion von 90° ist bei der Präparation des proximalen Femurs entscheidend [14, 31]. Vor der Implantation der künstlichen Pfanne wird die Gelenkkapsel eröffnet und pathologischer Gelenkknorpel entfernt.

Nach der Markraum-Präparation wird der Schaft in zementierter oder unzementierter Form passgenau eingesetzt. Endoprothesenschaft und -kopf werden zu einem funktionierenden Kugelgelenk verbunden, und das durchtrennte Muskelgewebe wird wieder vernäht [13, 31]. Der laterale transtrochantäre Zugang bietet eine ausgezeichnete Übersicht über Pfanne und Femurschaft und reduziert durch Schonung des posterioren Weichteilgewebes die Luxationsrate [14, 31, 52].

Der mediale Zugangsweg bietet den Vorteil eines geringen Risikos für postoperative Prothesenluxationen sowie einen kosmetischen Nutzen, da der Hautschnitt in der Leistengegend verborgen ist. Nachteilig ist jedoch die eingeschränkte Erweiterungsmöglichkeit bei Revisionen oder Komplikationen. Der anteriore Zugang birgt das Risiko einer Schädigung des N. cutaneus femoris lateralis und weist ebenfalls Einschränkungen bei der Erweiterung des Zugangsportals auf. Sein Vorteil liegt jedoch im muskelschonenden Potenzial. Der anterolaterale Zugang er-

möglicht die Implantation von Geradschaftprothesen und bietet eine gute Protektion der Hüftmuskulatur, birgt jedoch ein erhöhtes Risiko für eine Schädigung des N. gluteus superior. Zudem erschwert die Seitenlage die Beurteilung der Beinlänge im Vergleich zur Rückenlage [14, 117].

Der laterale transgluteale Zugang zeichnet sich durch eine hervorragende Übersicht über die anatomischen Strukturen des Hüftgelenks aus und erleichtert die präzise Positionierung der Pfanne. Nachteilig ist das hohe Risiko einer Verletzung des N. gluteus superior. Der ilioinguinale Zugang gewährt eine ausgezeichnete Übersicht und Erweiterungsmöglichkeit, birgt jedoch das Risiko einer Schädigung des N. cutaneus femoris lateralis, des N. femoralis sowie der Blutgefäße der „Corona mortis“ und der Vasa iliaca externa. Der Stoppa-Zugang bietet einen optimalen Zugang zur quadrilateralen Fläche und zum vorderen Pfeiler, ist jedoch mit einer erhöhten Blutungsgefahr in der „Corona mortis“ assoziiert.

Die digastrische Trochanterosteotomie ermöglicht eine gute Darstellung des proximalen Oberschenkels und des Acetabulums, insbesondere bei Frakturen des Acetabulums oder einer hohen Hüftluxation. Meist wird diese Methode als Stufenosteotomie angewendet. Ein erhöhtes Verletzungsrisiko der A. circumflexa femoris medialis und die Entstehung einer Pseudarthrose stellen jedoch mögliche Komplikationen dar [14].

Sowohl der direkte laterale als auch der posteriore Zugang bieten ein Spektrum an Variationsmöglichkeiten und stellen muskelpaltende Ansätze dar. Eine Gleitschiene oder die Trochanterosteotomie können den Zugang zur hinteren Säule des Acetabulums erleichtern. Durch die Spaltung des Musculus vastus lateralis ist es möglich, den lateralnen Zugang nach distal zu erweitern und so das Portal zum proximalen Oberschenkel zu vergrößern [14, 31]. Der posteriore bzw. posterolaterale Zugang bietet eine sehr gute Übersicht des Hüftgelenks und erlaubt intraoperative Erweiterungsmöglichkeiten. Allerdings besteht dabei die Gefahr eines Dehnungsschadens des Nervus ischiadicus, der durch instrumentelle Manipulation des Hohmann-Hebels am posterioren Pfannenrand verursacht werden kann. Zudem birgt der posteriore Zugang ein erhöhtes Blutungsrisiko des Ramus profundus der Arteria circumflexa femoris medialis [14].

Der laterale transtrochantäre Zugang ist mit einer erhöhten Verletzungsrate der Arteria circumflexa femoris medialis (3 – 20 %) infolge der Trochanterosteotomie sowie mit der möglichen Ausbildung einer Pseudarthrose verbunden [14, 31]. Häufig korrelieren eine Abduktoreninsuffizienz und die direkte laterale Zugangsmethode, insbesondere im Fall eines Versagens der reparierten Tenotomie. Kennzeichnend für eine Abduktoreninsuffizienz sind ein pathologisches Gangbild, ein positives Trendelenburg-Zeichen oder Duchenne-Hinken, Abduktorenschwäche sowie peritrochantäre Schmerzen. Darüber hinaus besteht bei jeder Manipulation am Knochen das Risiko von Frakturen. Eine intraoperative Minimierung dieser Risiken kann durch eine Weichteildiagnostik vor und nach Manipulationsmanövern am Bein erreicht werden.

Weitere mögliche Komplikationen umfassen Nervenschädigungen, die durch Dissektion bedingte Traumata, Acetabulumschrauben oder Drähte, Hämatome und thermisch induzierte Verletzungen verursacht werden können. Zu den häufig betroffenen Nerven zählen der Nervus gluteus superior, der Nervus femoralis und der Nervus ischiadicus. Schädigungen des Nervus femoralis oder des Nervus gluteus superior treten häufig im Zusammenhang mit der lateralen transtrochantären Zugangsmethode auf [31, 52].

Die Wahl der chirurgischen Zugangsmethode bei der Hüft-TEP-Implantation bleibt umstritten. Jeder Ansatz birgt spezifische Vor- und Nachteile. Klinische und qualitativ verwertbare Vergleiche der unterschiedlichen Methoden sind weiterhin Gegenstand der Forschung. Somit ist die Präferenz des Operateurs oder der Operateurin bezüglich des Hüftzugangs als individuell zu betrachten und möglicherweise mit der eigenen Erfolgsrate durchgeföhrter Implantationen korreliert [14, 31].

2.4.8. Minimal-invasive Implantationstechnik

Neuartige minimal-invasive Methoden für den künstlichen Hüftgelenkersatz zielen darauf ab, das umliegende Weichteilgewebe und die Gewebestrukturen, wie die Glutealmuskulatur und den Tractus iliotibialis, zu schonen. Charakteristisch für diese Techniken ist, dass weder eine Durchtrennung noch eine Ablösung der Muskulatur erfolgt. Dadurch wird postoperativ eine schnellere Mobilisation der Patientinnen und Patienten ermöglicht, was kardiovaskulären Komplikationen oder anderen Komorbiditäten, die durch längere Immobilität entstehen könnten, vorbeugt [16, 78, 117, 118]. Durch Inzisionen von weniger als 10 cm Länge können Weichteiltraumata reduziert und gleichzeitig eine adäquate Visualisierung des Operationsbereichs gewährleistet werden [95, 117]. Diese minimal-invasiven Verfahren wirken präventiv gegen Muskelinsuffizienzen [16, 112].

Zu den minimal-invasiven Techniken zählen der anterolaterale, anteriore, posteriore und laterale Zugang, einschließlich kleiner Hautschnitte. Auch Methoden mit zwei Inzisionen unter Durchleuchtung gehören dazu [95]. Der anterolaterale minimal-invasive Zugang zeichnet sich durch Schonung der Muskulatur aus und wird durch das intramuskuläre Watson-Jones-Intervall, das zwischen dem M. gluteus medius und dem M. tensor fasciae latae liegt, definiert. Femur und Acetabulum können mit nur minimalen Hautinzisionen adäquat dargestellt werden. Diese Zugangsmethode kann sowohl in Rückenals auch in Seitenlage durchgeführt werden. Nachteilig ist die fehlende interneurale Lage des Watson-Jones-Intervalls, da sowohl der M. tensor fasciae latae als auch der M. gluteus medius durch den N. gluteus superior innerviert werden. Eine Nervenschädigung kann daher zu einer fettigen Muskeldegeneration des M. tensor fasciae latae führen. Vorteilhaft ist jedoch die Möglichkeit, den anterolateralen Zugang im Fall von Komplikationen problemlos nach distal und proximal zu erweitern, ohne dabei weitere Nervenoder Gefäßirritationen zu verursachen. Aufgrund der intramuskulären Lage ist beim

Verschluss keine Naht der Sehnen erforderlich [117].

Besondere Aufmerksamkeit verdient die supercapsuläre perkutan assistierte Hüfttotalendoprothese (SuperPath), bei der der Inzisionsschnitt nur 6 – 8 cm beträgt. Der Zugang erfolgt durch die Muskelloge zwischen M. piriformis und M. gluteus minimus, ohne die äußere Zirkumflexmuskulatur zu durchtrennen [56, 110]. Ein wesentlicher Vorteil des minimal-invasiven Ansatzes ist der Erhalt der Integrität und Funktion der Hüftmuskulatur, was eine Schmerzreduktion und einen verkürzten Rehabilitationsprozess nach dem operativen Eingriff zur Folge hat. Auf diese Weise können die nachteiligen Faktoren der traditionellen Hüfttotalendoprothese, wie Bettlägerigkeit, erheblicher Blutverlust und langwierige Genesung, überwunden werden [56, 94, 95, 100, 110, 119]. Studien weisen auf eine mögliche Korrelation zwischen minimal-invasiven Operationstechniken und einem niedrigeren Harris-Hipscore hin [100, 119].

Als weitere Variante ist der Smith-Peterson-Zugang zu nennen, bei dem der Hautschnitt für den operativen Hüftgelenkersatz etwa 5 – 7 cm beträgt. Im Vordergrund steht der Erhalt der Hüftgelenksmuskulatur, wobei die sogenannte „Muskel-Splitting-Technik“ angewandt wird. Dabei liegt der Fokus auf der sogenannten „internervous line“, die von den durch den N. femoralis sowie den N. gluteus superior innervierten Muskelgruppen (M. rectus femoris, M. sartorius, M. tensor fasciae latae und der Abduktorenmusculatur) gebildet wird. Personenbezogene Faktoren wie Körpergröße, Muskelmasse und Körperfettanteil stehen in direktem Zusammenhang mit der Länge des Hautschnitts [80]. Ein weiterer Vorteil der verkürzten Hautinzision ist das kosmetisch ansprechende Endergebnis. Um ein negativer Outcome und Rezidive zu vermeiden, sollte der Chirurg oder die Chirurin mit der minimal-invasiven Zugangsmethode umfassend vertraut sein [78, 80, 95].

Obwohl minimal-invasive Techniken potenzielle Hüft-TEP-Komplikationen reduzieren können, besteht weiterhin das Risiko postoperativer Nachblutungen und thromboembolischer Ereignisse. Zudem kann ein erhöhtes Risiko für iatrogene Nervenläsionen bestehen [80, 100]. Darüber hinaus kann ein zu klein gewählter Hautschnitt, der eine starke Hautspannung durch den Hakenzug verursacht, zu Wundheilungsstörungen oder Hautnekrosen führen. Ein unzureichendes Release der Kapsel und eine ungenügende Muskelrelaxation erhöhen das Risiko für Frakturen und Fehlimplantationen des künstlichen Gelenkersatzes [118].

Hinsichtlich der Revisionsraten, Luxationen oder Femurfrakturen zeigt sich bisher kein Unterschied zwischen standardinvasiven und minimalinvasiven Verfahren. Auch bei der Positionierung einzelner Implantatkomponenten sind keine relevanten Differenzen erkennbar [100]. Dabei sollte das langfristige Ergebnis niemals zugunsten eines kurzfristigen Vorteils gefährdet werden [95].

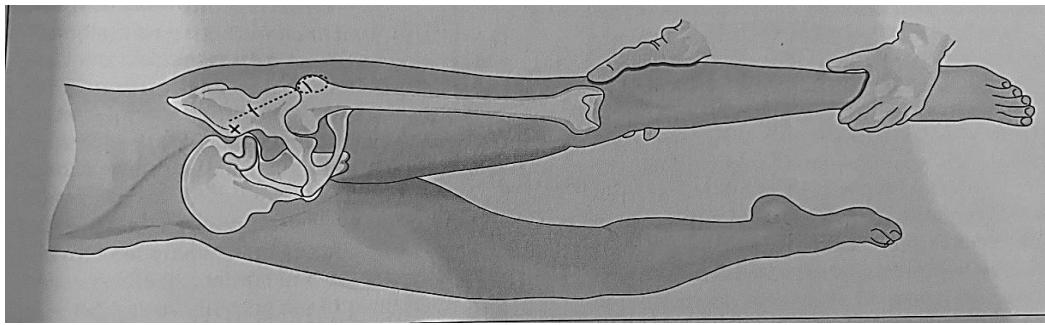


Abbildung 23: Zugang bei minimalinvasiver Implantationstechnik [118]

2.5. Präoperative Planung bei primärer Hüft-TEP

Bei der Positionierung und präoperativen Planung der Hüftprothese sollten Faktoren wie Bewegungseinschränkungen der Wirbelsäule oder des Knie, Beckendeformitäten oder eine kontralaterale Hüftkontraktur berücksichtigt werden [70]. Die Stellung der Prothese im Hüftgelenk sowie ihre passgenaue Positionierung sind entscheidend für das postoperative Ergebnis [15, 70, 99]. Jüngere Patientengruppen könnten ein größeres Bewegungsausmaß (ROM) benötigen, während ältere Patientinnen und Patienten Einschränkungen der Gelenkbeweglichkeit möglicherweise eher akzeptieren würden [70].

Um eine korrekte Inklination der einzubringenden Prothese sicherzustellen, sollten spezifische anatomische Landmarken identifiziert und Vermessungen des Hüftgelenks vorgenommen werden [15, 75, 97, 104]. Knöcherne Strukturen wie die Tränenfigur, die Iliumgrenze oder der Pfannennerker dienen dabei als Orientierungspunkte (vgl. Abb. 20). Die Anpassung des Hüftdrehzentrums erfolgt basierend auf den Landmarken des Pfannenzentrums. Abweichungen „vom Kopfmittelpunkt des Femurs“ treten dabei nicht selten auf [15]. Für die Pfanneninklination gibt die knöcherne Pfanne im Becken einen Winkel von etwa 45° vor [5, 29]. Abweichungen des Inklinationswinkels im Bereich von 35° bis 55° gelten als tolerabel. Die intraoperative Anteversion der Hüftpfanne wird mit etwa 20° definiert, wobei eine Toleranzbreite von 10° bis 30° besteht.

Die Antetorsion des Hüftschemas beeinflusst maßgeblich die Pfannenposition. Eine korrekte TEP-Implantation erfordert die Berücksichtigung von Muskelkraftvektoren und Hebelwirkungen, um ein optimales Spannungsgefüge zu gewährleisten und das Risiko einer Prothesenluxation zu minimieren [15]. Die exakte Passgenauigkeit des Implantats innerhalb des Knochens hat dabei höchste Priorität [29, 75, 99]. Das operative Ziel besteht darin, einen möglichst vollständigen Bewegungsumfang zu gewährleisten und frühzeitigen Prothesenverschleiß oder ein Implantat-Impingement zu vermeiden. Auch die korrekte Positionierung der Acetabulumkomponente ist essenziell [15, 65, 70, 97].

Eine zu horizontale Implantation, die zu einer Knochenbedeckung der Hüftpfanne von weniger als 60 % führt, korreliert mit einem erhöhten Risiko einer aseptischen Prothesenlockerung [29]. Im Zentrum der Endoprothetik stehen die präzise Positionierung der Prothese, der Zustand

des Hüftgelenks und die Beinlänge [97, 104]. Für Patientinnen und Patienten mit klinischen Risikofaktoren ist ein planmäßiges und präventives Vorgehen entscheidend, um Luxationen zu vermeiden. Die sorgfältige Rekonstruktion der Hüfte ist unerlässlich, um Fehlstellungen des Implantats zu verhindern [75, 97, 99].

Durch präoperative, computergestützte Beckenaufnahmen oder den Einsatz des EOS-Bildgebungssystems kann ein passgenaues Implantationskonzept entwickelt werden, das sich an der Gegenseite orientiert [99, 104]. Zudem lassen sich potenzielle Komplikationen frühzeitig identifizieren und alternative Behandlungsmöglichkeiten in Betracht ziehen. Eine Beurteilung des postoperativen Outcomes erfolgt durch bildmorphologische Diagnostik, die einen Vergleich zwischen präoperativer Planung und postoperativem Ergebnis ermöglicht. Diskrepanzen zur vorherigen Konzipierung können so aufgedeckt werden.

Die genannten Faktoren tragen zur Qualitätssicherung im Versorgungsmanagement bei. Als Kontrollinstanz und Leitfaden im Qualitätsmanagement der Hüftendoprothetik dient der PDCA-Zyklus (vgl. Abb. 21) [97]. Gestörte Hüftbiomechanik, beispielsweise durch varisierende oder valgisierende Beinfehlstellungen, können durch angepasste Implantatmaterialien behandelt werden. Dazu gehören modulare und maßangefertigte Prothesenhälse sowie lateralisierte Hüftimplantate. Der Erhalt der Lateralisierung stellt die Funktion der Hüftabduktoren sicher. Das femorale und acetabuläre Offset sind entscheidend für ein korrektes knöchernes Spannungsgefüge sowie für die Kräfte, die auf die Hüftprothese wirken. Das femorale Offset beschreibt den senkrechten Abstand vom Rotationszentrum des Oberschenkelkopfes zur Wirklinie der Abduktoren, während das acetabuläre Offset den senkrechten Abstand des Drehzentrums des Femurkopfes zur vertikal verlaufenden Trans-Teardrop-Linie definiert [104].

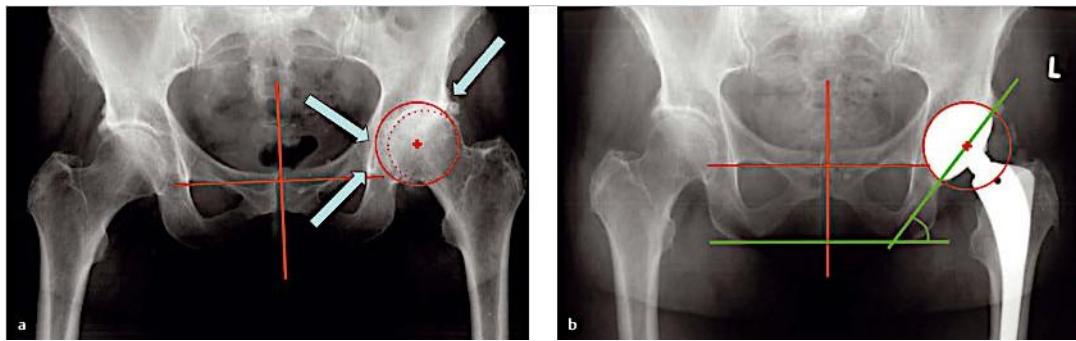


Abbildung 24: Planungsaufnahmen der Pfannenpositionierung vor Hüft-TEP-Implantation [6]

- a. Landmarken: Iliumgrenze, Tränenfigur und Pfannenerker (blaue Pfeile)
- b. Korrekte Pfannenlage

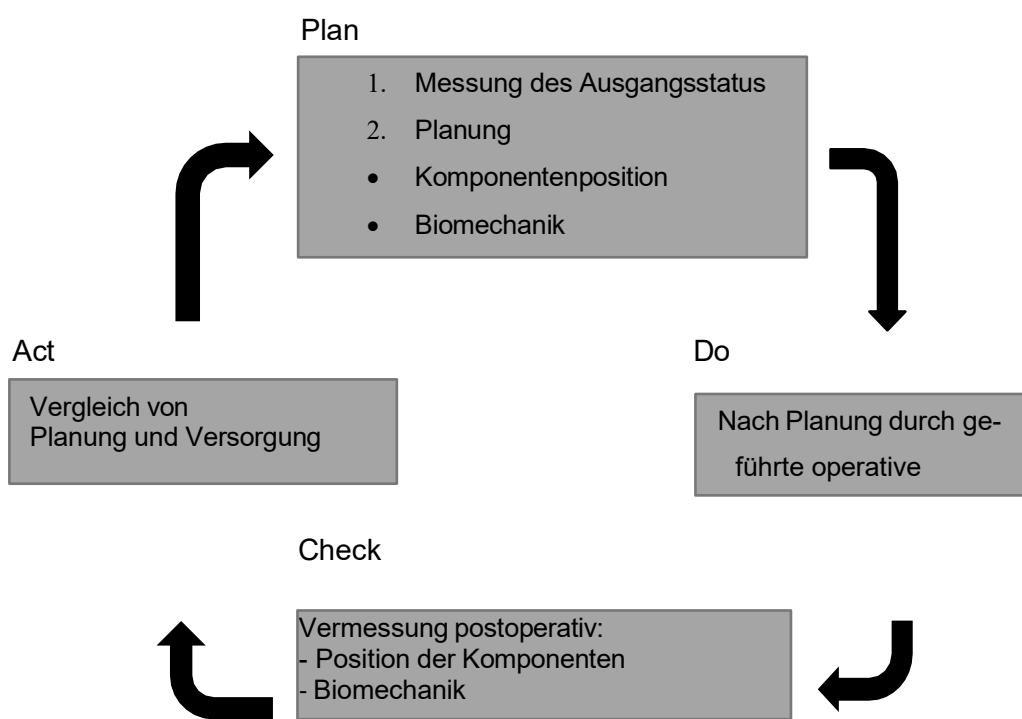


Abbildung 25: PDCA-Zyklus: Ergebniskontrolle und Planung in der Endoprothetik [97]

2.6. Komplikationsmanagement

Ursachen für Funktionsstörungen und Schmerzen nach einer Hüft-TEP können lokale Geweberreaktionen, mechanische Prothesenlockerungen, Osteolysen, Frakturen, Infektionen, Nerven- und Muskelläsionen, Tendopathien oder ein gestörter Ossifikationsprozess sein [86, 93]. Auch akute Blutungen zählen bei künstlichem Gelenkersatz zu häufigen Komplikationen. Präventiv kommen antifibrinolytische Mittel oder Lysinanaloga wie Tranexamsäure zum Einsatz [8]. Jede Form der Blutspende, einschließlich der Eigenbluttransfusion, birgt Risiken. Dabei können Hypotonie, Schwäche, Herzbeschwerden, Schwindel, Gleichgewichtsstörungen und Kollapsneigungen auftreten, die durch eine verminderte Blutzirkulation verursacht werden. Eine reduzierte Anzahl sauerstofftransportierender Erythrozyten infolge der Blutspende kann hierbei ursächlich sein [13, 54].

Trotz der vielversprechenden Ergebnisse der Endoprothetik sind postoperative Komplikationen wie Implantatdislokationen, Fehlpositionierungen, Infektionen und Wirbelsäulendegenerationen zu berücksichtigen. Ein spezifisches Beispiel ist das Psoasimpingement-Syndrom, das durch eine Sehnenreizung am anterioren Rand der Hüftpfanne infolge der Prothesenpositionierung verursacht wird [19, 54, 87, 91]. Auch der Bereich des M. obturator externus ist für die Entstehung eines Impingements prädisponiert [20]. Eine aktive oder passive Beübung der Hüfte nach Implantation kann mit starken Schmerzen verbunden sein [19, 54, 87, 91].

Komplikationen im Zusammenhang mit Neoplasien sollten bei schnell fortschreitenden Symptomen, einem atypischen Beschwerdeverlauf oder einer entsprechenden Anamnese berücksichtigt werden [87]. Wundheilungsstörungen, Gefäßverletzungen, periprothetische Frakturen, Abduktoreninsuffizienzen und heterotrophe Ossifikationen, die mit einer Einstiefung des Hüftgelenks einhergehen, zählen ebenfalls zu möglichen Komplikationen eines Gelenkersatzes. Eine Schwäche der Abduktorenmuskulatur zeigt sich durch ein positives Trendelenburg-Zeichen, das oft den Einsatz von Gehhilfen erfordert, um ein hinkendes Gangbild auszugleichen. Eine postoperativ empfundene Beinlängendifferenz (LLD) kann auf eine Muskelverspannung des M. gluteus medius und minimus zurückzuführen sein. Nach einer Ausrichtung der Körperlinder entlang der Körperlängsachse kann die operierte Gliedmaße verlängert erscheinen [87, 90, 104]. Zudem tritt vorübergehend ein distaler Beckenschiefstand auf, der sich jedoch schnell zurückbildet und daher nicht als pathologisch gilt [104].

Prothesenlockerungen und Osteolysen erhöhen das Frakturrisiko. Insbesondere intraoperative Ereignisse wie Gelenkdislokationen, Gelenkrepositionen, Aufbohrungen oder der Einsatz eines Hüft-TEP-Implantats können Frakturen begünstigen. Im Vergleich zu Primäreingriffen treten Frakturen bei Revisionsoperationen häufiger auf. Gleches gilt für längere Femurschäfte im Vergleich zu kürzeren [87, 90]. Komplikationen nach einem Hüftgelenkersatz können das postoperative Ergebnis sowie die Patientenzufriedenheit beeinträchtigen und die Rezidivrate erhöhen [54].

Zu den allgemeinen Komplikationen einer Hüft-TEP gehören Abduktoreninsuffizienzen, Hüftluxationen, Nervenverletzungen und Frakturen, wobei das relative Risiko je nach Zugangsme- thode variiert [31]. Bei einer Nervenschädigung im Rahmen einer Hüftprothesenimplantation ist häufig der N. ischiadicus betroffen, der besonders anfällig für Dehnungsschäden ist. Seltener sind Schädigungen des N. gluteus superior, N. femoralis, N. obturatorius oder N. cutaneus la- teralis femoralis. Operative Ursachen für Nervenschäden können Nervendurchtrennungen, di- rekte Verletzungen, Gefäßverletzungen, ischämische Kompressionen, Dislokationen oder Nervendehnungen sein [86].

Die Anzahl der durch Lockerungen bedingten Folgeeingriffe hat sich seit dem Jahr 2014 halbiert. Die Wahrscheinlichkeit eines weiteren Revisionseingriffs steigt jedoch mit jeder zusätzlichen Wechseloperation. Das Revisionsrisiko infolge eines periprothetischen Infektgesche- hens ist mehr als doppelt so hoch im Vergleich zu nicht-infektionsbedingten Revisionen [18]. Trotz der Fortschritte in der rekonstruktiven Endoprothetik, der Verlängerung der Implantat- Überlebensdauer und der Verbesserung der Fixierungsmethoden bleibt die Lebensdauer ei- nes Implantats zeitlich begrenzt und führt irgendwann zu einem Versagen [33, 86, 93]. Angesichts der Komplikationen bei Hüft-TEP-Implantationen kann ein spezifisches Komplikationsmanage- ment angewandt werden (vgl. Tab. 4) [54].

Tabelle 4: Gliederung des Komplikationsmanagement bei Hüft-TEP [54]

| | |
|--------|--|
| Grad 1 | Die Komplikation ist klinisch nicht relevant und erfordert keine Behandlung. Eine standardmäßige Nachbeobachtung sollte erfolgen. Es können Antipyretika, Antiemetika, Diuretika, Analgetika, Elektrolyte und Antibiotika eingesetzt werden. |
| Grad 2 | Die Komplikation macht eine leichte Änderung der Versorgung bei ambulanter Behandlung nötig. |
| Grad 3 | Die Komplikation erfordert eine chirurgische Intervention, eine Verlängerung der Krankenhauseinweisung oder eine erneute Krankenaufnahme. |
| Grad 4 | Aufgrund der Komplikation besteht Lebensgefahr. Eine intensive Behandlung ist nötig. |
| Grad 5 | Tod |

2.7. Qualitätssicherung in der Hüft-Endoprothetik

Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen Behandlungsqualität und Behandlungshäufigkeit. Eine hohe Eingriffsraten reduziert nicht nur operative Komplikationen, sondern senkt auch das Risiko für Frakturen und thromboembolische Ereignisse [46]. Die Fallzahl der Behandlungen wird oft als Surrogatmarker betrachtet, der die Heilbehandlungsqualität einer Klinik positiv beeinflussen kann. Ein Zusammenhang zwischen Ergebnisqualität und Eingriffshäufigkeit ist somit wahrscheinlich. Dies hat auch positive Effekte auf die Prozessqualität. Allerdings konnte kein Zusammenhang zwischen der Strukturqualität einer Klinik und der Behandlungsqualität bzw. -häufigkeit nachgewiesen werden [47]. Daten des EPRDs legen nahe, dass eine hohe Behandlungszahl bei elektiven Eingriffen das Risiko für Revisionen reduziert [18]. Um die Zahl an Revisionen aufgrund aseptischer Prothesenlockerungen zu senken, sollten präoperative Maßnahmen wie die Gewichtsreduktion bei Adipositas, die Optimierung der Herz-Kreislauf-Funktion und die Nikotinentwöhnung berücksichtigt werden. Auch die Prothesenplanung, die Schaftform sowie die Oberflächenbeschaffenheit des Implantatmaterials sind von zentraler

Bedeutung. Oberflächenmodifikationen, wie Aufrauhungen oder Beschichtungen aus Hydroxylapatit, können den Langzeiterfolg nach einer Hüft-TEP-Implantation fördern. Während des Eingriffs sollte übermäßige maschinelle Manipulation am Implantat oder Knochen vermieden werden. Eine optimale Knochenbedeckung der Hüft-TEP im Hüftgelenk ist entscheidend für die Stabilität und das langfristige Ergebnis [99].

Die präoperative Planung sollte sich auch auf die genaue Anpassung der Prothese konzentrieren, wobei die Anteversion des Oberschenkels zu berücksichtigen ist. Zu den häufigsten Fehlern nach der Implantation gehören ein reduziertes femorales Offset und das Auftreten einer Femurlängendifferenz (LLLD). Die präoperative LLLD kann durch die Längendifferenz gemessener Segmentlinien bestimmt werden. Diese Linien erstrecken sich jeweils vom apikalen Ende des Oberschenkelkopfs bis zur Mitte des Knöchels. Diskrepanzen in der Beinlänge können auch durch ein verändertes Rotationszentrum der Hüftköpfe entstehen [104]. Während des Eingriffs sollte die Spannung der Abduktoren überprüft werden, um die Zuverlässigkeit des präoperativen Planungskonzepts und die Stabilität der Hüfte zu gewährleisten [99]. Postoperativ ist die Einnahme von Medikamenten, die den Knochenstoffwechsel beeinflussen, essenziell. Bisphosphonate wie Zoledronsäure können eine positive Wirkung haben. Auch die Anwendung von SSRIs, NSAIDs und Schleifendiuretika oder die Vermeidung übermäßiger Belastung können das Risiko einer aseptischen Prothesenlockerung senken [29]. Bei erheblicher Schädigung der Knochenmatrix und Anzeichen einer Osteolyse kann eine zweizeitige Hüft-TEP-Implantation mit zellulären Knochenimplantaten (CABs) die Standzeit der Prothese verlängern. In einer ersten Phase vor der Prothesenimplantation können Knochenschwund oder Fehlbildungen durch allogene oder autologe Knochentransplantate behandelt werden, um die Knochensubstanz zu regenerieren. Nach ausreichender Konsolidierung folgt die Implantation der Hüft-TEP. Autologe Knochentransplantate werden bevorzugt eingesetzt, da diese osteoinduktive, osteogene und osteokonduktive Eigenschaften aufweisen. Allerdings besteht ein erhöhtes Infektionsrisiko. Als Alternative kann kostengünstiger Knochenzement verwendet werden, der jedoch nicht in den Knochen einwächst. Dies kann zu zusätzlichem Substanzverlust bei Revisionen oder belastungsinduziertem Implantatversagen führen [102, 103]. Eine Vaskularisierung synthetischer Strukturen ist ebenfalls nicht möglich, was zu Infektionen, Narbenbildung oder Neoproliferationen in benachbarten Gewebestrukturen führen kann [103]. CABs, die autologen Transplantaten ähneln, wirken osteoinduktiv und osteokonduktiv auf die Knochenmatrix. Diese enthalten lebensfähige mesenchymale Stammzellen, die das Potenzial haben, sich zu Osteozyten zu differenzieren. Daher können zelluläre Knochenimplantate eine vielversprechende Alternative zu autologen Transplantaten darstellen [102, 103]. Das Bewusstsein über mögliche Fehler und Komplikationen bei der Implantation einer Hüft-TEP sollte zur Optimierung des Versorgungssystems und zur Verbesserung der Patientensicherheit beitragen [96].

3. Material und Methoden

3.1. Arbeitsprogramm: Messzeitpunkte und dokumentierte Daten

Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt auf einem Vergleich intraoperativer und postoperativer Röntgenbilder, um einen potenziellen Korrekturfaktor für die intraoperative Pfanneninklination abzuleiten. Durch eine solche Korrektur könnte die intraoperative Messung der Pfannenposition angepasst werden, was sich positiv auf die Beckeninklination, die Beckenrotation sowie die Anteversion des Beckens auswirken könnte.

Im Fokus liegen dabei die folgenden Fragestellungen:

1. Kann durch Messung von intra- sowie postoperativer Röntgenbilder ein Korrekturfaktor identifiziert werden?
2. Welches Ausmaß hat der Korrekturfaktor bei einer Hüft-TEP-Implantation?
3. Sind geschlechtsspezifische oder seitenspezifische Unterschiede angesichts des Korrekturfaktors existent?

3.1.1. Charakteristika des Patientenkollektivs

In die retrospektive Studie wurden insgesamt 369 Patientendaten eingeschlossen, darunter alle primären Implantationen, die in der Klinik und Poliklinik für Orthopädie im Zeitraum vom 01.01.2013 bis zum 31.12.2017 durchgeführt wurden. Es wurden ausschließlich primäre Hüft-TEP-Implantationen berücksichtigt. Patienten mit verschraubten Pfannen, Bursch-Schneider-Pfannen, Brehm-Schaft-Implantationen, Revisionseingriffen sowie proximalen Femur-Implantaten wurden ausgeschlossen. Von den initial 516 Patienten wurden 34 aufgrund unzureichenden Bildmaterials und 113 aufgrund alternativer Pfannenfixierungen ausgeschlossen. Dadurch verblieb ein Studienkollektiv von 369 Patienten mit vollständigen Datensätzen und Röntgenbildern.

Bei allen Patienten wurde die Hüft-TEP-Implantation unter Verwendung einer unzementierten Hüftpfannenkomponente (Pinnacle, DePuy Synthes, Warsaw, IN, USA) und eines entweder unzementierten oder zementierten Schaftes durchgeführt. Der modifizierte laterale Zugang zur Hüfte wurde als Zugangsweg gewählt. Die Studie wurde von der institutionellen Ethikkommission genehmigt (EN 211038) [121].

Einschlusskriterien

- Männliche und weibliche Patienten unabhängig des jeweiligen Alters
- Inkludierung ausschließlich eigener Patienten, mit primärer Hüft-TEPOperation
- Primäre Hüft-Totalendoprothese im Rahmen der Diagnose Koxarthrose
- Durchgeführte primäre Implantationen in der Klinik und Poliklinik für Orthopädie innerhalb des Zeitraums vom 01.01.2013 bis zum 31.12.2017
- Keine Altersbegrenzung

Ausschlusskriterien

- Revisionseingriffe an der Hüfte
- Verschraubte Pfannen
- Proximale Femur-Implantationen
- Bursch-Schneider-Pfannen
- Brehm-Schaft-Implantationen
- Patientenfälle, deren Bildgebung (intra-/postoperative Bildgebung) nicht vollständig ist

3.2. Methoden

Die wissenschaftliche Zielsetzung dieser Arbeit basiert auf der Vermessung intra- sowie postoperativer Röntgenbilder. Bei der Hüft-Totalendoprothese dient der Prothesenschaft als Ersatz für Oberschenkelkopf und -hals. Die Prothesenpfanne ersetzt „die Gelenkfläche des Acetabulums“ [1]. Für die operative Intervention wurde die laterale transtrochantäre Zugangsmethode angewandt. Betrachtet wurden sowohl zementierte als auch zementfreie Prothesen [9].

3.2.1. Radiologische Auswertung

Die intraoperative Röntgenbilddiagnostik erfolgte mithilfe eines Philips BV Endura (Philips Medical Systems DMC GmbH, Hamburg, Deutschland) Bildverstärkers. Die Patienten wurden in Rückenlage positioniert, und zur Reduktion der Strahlenbelastung wurde der Detektor des C-Bogens möglichst nah am Patienten platziert. Die Röntgenbilder wurden symphysenzentriert mit symmetrischen Obturatorforamina aufgenommen, sodass beide Tränenfiguren sichtbar waren. Im eingeschlossenen Patientenkollektiv wurden standardisierte prä- und postoperative, gewichtsbelastete Bildaufnahmen des Beckens in anterior-posteriorer (AP) Projektion erstellt. Dabei war der Röntgenstrahl auf die Symphyse zentriert, bei einem Quelle-zu-Film-Abstand (SID) von 100 cm.

In der zugrunde liegenden Studie wird die Neigung als Röntgeninklination (RI) definiert. Diese

beschreibt den Winkel ρ zwischen der langen Achse der projizierten Ellipse der Pfannenöffnung und einer Trajektorie durch beide Tränenfiguren. ρ wurde sowohl in den intraoperativen Bildern als auch in den postoperativen a.p.-Beckenaufnahmen gemessen (vgl. Abbildungen 1 und 2). Die Vermessungen wurden durch zwei Beobachter durchgeführt, um die RI der postoperativen a.p.-Röntgenaufnahmen im Stehen (PRI) und der intraoperativen Durchleuchtungsbilder (IRI) zu bestimmen.

Die Untersuchungsmethodik umfasst die retrospektive Analyse anonymisierter Patientendaten durch Messungen an bereits vorliegenden konventionellen Röntgenbildern. Diese wurden im digitalen Format mithilfe des institutionellen Bildarchivierungs- und Kommunikationssystems (IMPAX EE; Agfa Healthcare N.V., Mortsel, Belgien) sowie manuell anhand von Bildmaterial aus dem orthopädischen Archiv analysiert. Die statistischen Analysen erfolgten mit Microsoft Excel und der IBM SPSS® Statistic Software Version 27.

Die interne Konsistenz der Messdaten wurde mittels einer Zuverlässigkeitsanalyse überprüft. Hierbei wurde der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) als Indikator für die Zuverlässigkeit herangezogen [121].

3.2.2. Statistische Auswertung

Die Auswertung der Messdaten erfolgte durch Methoden der deskriptiven und schließenden Statistik. Durchschnittswerte wurden berechnet, um die Studienfragestellung zu bearbeiten und einen vermeintlichen Korrekturfaktor abzuleiten. Deskriptive Analysen umfassten die Berechnung von Medianen, Mittelwerten und Spannweiten. Für die Dependenzanalyse kamen t-Tests zur Anwendung. Zur Bestimmung des Signifikanzniveaus wurde ein gepaarter t-Test für normalverteilte, parametrische Werte durchgeführt. Geschlechtsspezifische Unterschiede zwischen intra- und postoperativen Inklinationswinkeln wurden ebenfalls mittels t-Tests für verbundene Stichproben analysiert. Zusätzlich wurden t-Tests für unabhängige Variablen berücksichtigt, beispielsweise zur Untersuchung der Inklinationswinkel in Abhängigkeit von der Operationsseite [1, 2]. Der Levene-Test wurde genutzt, um die Varianzkompatibilität zwischen den Implantationsseiten zu prüfen. Die Effektstärke (Cohen's d) diente der Bewertung der Testaussagekraft durch Vergleich der Mittelwerte gruppenspezifischer Variablen. Ein Wert von 0,75/0,8 weist auf einen starken Effekt hin.

Korrelationsanalysen wurden verwendet, um die Daten zu quantifizieren. Die Analysen basierten auf einer möglichen Korrelation von $r = 0,5$ bei einem Signifikanzniveau von $p < 1\%$. Eine gefundene Korrelation würde bei einer solchen Stichprobengröße in weniger als 1 % der Fälle zufällig auftreten. Ergebnisse, die den Nullpunkt einschließen, gelten als nicht signifikant. Für die Signifikanzprüfung wurde der gepaarte t-Test für normalverteilte Werte sowie der Wilcoxon-Rangsummentest für nicht normalverteilte Werte angewandt. Das Konfidenzintervall wurde auf 95 % festgelegt, wobei Ergebnisse mit $p < 0,05$ als statistisch signifikant und solche mit $p < 0,01$ als hoch signifikant definiert wurden.

Die bivariate Korrelationsanalyse der intraoperativen RI und der Differenz der Winkel zueinander (DRI) wurde mittels Pearson-Korrelation (r) durchgeführt. Durch bivariate lineare Regression konnte eine Gleichung zur Vorhersage einer Variablen auf Basis einer anderen erstellt werden. Die Korrelation der Inklinationswinkel wurde in Abhängigkeit von Alter, Operationsseite und Geschlecht der Patienten untersucht. Die Irrtumswahrscheinlichkeit (p-Wert) berücksichtigt sowohl die Stichprobengröße als auch das Ausmaß der Korrelation.

Die Power-Analyse zeigte, dass für ein signifikantes Ergebnis bei einer Pearsonkorrelation von $r = 0,5$ (Effektgröße), einer statistischen Power ($1 - \beta$) von 95 % und einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ eine Stichprobengröße von $n = 46$ erforderlich wäre. Eine Normalverteilung des Datensatzes wurde durch den Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft. Ab einer Stichprobengröße von $n \geq 30$ kann die Prüfung auf Normalverteilung jedoch in der Regel vernachlässigt werden [49]. Bei Ablehnung der Normalverteilung wurden ergänzende Untersuchungen auf Kurtosis und Schiefe durchgeführt. Signifikante Abweichungen liegen vor, wenn die Statistik für Schiefe oder Kurtosis das Doppelte des Standardfehlers beträgt.

Der t-Test gilt ab einer großen Stichprobenpopulation als robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilung, was sich anhand der vorliegenden Stichprobe belegen lässt [49]. Zusätzlich weist die spezifische Schärfe des Kolmogorov-SmirnovTests gegenüber der Gauß-Verteilung bei großen Stichproben häufig auf Signifikanz hin. Mittels linearer Regressionsanalyse konnte die Winkelabweichung als Funktion des intraoperativen Winkels berechnet werden, wodurch sich ein Standard für den Korrekturfaktor in definierten Bereichen ableiten ließ. Ergänzend wurden Definitionsbereiche der intraoperativen Winkelkorrektur geprüft. Diese könnten das Streuungsmaß der Winkeldifferenz reduzieren und eine bessere Anpassung der Winkelinklination ermöglichen.

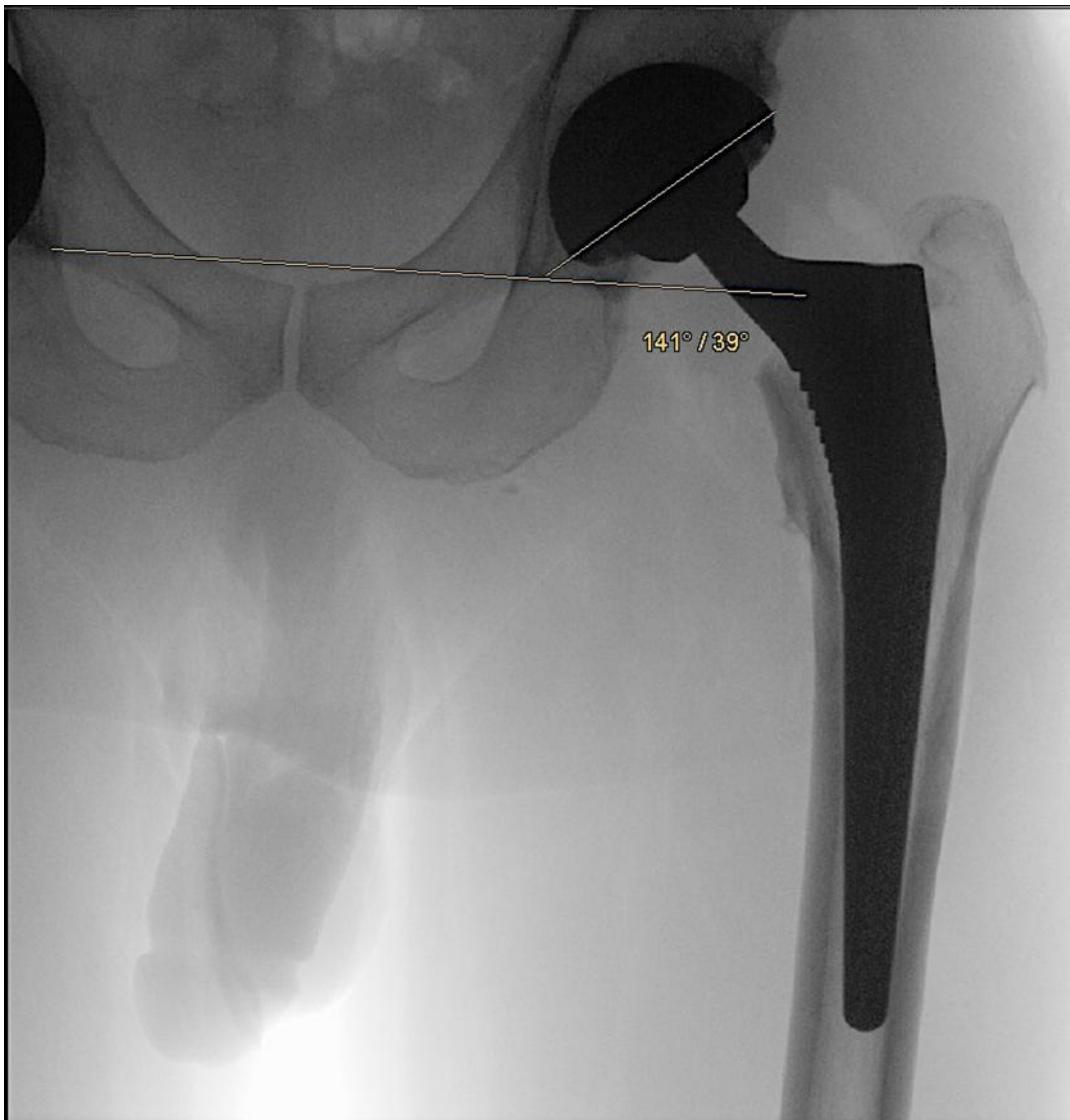


Abbildung 26: Intraoperative Vermessung bei primärer Hüft-TEP-Implantation

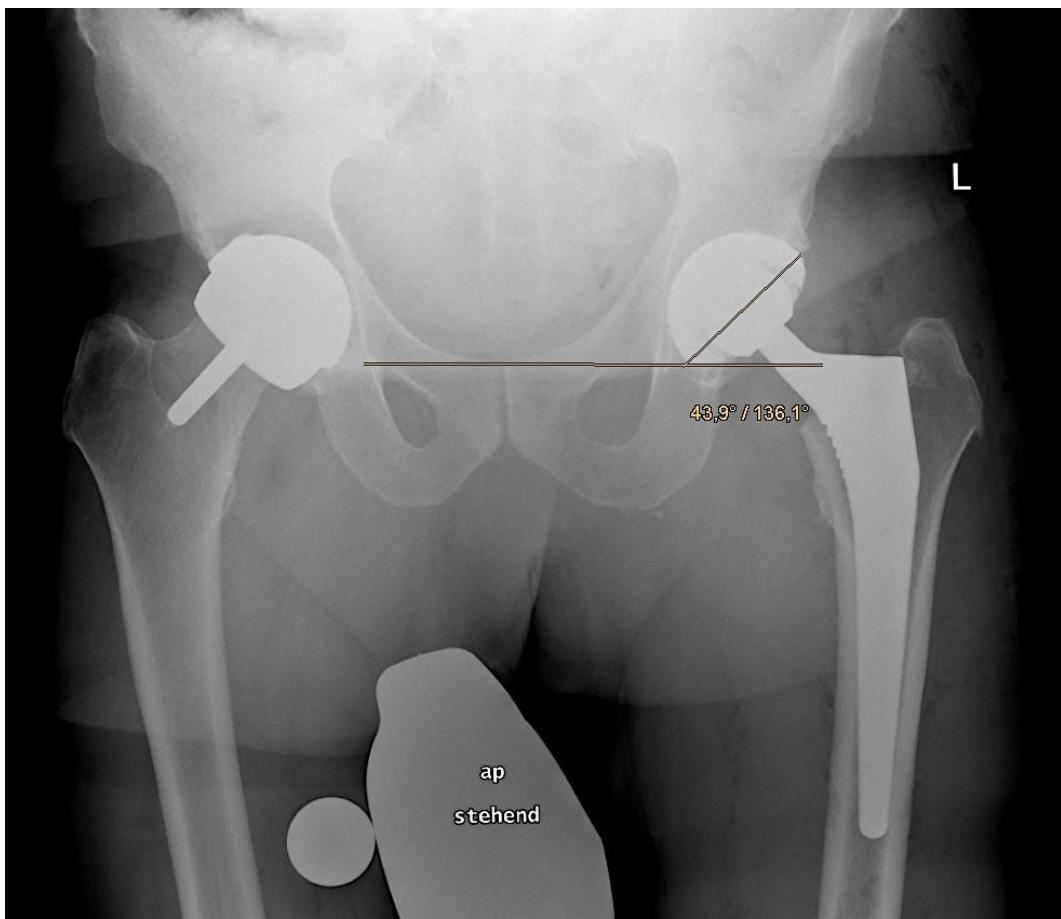


Abbildung 27: Postoperative Vermessung bei primärer Hüft-TEP-Implantation

Intraoperativ wurde die Inklinierung der Pfanne mittels eines Bildwandlers geröntgt. Es wurden 2D-Röntgenbilder sowohl von der Gegenseite als auch von der operierten Seite erstellt, um diese anschließend zu vergleichen. Als Referenz diente das Tuber ischiadicum, wobei eine parallel zur Horizontalen angelegte Gerade genutzt wurde, um den Winkel abzuschätzen. Die Messungen der Implantationen im Zeitraum von 2013 bis 2017 wurden entweder auf ausgedruckten Röntgenbildern mithilfe eines Goniometers oder bei digitaler Bildgebung mit dem System Impaxx durchgeführt. Die Referenzlinie stellte dabei die Verbindungsgeraden beider Tränenfiguren dar. Abbildungen 22 und 23 zeigen die digitale Messung von intra- und postoperativen Röntgenbildern. Der Pfanneninklinationswinkel wurde als der Winkel zwischen der Längsachse der projizierten Ellipse der Beckenöffnung und der Linie durch beide Tränenfiguren („tear drop line“) definiert.

Zur Vorhersage von Unterschieden aufgrund der Beckenkippung wurde eine horizontale Linie verwendet, die durch das untere Ende beider Iliosakralgelenke verläuft. Diese wurde mit einer senkrechten Linie verbunden, die durch den oberen Rand der Symphyse führt (SySi-Abstand). Die entsprechenden Parameter wurden gemessen, um zu beurteilen, ob das Acetabulum bzw. die Hüftpfanne durch die Beckenkippung anders projiziert wird, insbesondere in Bezug auf Retroversion oder Überdeckung des Acetabulums [5, 71].

3.3. Statistische Auswertung

3.3.1. Deskriptive Statistik

Basierend auf den Daten wurden deskriptiv Mittelwerte, Mediane und Spannweiten berechnet. Die beschreibende Statistik ermöglichte die Analyse der Verteilung, der zentralen Tendenz sowie der Repräsentativität der Daten. Die Lagemaße und Streuungsmaße wie Schiefe und Spannweite lieferten weitere Einblicke in die Variabilität der untersuchten Variablen. Dabei repräsentierte die Spannweite die Differenz zwischen den höchsten und niedrigsten Messwerten, und spezifische Grenzwerte wurden ermittelt. Die Prüfung der Daten auf Normalverteilung erfolgte mittels des Kolmogorov-Smirnov-Tests.

Da der Kolmogorov-Smirnov-Test eine Normalverteilung der intraoperativen Werte ablehnte, wurden ergänzend die Parameter der Schiefe und Kurtosis analysiert. Die Kodierung der Differenz zwischen den intraoperativen und postoperativen Inklinationswinkeln zeigte eine starke Kurtosis (2,95; SEM = 0,253) und Schiefe (0,531; SEM = 0,127). Beide Werte überschritten das Doppelte des Standardfehlers, was auf eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung hindeutete. Die durchschnittliche Differenz betrug $3,95^\circ$ ($SD = 4,60$). Der Verteilungsverlauf war spitzwinklig, wie anhand der Abbildung 33 zu sehen. Das Histogramm (siehe Abb. 33) verdeutlicht Ausreißer sowie signifikante intraoperative Verschiebungen in der Verteilung.

3.3.2. Dependenzanalyse

Die Dependenzanalysen wurden mittels durchgeföhrter t-Tests durchgeführt. Zur Bestimmung des Signifikanzniveaus kamen gepaarte t-Tests für normalverteilte, parametrische Werte zur Anwendung. Geschlechtsspezifische Unterschiede zwischen intra- und postoperativen Inklinationswinkeln wurden anhand von t-Tests für verbundene Stichproben geprüft. Für die Analyse der Inklinationswinkel in Abhängigkeit von der Implantationsseite (1, 2) wurde der t-Test für unabhängige Variablen verwendet. Der Levene-Test wurde eingesetzt, um die Varianzkompatibilität beider Implantationsseiten zu untersuchen. Die Aussagekraft der Tests wurde durch die Berechnung der Effektstärke (Cohen's d) weiter gestärkt.

Zur Quantifizierung der Daten wurden Korrelationsanalysen durchgeführt. Die Pearson-Korrelation diente der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den Variablen Inklinationswinkel und Alter sowie zwischen intraoperativen und postoperativen Winkeln. Durch eine Datenexploration konnten die erfassten Werte mittels geeigneter Kennwerte beschrieben und die Verteilungsform analysiert werden. Um das Streuungsmaß der intraoperativen Inklinationswinkel zu minimieren, erwiesen sich spezifische Korrekturstandards innerhalb definierter Winkelbereiche als sinnvoll.

Varianz- und Regressionsanalysen zielten darauf ab, Abhängigkeiten zwischen „unabhängigen“ und „abhängigen“ Variablen zu untersuchen. Dabei wurden nicht nur potenzielle Unterschiede, sondern auch Zusammenhänge zwischen den gemessenen Parametern aufgezeigt.

3.3.3. t-Test der Inklinationswinkel in Abhängigkeit zur Seite

Zur Datenanalyse mit den Gruppierungsvariablen Seite (1, 2) und Inklinationswinkel wurde der t-Test für unabhängige Stichproben herangezogen. Der Levene-Test, der zur Überprüfung der Varianzkompatibilität der beiden Implantationsseiten durchgeführt wurde, zeigte keine Signifikanz, sodass beide Varianzen als gleich bewertet wurden. Mithilfe des t-Tests konnte intraoperativ ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden, da eine Mittelwertdifferenz von $1,5^\circ$ festgestellt wurde (MW intraoperativ: $38,24^\circ$ für Seite 1 und $36,74^\circ$ für Seite 2). Postoperativ zeigte der seitenspezifische Winkel jedoch keinen signifikanten Unterschied ($p = 0,56$). Der Cohen's d, der als Maß für die Effektstärke herangezogen wurde, wies zwischen den Gruppenvariablen „Seite und intraoperativer Winkel“ einen schwachen, jedoch signifikanten Effekt nach. Bei einer systematischen Abweichung von $1,5^\circ$ betrug Cohen's d 0,248. Postoperativ schloss das 95%-Konfidenzintervall den Nullpunkt mit ein, wodurch keine Signifikanz belegt werden konnte.

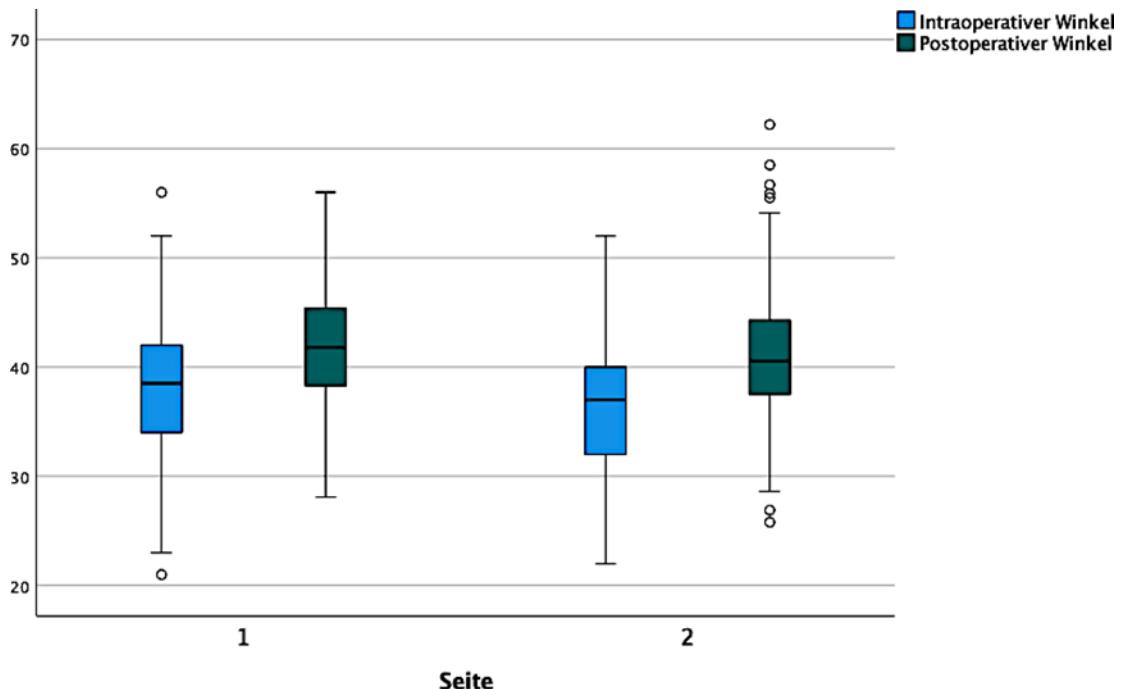


Abbildung 28: Inklinationswinkel in Abhängigkeit zur Seite (Variablen: 1 = rechts; 2 = links)

3.3.4. t-Test der Inklinationswinkel in Abhängigkeit zum Geschlecht

Beim t-Test, der basierend auf den Gruppenvariablen Geschlecht und Inklinationswinkel durchgeführt wurde, ergab sich postoperativ ein signifikanter Unterschied. Intraoperativ konnte nur eine geringe Differenz von ca. $0,6^\circ$ zwischen den Geschlechtern festgestellt werden (MW = $37,16^\circ$ für Männer und $37,77^\circ$ für Frauen). Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant und wurde daher als vernachlässigbar bewertet. Postoperativ betrug die Differenz zwischen den Geschlechtern $1,2^\circ$ (MW = $40,78^\circ$ für Männer und $42,04^\circ$ für Frauen) und war signifikant.

Dies deutet auf eine durchschnittliche Vergrößerung des postoperativen Winkels bei den weiblichen Patientinnen um ca. $1,26^\circ$ hin. Der Cohen's d zeigte erneut einen schwachen Effekt.

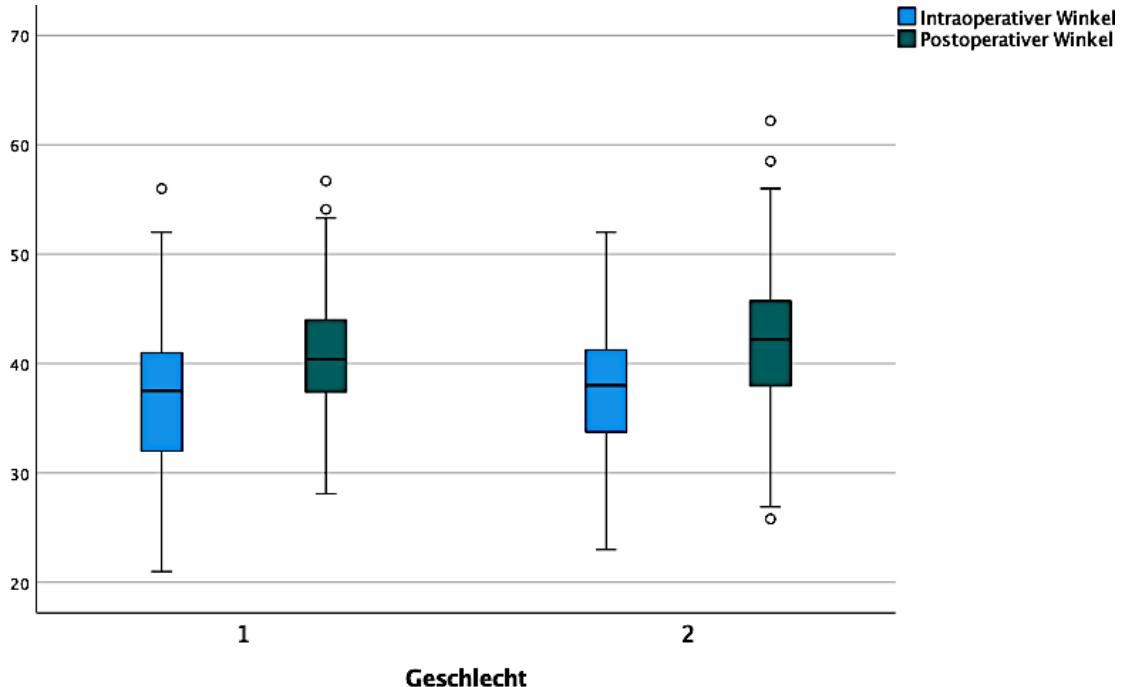


Abbildung 29: Inklinationswinkel in Abhängigkeit zum Geschlecht (Variablen: 1 = männlich; 2 = weiblich)

Durch den t-Test für verbundene Stichproben konnte der geschlechtsspezifische Unterschied zwischen intra- und postoperativen Inklinationswinkeln genauer untersucht werden. Es ergab sich ein Unterschied, der in beiden Fällen auf dem Niveau von 0,01 (zweiseitig) als signifikant eingestuft wurde. Die Prüfung der Effektstärke (Cohen's d = -0,86) zeigte einen deutlichen Effekt. Die Differenz zwischen intra- und postoperativen Inklinationswinkeln war bei beiden Geschlechtern vergleichbar groß: Bei den männlichen Probanden betrug die Differenz $3,62^\circ$ ($df = 181$), während diese bei den weiblichen Patientinnen $4,27^\circ$ ($df = 186$) erreichte.

4. Ergebnisse

4.1. Häufigkeitsverteilung

Die Fallzahl der intra- sowie postoperativen Röntgenbilddiagnostik betrug 369, davon 182 männliche und 187 weibliche Probanden. Der geschlechtsspezifische Prozentsatz lag entsprechend bei 49,32 % (Männer) und 50,68 % (Frauen).

Tabelle 5: Geschlechterverteilung

| Geschlecht | Patientenzahl absolut | Patientenzahl in % |
|--------------|-----------------------|--------------------|
| männlich (1) | 182 | 49,32 |
| weiblich (2) | 187 | 50,68 |
| gesamt | 369 | 100 |

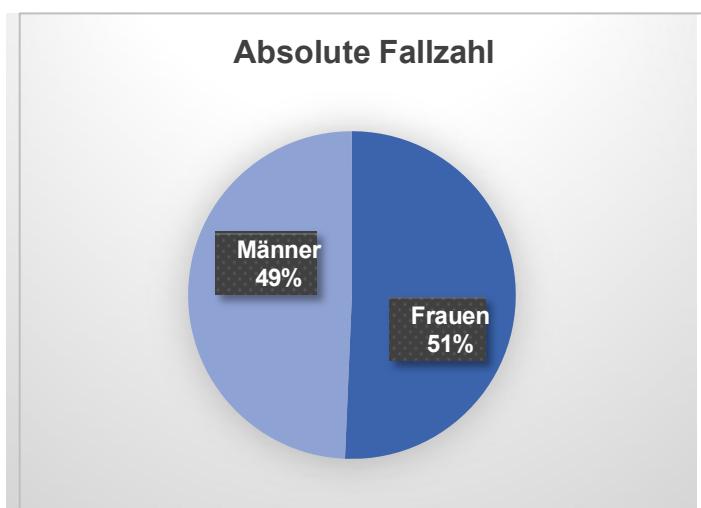


Abbildung 30: Patientenzahl absolut

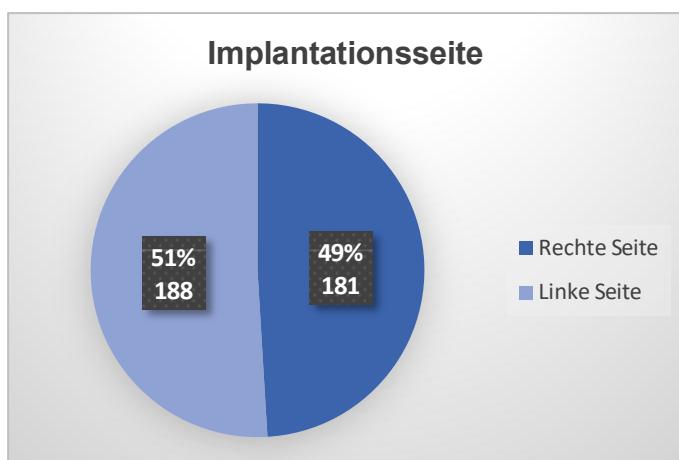


Abbildung 31: Durchschnittlicher Anteil implantierter Hüft-TEPs in Bezug zur Seite

4.2. Verteilungsparameter

4.2.1. Verteilung nach Operationsseite

Im Beobachtungszeitraum von 2013 bis 2017 wurden insgesamt 181 rechtsseitige und 188 linksseitige Hüft-TEP-Implantationen in die Studie aufgenommen und im Rahmen der vorliegenden Arbeit analysiert.

Tabelle 6: Detaillierte Auswertungsergebnisse nach Seite der Implantation

| Jahr der Hüft-EP-Implantation | Rechte Seite | Linke Seite |
|--------------------------------------|---------------------|--------------------|
| 2013 | 27 | 34 |
| 2014 | 46 | 39 |
| 2015 | 43 | 42 |
| 2016 | 29 | 37 |
| 2017 | 36 | 36 |

4.2.2. Altersverteilung

Auch das Patientenalter bei der Einbringung der Endoprothese wurde in die statistische Auswertung einbezogen. Das Durchschnittsalter der eingeschlossenen Probanden betrug 64,25 Jahre, wobei der Median bei 67 Jahren lag (Maximalalter = 90, Minimalalter = 18). Das Durchschnittsalter der männlichen Patienten betrug 61,51 Jahre (SD = 14,51; Max = 85; Min = 22), während es bei den weiblichen Patienten 66,97 Jahre betrug (SD = 12,89; Max = 90; Min = 18). Insgesamt waren die Frauen bei der primären Hüft-TEP-Implantation älter als die Männer. Der Median lag bei 69 Jahren (Frauen) im Vergleich zu 63 Jahren (Männer).

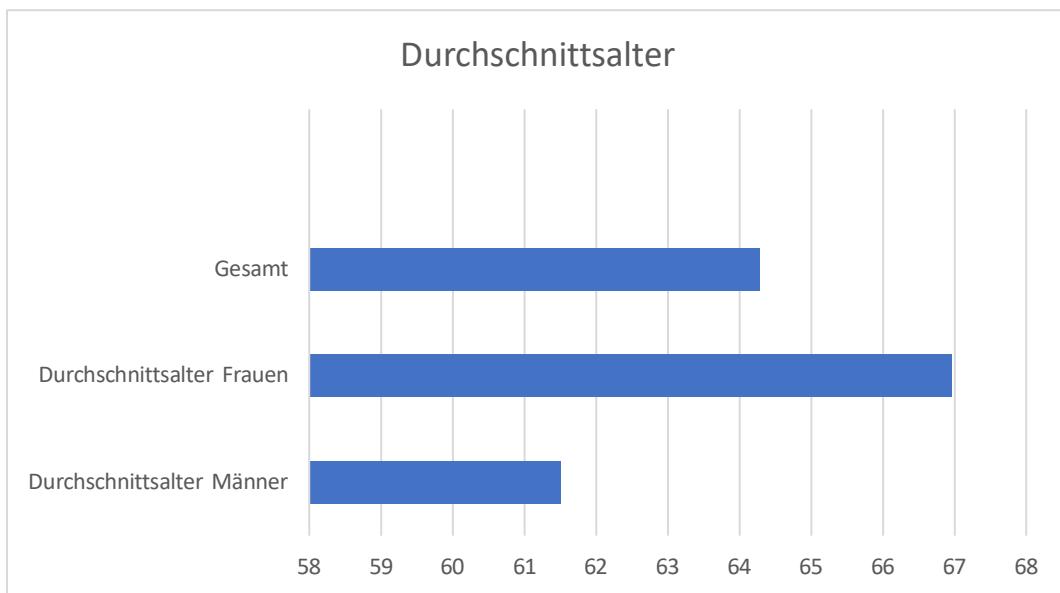


Abbildung 32: Altersverteilung

4.2.3. Messparameter – Inklinationswinkel

Die Differenz zwischen intra- und postoperativen Inklinationswinkeln betrug durchschnittlich $3,95^\circ$. Der intraoperative Durchschnittswinkel lag bei $37,47^\circ$ ($SD = 6,14^\circ$; Max = 56° ; Min = 21°), während der postoperative Durchschnittswinkel $41,42^\circ$ betrug ($SD = 5,85^\circ$; Max = $62,2^\circ$; Min = $25,8^\circ$).

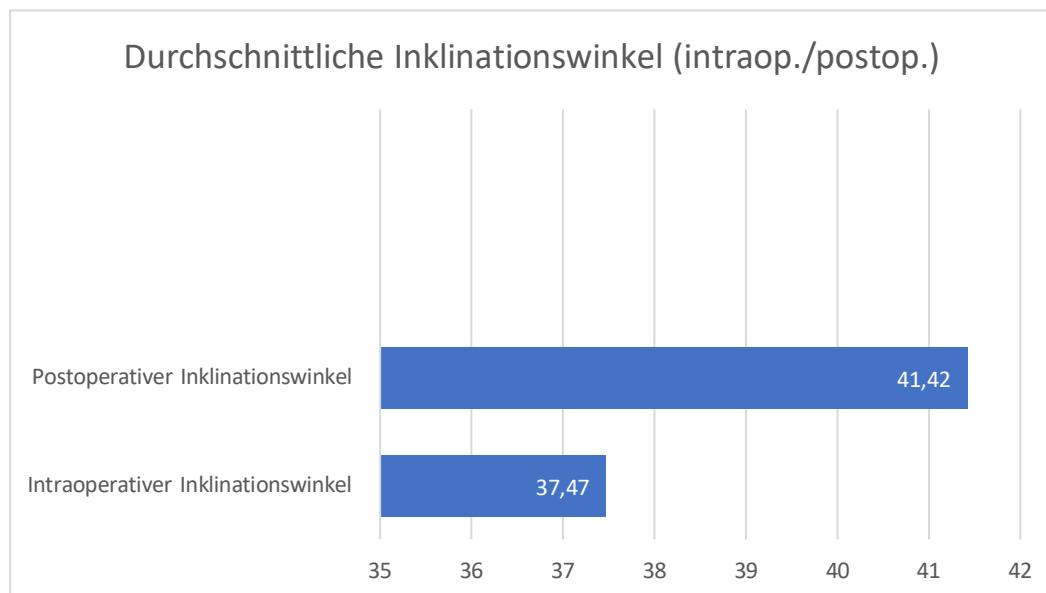


Abbildung 33: Intraoperativer Inklinationswinkel im Durchschnitt im Vergleich zum post-operativen Inklinationswinkel

4.2.4. Inklinationswinkel im Seitenvergleich

Beim Vergleich der Inklinationswinkel zwischen intra- und postoperativen Messungen nach der jeweiligen Implantationsseite ergaben sich folgende Werte:

Auf der rechten Seite zeigte sich ein intraoperativer Durchschnittswinkel von $38,24^\circ$ ($SD = 6,11^\circ$, $Min = 21^\circ$, $Max = 56^\circ$). Postoperativ betrug der Durchschnittswinkel $41,70^\circ$ ($SD = 5,64^\circ$, $Min = 28,1^\circ$, $Max = 56^\circ$). Dabei lag die Differenz der Inklinationswinkel zueinander bei $3,47^\circ$. Der Median war mit $38,5^\circ$ (intraop.) und $41,8^\circ$ (postop.) anzugeben.

Linksseitig ergab sich ein intraoperativer Durchschnittswinkel von $36,72^\circ$ ($SD = 6,09^\circ$, $Min = 22^\circ$, $Max = 52^\circ$), sowie postoperativ von $41,14^\circ$ ($SD = 6,05^\circ$, $Min = 25,8^\circ$, $Max = 62,2^\circ$). Mit einer Winkeldifferenz von $4,41^\circ$. Intraoperativ lag der Median bei 38° sowie postoperativ bei $41,3^\circ$. Der Vergleich der jeweiligen Implantationsseiten (rechts/links) zeigte Unterschiede hinsichtlich der intra- und postoperativen Pfanneninklination. Mithilfe der Standardabweichung als Streuungsparameter konnte ein gewisses Maß an Variabilität in Bezug auf die intraoperative und postoperative Pfanneninklination festgestellt werden.

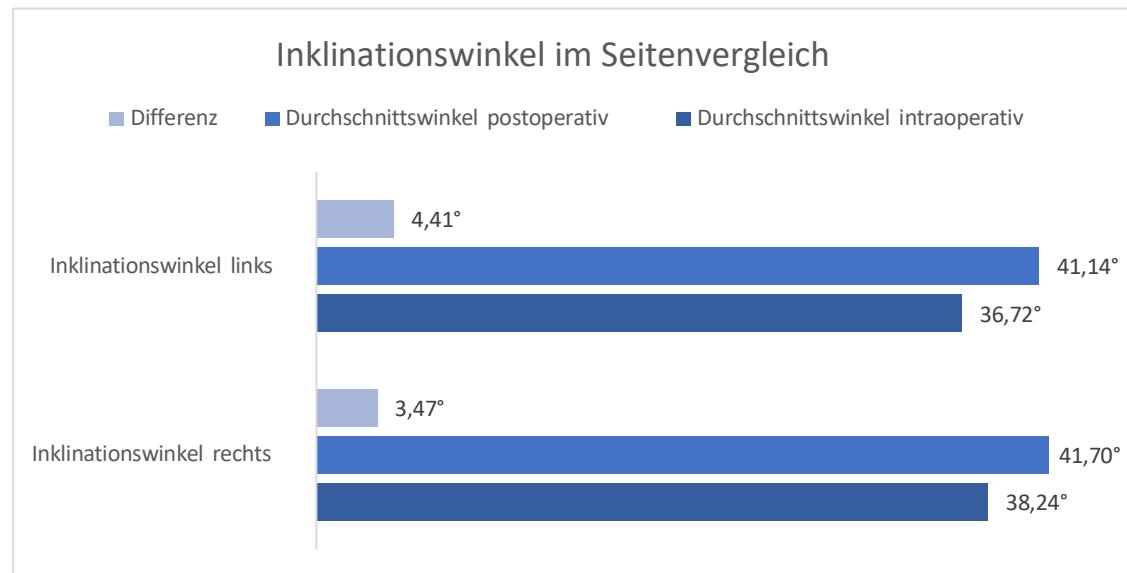


Abbildung 34: Inklinationswinkel im Seitenvergleich

Tabelle 7: Streuungsmaß der Inklinationswinkel und Differenz der Winkel zueinander

| | N | R | Min. | Max. | M | SD |
|-------------------|-----|-------|--------|-------|--------|-------|
| Winkel (intraop.) | 369 | 35,0 | 21,0 | 56,0 | 37,466 | 6,137 |
| Winkel (postop.) | 369 | 36,4 | 25,8 | 62,2 | 41,416 | 5,854 |
| Differenz | 369 | 37,80 | -13,30 | 24,50 | 3,950 | 4,603 |

4.2.5. Differenz des Inklinationswinkels in Abhängigkeit zum Geschlecht

Geschlechtsspezifisch betrug die mittlere Differenz der Inklinationswinkel $3,62^\circ$ ($n = 182$; $SD = 4,19^\circ$) bei den männlichen und $4,27^\circ$ ($n = 187$; $SD = 4,96^\circ$) bei den weiblichen Probanden. Der durchgeführte t-Test zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Geschlechtern ($p = 0,172$; $df = 367$; $t = -1,368$) (vgl. Tab. 8).

Tabelle 8: Differenz der Inklinationswinkel in Abhängigkeit zum Geschlecht

| | Geschlecht | N | M | SD | SEM |
|----------------------|------------|-----|--------|-------|------|
| Differenz der Winkel | 1 | 182 | 3,618 | 4,187 | ,310 |
| | 2 | 187 | 4,2733 | 4,964 | ,363 |

| | | T | df | Sig. (2-seitig) | MD | 95% KI Unterer Wert | 95% KI Oberer Wert |
|----------------------------------|-----------------------|--------|---------|-----------------|-------|------------------------|-----------------------|
| Differenz der Inklinationswinkel | Varianzen sind gleich | -1,368 | 367 | ,172 | -,655 | -1,596 | ,286 |
| | Varianzen \neq | -1,372 | 359, 75 | ,172 | -,655 | -1,594 | ,284 |

(Variablen: 1 = männlich; 2 = weiblich)

4.2.6. Seitenspezifische Differenz der Inklinationswinkel

Im Vergleich zu den geschlechtsspezifischen Ergebnissen ergaben sich ähnliche Werte ($df = 367$; $t = -1,984$). Die mittlere Differenz betrug auf der rechten Seite $3,47^\circ$ ($n = 181$; $SD = 4,63^\circ$) und auf der linken Seite $4,41^\circ$ ($n = 188$; $SD = 4,54^\circ$). Die Differenz der Winkel in Abhängigkeit von der Implantationsseite war signifikant ($p = 0,048$) und umfasste ein 95%-Konfidenzintervall (KI) von $-1,886$ bis $-0,009$. Auf der linken Seite zeigte sich eine leichte Verschiebung des KI nach oben (vgl. Tab. 9).

Tabelle 9: Differenz der Inklinationswinkel in Abhängigkeit zur Seite

| | Seite | N | M | SD | SEM |
|----------------------|-------|-----|-------|-------|------|
| Differenz der Winkel | 1 | 181 | 3,467 | 4,627 | ,343 |
| | 2 | 188 | 4,414 | 4,543 | ,331 |

| | | T | df | Sig. (2-seitig) | MD | 95% KI Unterer Wert | 95% KI Oberer Wert |
|--|--------------------------|--------|--------|-----------------|-------|---------------------|--------------------|
| Differenz der Inklinationswinkel sind gleich | In-Varianzen sind gleich | -1,984 | 367 | ,048 | -,947 | -1,886 | -,0086 |
| | Varianzen \neq | -1,984 | 365,83 | ,048 | -,947 | -1,886 | -,0082 |

(Variablen: 1 = rechts; 2 = links)

4.3. Nicht parametrische Tests

4.3.1. Test auf Normalverteilung

Intraoperativ wies der Winkel eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung auf, die auf einem Signifikanzniveau von 0,01 (zweiseitig) bestätigt wurde. Im Gegensatz dazu konnte für die postoperativen Werte eine Normalverteilung akzeptiert werden ($p > 0,05$). Der postoperative Winkel zeigte auf einem Signifikanzniveau von 0,200 (zweiseitig) keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung. Zur Veranschaulichung der Verteilung wurde auf die dargestellten Histogramme verwiesen, die beide einer Normalverteilung ähnelten.

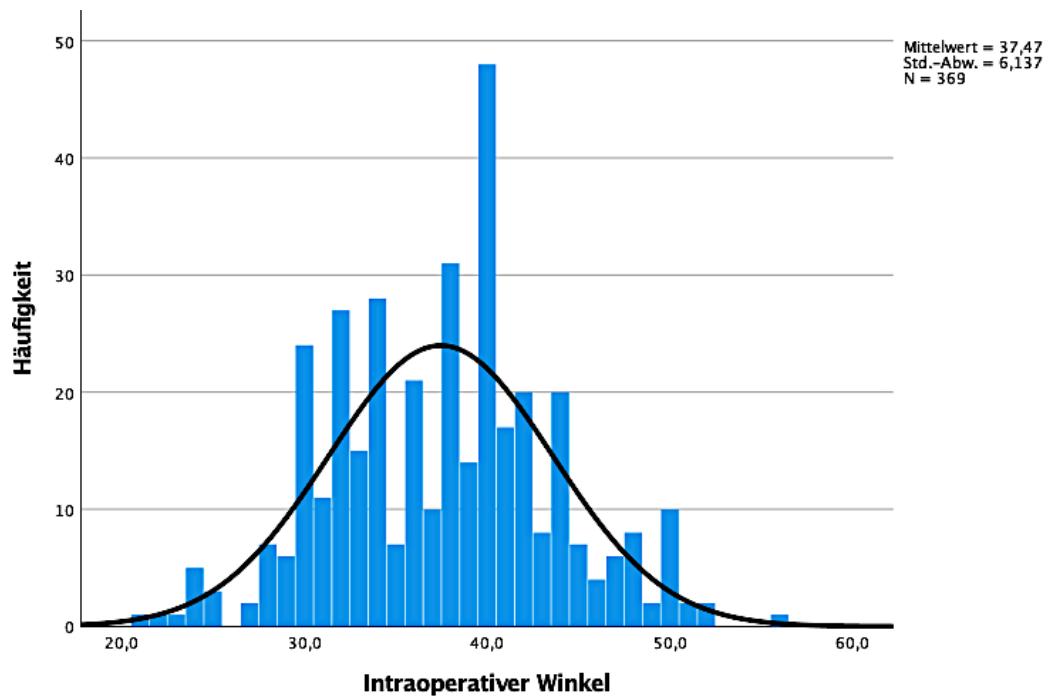


Abbildung 35: Normalverteilungskurve der intraoperativen Winkel

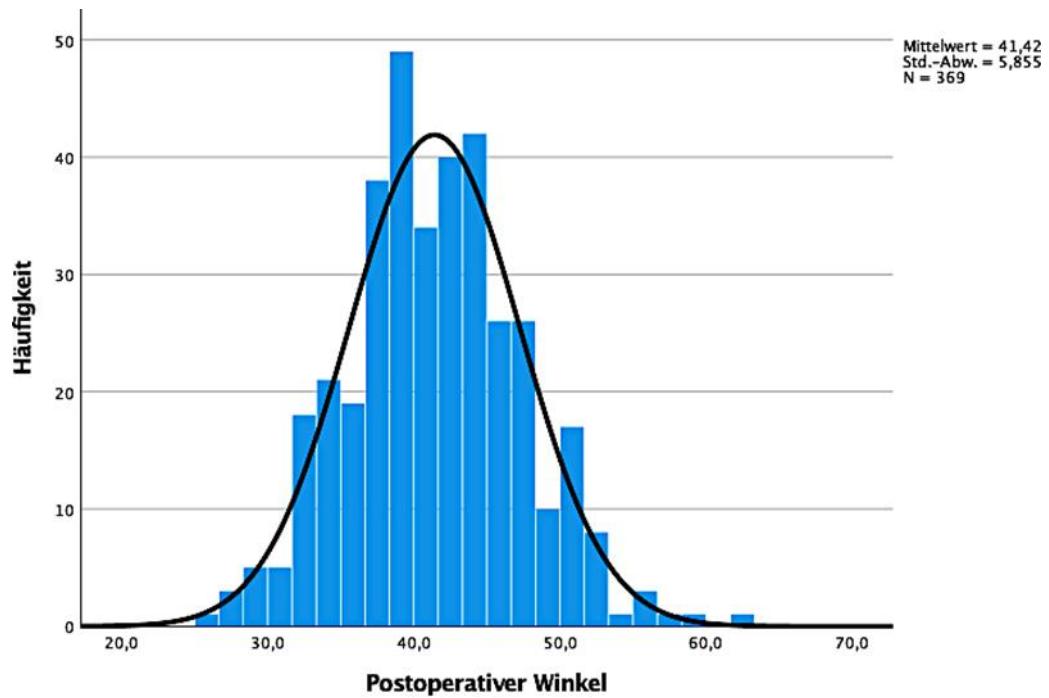


Abbildung 36: Normalverteilungskurve der postoperativen Winkel

Die Analyse der Schiefe und Kurtosis der Daten zeigte, dass keine signifikante Abweichung von der Normalverteilung vorlag. Sowohl die intraoperativen als auch die postoperativen Werte waren in Bezug auf Schiefe und Kurtosis nicht signifikant abweichend (5%-Niveau). Somit bestätigte sich eine Normalverteilung der Werte, da die 5%-Toleranz in beiden Fällen nicht überschritten wurde.

4.3.2. Prüfung der Differenz der Inklinationswinkel

Residuen bezeichnen die Differenzen zwischen berechneten und tatsächlichen Werten. Mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Tests konnte geprüft werden, ob die Residuen einer Normalverteilung entsprechen. Der Test ergab eine signifikante Abweichung der Differenzen der Inklinationswinkel voneinander ($p < 0,001$), was gegen eine Normalverteilung sprach. Dies ließ sich durch den spitzwinkligen Verlauf der Kurve sowie durch die berechneten Werte für Kurtosis und Schiefe begründen. Jedoch deutete eine visuelle Inspektion auf eine annähernd normalverteilte Kurve hin, die einem „glockenförmigen Verlauf“ („Gaußsche Glockenkurve“) ähnelte [120].

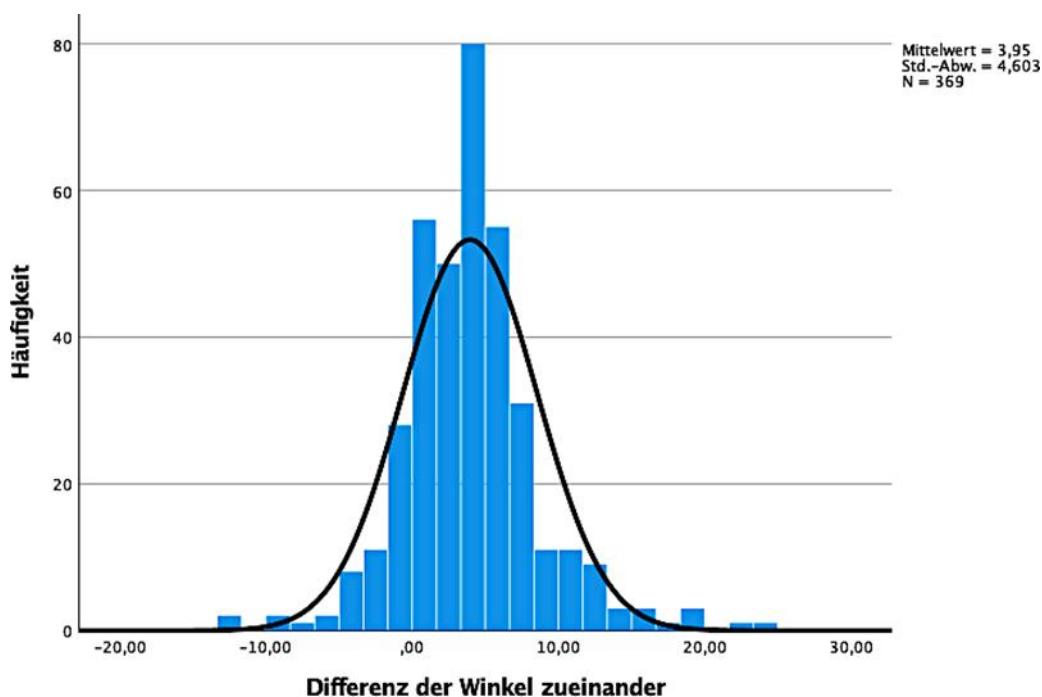


Abbildung 37: Differenz der Winkel zueinander

4.3.3. Inklinationswinkel in Abhängigkeit zum Geschlecht

Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Geschlecht und Pfanneninklination ergab sich bei den männlichen Probanden eine Differenz zwischen intraoperativen (IRI) und postoperativen Neigungswinkeln (PRI) (DRI) von durchschnittlich $3,62^\circ$. Die Winkel lagen intraoperativ bei durchschnittlich $37,16^\circ$ ($SD = 6,41^\circ$, Max = 56° , Min = $21,0^\circ$) und postoperativ bei $40,78^\circ$ ($SD = 5,58^\circ$, Max = $56,7^\circ$, Min = $28,1^\circ$). Die Mediane betrugen $37,5^\circ$ (intraop.) und $40,4^\circ$ (postop.).

Bei den weiblichen Probanden zeigte sich ein intraoperativer Durchschnittswinkel von 37,76° (SD = 5,86°, Max = 52°, Min = 23,0°) und ein postoperativer Winkel von 42,04° (SD = 6,06°, Max = 62,2°, Min = 25,8°), was zu einer Differenz von 4,28° führte. Die Medianwerte lagen bei 38° (intraop.) und 42,2° (postop.).

4.4. Korrelationen nach Pearson und Zusammenhänge

4.4.1. Korrelationsanalyse der Inklinationswinkel in Abhängigkeit vom Alter

Die Untersuchung der Inklinationswinkel in Abhängigkeit vom Alter zeigte eine schwach negative Korrelation mit $r = -0,106^\circ$ intraoperativ und $r = -0,130^\circ$ postoperativ. Beide Werte waren auf einem Signifikanzniveau von 0,05 (zweiseitig) signifikant (vgl. Tab. 10). Die grafischen Darstellungen (vgl. Abb. 38, 39) verdeutlichen, dass die Winkelkorrektur nicht altersabhängig war. Die Differenz der Winkel (DRI) zeigte mit $r = -0,025^\circ$ einen sehr niedrigen Korrelationskoeffizienten und keinen signifikanten Zusammenhang ($p = 0,633^\circ$) (vgl. Abb. 40, Tab. 10).

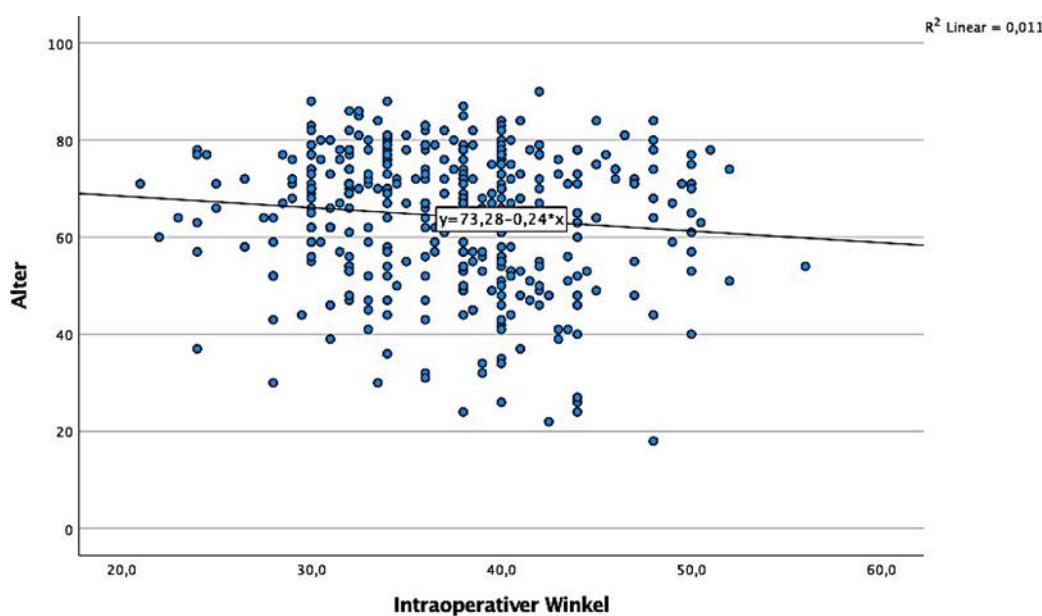


Abbildung 38: Korrelation des intraoperativen Winkels in Abhängigkeit zum Alter

Variablen:

y = Vorhergesagter Wert (Schätzung; Abweichungen vom echten Wert möglich)

a = 73,28 (Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse)

b = -0,24 (Regressionskoeffizient bzw. Steigung der Geraden) x = Wert des intraoperativen Winkels

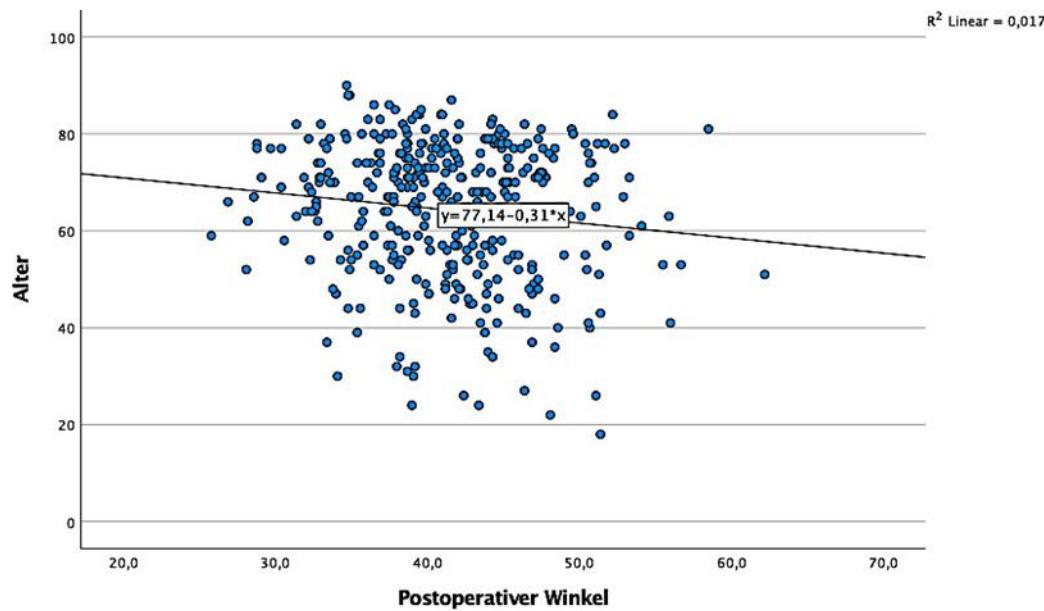


Abbildung 39: Korrelation des postoperativen Winkels zum Alter

Variablen:

y = Vorhergesagter Wert

$a = 77,14$ (Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse)

$b = -0,31$ (Regressionskoeffizient bzw. Steigung der Geraden) x = Wert des postoperativen Winkels

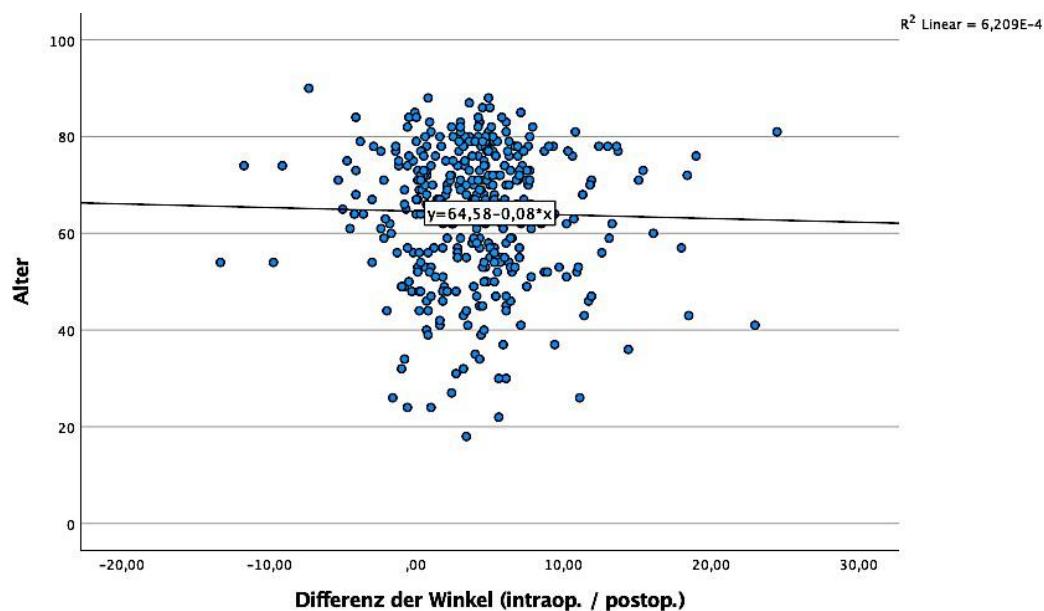


Abbildung 40: Differenz der Winkel in Abhängigkeit zum Alter Variablen:

y = Vorhergesagter Wert

$a = 64,58$ (Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse)

$b = -0,08$ (Regressionskoeffizient bzw. Steigung der Geraden) x = Differenz der Winkel (intraop. / postop.)

4.4.2. Korrelation des intraoperativen Winkels zum postoperativen Winkel

Es wurde eine mittlere Korrelation festgestellt, die auf einem Signifikanzniveau von 0,01 (zweiseitig) signifikant war. Die Differenzen der Winkel wiesen in Abhängigkeit von den intraoperativen Inklinationswinkeln ein erhebliches Streuungsmaß auf, das durch Ausreißer geprägt war. Die intraoperativen Werte reichten von einem Minimalwert von 21,0° bis zu einem Maximalwert von 56,0° ($SD = 6,14$). Der Schwankungsbereich (Range) der separat betrachteten Inklinationswinkel war im Vergleich zur Differenz größer. Die Differenz der Winkel lag mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % in einem Bereich zwischen 3,48° und 4,42° und wies eine Standardabweichung von $SD = 4,60$ auf. Der Mittelwert der Differenzen betrug 3,95°. Dies stand in Korrelation zu der erheblichen Streuung der Differenzen im Verhältnis zum Schwankungsmaß der intra- und postoperativen Inklinationswinkel (vgl. Tab. 7).

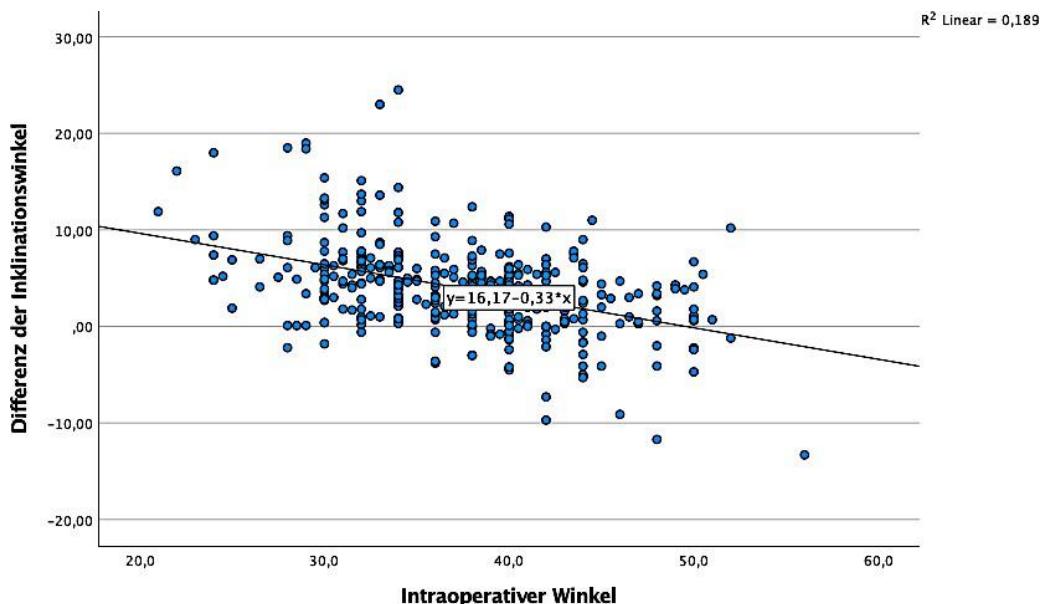


Abbildung 41: Differenz der Winkelinklination in Abhängigkeit zu den intraoperativen Winkeln

Variablen:

y = Vorhergesagter Wert (hier: Differenz der Inklinationswinkel)

a = 16,17 (Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse)

b = -0,33 (Regressionskoeffizient bzw. Steigung der Geraden) x = intraoperativer Winkel

Tabelle 10: Korrelationsanalyse

| | | Intraop. Winkel | Postop. Winkel | Alter | Differenz-Winkel |
|-----------------|-------------------------|-----------------|----------------|---------|------------------|
| Intraop. Winkel | Pearson Korrelation (r) | -1 | 0,706** | -0,106* | -0,435** |
| | Sig. (2-seitig) | | 0,000 | 0,043 | 0,000 |
| | N | 369 | 369 | 369 | 369 |
| Postop. Winkel | Pearson Korrelation (r) | -0,706** | 1 | -0,113* | 0,330** |
| | Sig. (2-seitig) | 0,000 | | 0,012 | 0,000 |
| | N | 369 | 369 | 369 | 369 |
| Alter | Pearson Korrelation (r) | -0,106* | -0,130* | 1 | -0,025 |
| | Sig. (2-seitig) | 0,043 | 0,012 | | 0,633 |
| | N | 369 | 369 | 369 | 369 |
| Differenzwinkel | Pearson Korrelation (r) | -0,435** | 0,330** | -0,025 | 1 |
| | Sig. (2-seitig) | 0,000 | 0,000 | 0,633 | |
| | N | 369 | 369 | 369 | 369 |

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

4.5. Lineare Regressionsanalyse

Sofern die Winkelabweichung als Funktion des intraoperativen Winkels berechnet wurde, war es möglich, einen Standard für den Korrekturfaktor in definierten Bereichen zu spezifizieren. Auch das Ausmaß der Winkelkorrektur ließ Rückschlüsse zu. Es zeigte sich, dass mit zunehmendem intraoperativem Winkel die Differenz der Inklinationswinkel zueinander abnahm. Diese Aussage blieb konsistent und wurde auch grafisch verdeutlicht (vgl. Abb. 41). Ursache hierfür war die negative Korrelation. Die Differenz der Inklinationswinkel stand in einem

Abhängigkeitsverhältnis zum intraoperativen Winkel (vgl. Tab. 12). Dabei wurde der Differenzwinkel als abhängige Variable und der intraoperative Winkel als unabhängige Variable definiert.

Zur Berechnung der Winkelabweichung bzw. Differenz als Funktion des intraoperativen Winkels diente folgende lineare Regressionsgleichung: $y = a + bx$. Hierbei stellt y den Differenzwinkel zwischen der intraoperativen und postoperativen Inklination dar, während x den Wert des intraoperativen Winkels repräsentiert. Die Konstanten $a = 16,17$ (Schnittpunkt der Geraden mit der y -Achse) und der Regressionskoeffizient $b = -0,326$ (Steigung der Geraden) sind anhand der Tabelle 13 dargestellt. Die Funktionsgleichung ermöglicht Vorhersagen für den Wert von y in Abhängigkeit der Variablen x bzw. durch Umstellung der Gleichung umgekehrt ($x = a + by$). Der Korrelationskoeffizient $R = 0,435$ beschreibt die Korrelation zwischen den berechneten und vorhergesagten Werten. Der standardisierte Beta-Koeffizient mit einem Wert von $-0,435$ zeigt an, dass eine Änderung des intraoperativen Winkels um 1° zu einer Veränderung des Differenzwinkels um $0,4^\circ$ führen würde (vgl. Tabellen 12, 13).

Das R-Quadrat mit einem Wert von 18,9 % gibt den Grad der durch den intraoperativen Winkel erklären Varianz des Differenzwinkels an (vgl. Tabelle 12). Residuen, die Ergebnisse der Regression, verdeutlichen die Differenzen zwischen tatsächlichen und berechneten Werten. Die lineare Regressionsanalyse zeigte eine gewisse Abhängigkeit der Differenz vom intraoperativen Winkel (vgl. Tabelle 13). Anhand eines bestimmten intraoperativen Winkels ließen sich Rückschlüsse auf die Differenz der Winkel ziehen ($x = a + by$). Durch die Berechnung der Differenz der Inklinationswinkel war es möglich, die jeweilige Höhe des intraoperativen Winkels zu ermitteln. Zudem ließen sich Rückschlüsse ziehen, ob ein festgelegter Einheitswinkel sinnvoll ist oder ob eine differenzierte Anpassung des intraoperativen Inklinationswinkels erforderlich wäre.

Im weiteren Verlauf wurde die Prüfung vermeintlicher Definitionsbereiche der intraoperativen Winkelkorrektur dargestellt, um eine bessere Anpassung zu ermöglichen. Zur praktikablen Einteilung der Differenzen wurde eine Dreiteilung der Stichprobe ($n = 367$) als optimal angesehen. Um diese statistisch zu begründen, wurde ein Vergleich der Mittelwerte durchgeführt. Es konnten Winkelbereiche zwischen über 31° und unter 43° identifiziert werden (vgl. Tabelle 11). So korrelierten Differenzen von $6,0^\circ$ zwischen den Winkeln mit einem intraoperativen Inklinationswinkel von $31,20^\circ$ oder kleiner. Für einen Korrekturfaktor von $4,0^\circ$ müsste der intraoperative Winkel etwa $37,34^\circ$ betragen. Letztlich sollte die Korrektur bei Winkeln von ca. $43,0^\circ$ oder größer auf etwa $2,0^\circ$ reduziert werden. Daraus wurde ersichtlich, dass die intraoperative Winkelkorrektur innerhalb bestimmter Bereiche entweder erweitert oder reduziert werden sollte. Bei der Gesamtfallzahl ($n = 367$), unter Eliminierung von Ausreißern, war in 64,9 % der Fälle ($n = 238$) ein Korrekturfaktor von etwa 4° ausreichend. In 16,6 % ($n = 61$) und 18,5 % ($n = 68$) der Fälle war jedoch eine Anpassung der Korrektur erforderlich (vgl. Tab. 14). Die Boxplots der

Winkelkorrekturen zeigten weiterhin eine starke Streuung, jedoch konnte eine Kategorisierung der intraoperativen Winkel vorgenommen werden. Einzelne Ausreißer blieben bestehen und hatten eine große Hebelwirkung auf die Regression. Die Frage, ob für solche Ausnahmefälle eine weitere, individuellere Differenzierung der Winkelkorrektur notwendig wäre, wurde aufgeworfen. Diese Vorgehensweise wäre jedoch wenig praktikabel, da differenziertere Korrekturen im Streuungsmaß untergehen könnten.

Die Boxplots zeigten eine kategoriale Aufteilung der intraoperativen Winkel in drei Untergruppen. Diese korrelierten mit den mathematischen Ergebnissen verschiedener Korrekturen (+2°, +4°, +6°), die den gemessenen intraoperativen Inklinationswinkeln hinzugefügt werden sollten (vgl. Abb. 42 und 43). Der dargestellte Boxplot (vgl. Abb. 44) verdeutlichte den intraoperativen Winkel (weiß) sowie die verschiedenen Korrekturen (+2°, +4°, +6°) in Bezug auf den intraoperativen Inklinationswinkel (blau). Die abgebildeten Punkte stellten Ausreißer dar, während die gestrichelte Linie den Mittelwert des postoperativen Winkels bei 41,4° kennzeichnete.

Die durchgeführten t-Tests zeigten, dass die Zuschläge von 6° sowie 2° signifikant von diesem Mittelwert abwichen ($p < 0,001$). Diese signifikanten Abweichungen waren plausibel, da die Korrektur von 6° und 2° für kleinere bzw. größere Winkel galt. Bei Verwendung eines Korrekturfaktors von etwa 4° für den intraoperativen Winkel bestand jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen der intra- und postoperativen Inklinationsmessung ($p = 0,835$). Die Differenzgröße ließ sich bei einer Korrektur von 2° auf den intraoperativen Winkel in Korrelation zum postoperativen Winkel mit einem t-Wert von -8,554 (SD = 4,603; df = 368) beschreiben. Bei einer Korrektur von 6° ergab der Test auf gepaarte Differenzen einen t-Wert von 8,138 (SD = 4,603; df = 368). Für einen Korrekturfaktor von 4° betrug der t-Wert -0,208 (vgl. Tab. 16).

Abschließend zeigten die Tests innerhalb der „dreigeteilten“ Stichprobe, dass die jeweiligen Zuschläge für die entsprechenden Gruppen keine signifikanten Unterschiede zwischen dem korrigierten intraoperativen und dem postoperativen Winkel erzeugten (vgl. Tab. 16 und 17). Dies galt jedoch nicht in Bezug auf die jeweils anderen Teile der Stichprobe. So ergaben sich bei einem intraoperativen Winkel von $\leq 31^\circ$ und einer Korrektur von +4° (SD = 5,038; $t = 1,115$; df = 60) oder +2° (SD = 5,038; $t = 7,315$; df = 60) signifikante Abweichungen ($p < 0,001$). Eine Korrektur von +6° lehnte eine signifikante Abweichung mit $p = 0,269$ ab (SD = 5,038; $t = 1,115$; df = 60).

Für die zweite Subgruppe mit einem intraoperativen Winkel zwischen 32° und 42° galt eine Korrektur von +6° (SD = 4,082; $t = -7,623$; df = 239) und +2° (SD = 4,082; $t = 7,557$; df = 239) als signifikant ($p < 0,01$, 2-seitig). Bei einem intraoperativen Winkel von $\geq 43^\circ$ waren Korrekturen von +6° (SD = 4,494; $t = -8,586$; df = 67) und +4° (SD = 4,494; $t = -4,916$; df = 67) mit $p < 0,001$ ebenfalls signifikant. Dagegen zeigte die Addition eines Korrekturfaktors von +2° (SD = 4,494; $t = -1,247$; df = 67; $p = 0,217$) keinen signifikanten Unterschied.

Tabelle 11: Mittelwert-Vergleich der intraoperativen Winkel

| Dreiteilung | N | Min. | Max. | M |
|-------------|-----|------|------|--------|
| 1,00 | 61 | 21,0 | 31,0 | 28,541 |
| 2,00 | 238 | 31,5 | 42,5 | 37,223 |
| 3,00 | 68 | 43,0 | 56,0 | 46,441 |
| Insgesamt | 367 | 21,0 | 56,0 | 37,448 |

Tabelle 12: Abhängigkeit von Winkelkorrektur und intraoperativen Winkel

| Modell | R | R-Quadrat | Korrigiertes R-Quadrat | Standardfehler des Schätzers |
|--------|-------------------|-----------|------------------------|------------------------------|
| 1 | ,443 ^a | ,197 | ,194 | 3,927 |

Variablen:

- a. Einflussvariablen: (Konstante), Intraoperativer Winkel
- b. Abhängige Variable: Differenz der Winkel zueinander

Tabelle 13: Regressionsanalyse auf Basis der Funktionsgleichung: $y = a+bx$

| Koeffizienten ^a | | | | | |
|---|--|----------|---------------------------------------|--------|-------|
| Modell | Standardisierte Koeffizienten | | Standardisierte Koeffizienten Beta | T | Sig. |
| | RegressionskoeffizientB | t-Fehler | | | |
| 1 | (Konstante) | 16,172 | 1,338 | 12,083 | 0,000 |
| | Intraoperativer Winkel Int- raoperativer Winkel | -0,326 | 0,035-0,435 | -9,253 | 0,000 |
| a. Abhängige Variable: Differenz der Winkel zueinander | | | | | |

(Variablen: (a = 16,17, b = -0,326, x = intraoperativer Winkel))

Tabelle 14: Häufigkeitsverteilung

| | Häufigkeit | % |
|--|------------|-------|
| (1) Intraop. Winkel $\leq 31^\circ$ | 61 | 16,6 |
| (2) Intraop. Winkel $32^\circ - 42,9^\circ$ | 238 | 64,9 |
| (3) Intraop. Winkel $\geq 43^\circ$ | 68 | 18,5 |
| Gesamt | 367 | 100,0 |

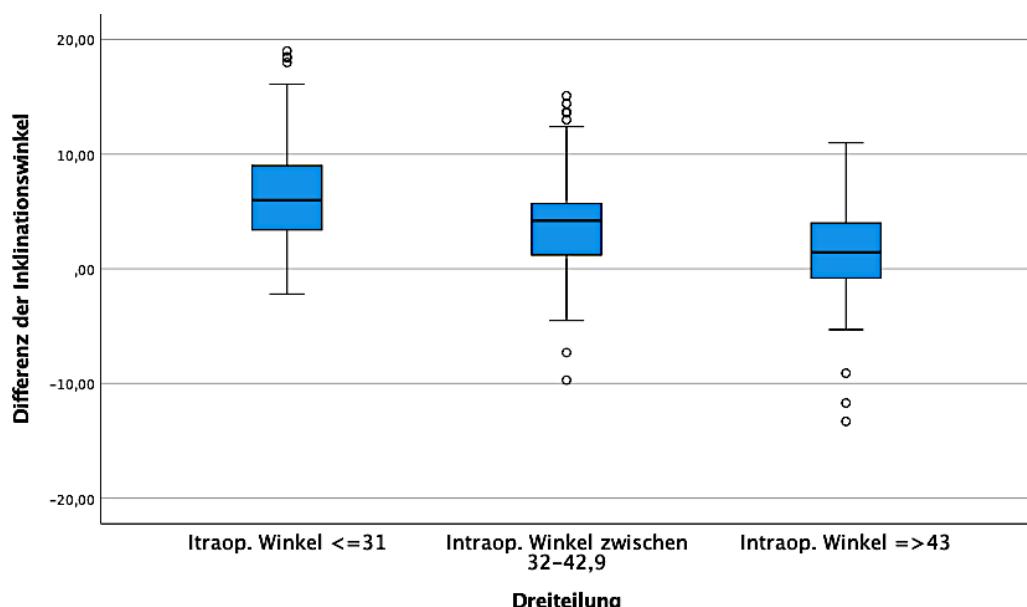


Abbildung 42: Kategoriale Darstellung der intraoperativen Winkel in Abhängigkeit zur Differenz der Inklinationswinkel

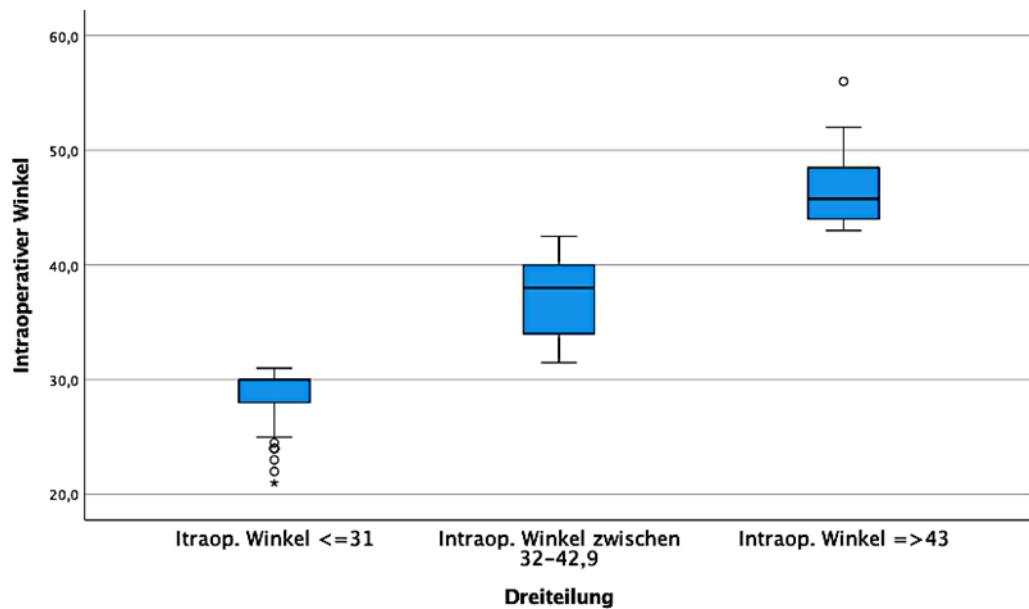


Abbildung 43: Kategorische Darstellung der intraoperativen Winkel in Abhängigkeit zur intraoperativen Winkelinklination

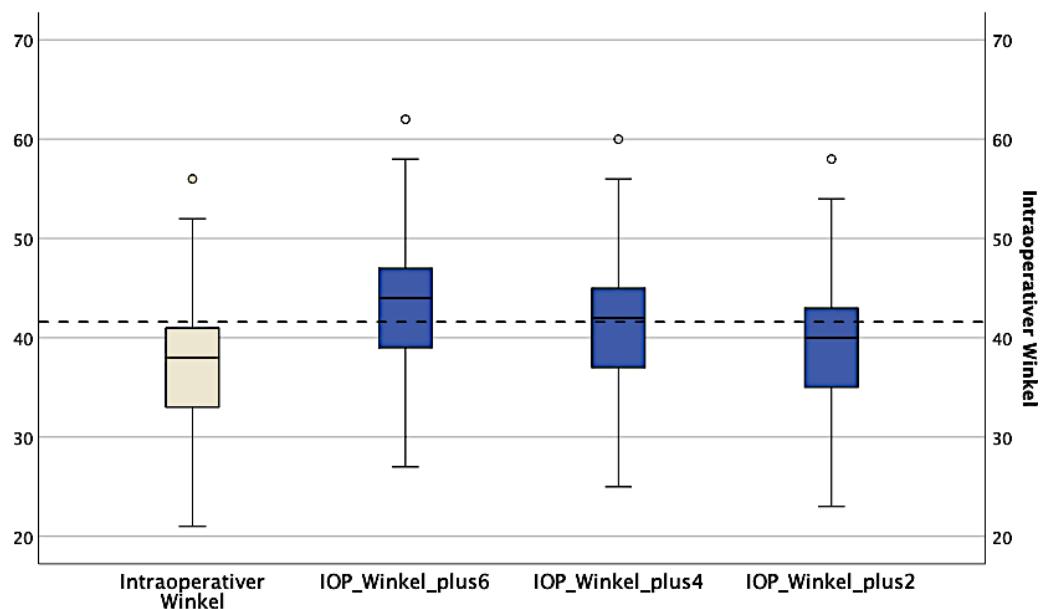


Abbildung 44: Dreiteilung der Winkelkorrektur des intraoperativen Winkels korrelierend zum postoperativen Inklinationswinkel

Tabelle 15: t-Test bei gepaarten Stichproben

| | | M | N | SD | Standardfehler des Mittelwertes | Korrelation |
|-------------|-----------------------------|---------|-----|---------|---------------------------------|-------------|
| Paaren 1 | Postop. Winkel | 41,416 | 369 | 5,8549 | ,3048 | |
| | Intraop. Win- kel +6° | 43,4661 | 369 | 6,13709 | ,31948 | ,706 |
| Paaren 2 | Postop. Winkel | 41,416 | 369 | 5,8549 | ,3048 | |
| | Intraop. Win- kel +4° | 41,466 | 369 | 6,13709 | ,31948 | ,706 |
| Paaren 3 | Postop. Winkel | 41,416 | 369 | 5,8549 | ,3048 | |
| | Intraop. Win- kel +2° | 39,466 | 369 | 6,13709 | ,31948 | ,706 |

Tabelle 16: t-Test bei gepaarten Stichproben: Gepaarte Differenzen

| | | Mittelwert | SD | SD des MW | 95% KI der Diffe- renz Untere | 95% KI der Diffe- renz Obere | T | df | Sig (2sei- tig) |
|----------|--|------------|-------|--------------|--|------------------------------------|-------|-----|--------------------|
| Paaren 1 | Postop. Winkel Intraop. Winkel +6° | -2,0498 | 4,603 | ,2396 | -2,521 | -1,578 | 8,554 | 368 | ,000 |
| Paaren 2 | Postop. Winkel Intraop. Winkel +4° | -,04986 | 4,603 | ,2396 | -,521 | ,421 | -,208 | 368 | ,835 |
| Paaren 3 | Postop. Winkel Intraop. Winkel +2° | 1,9501 | 4,603 | ,2396 | 1,478 | 2,421 | 8,138 | 368 | ,000 |

Tabelle 17: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel $\leq 31^\circ$)

| | | Mittelwert | N | SD | Signifikanz | Korrelation |
|-------------|------------------------------------|------------|----|-------|-------------|-------------|
| Paaren 1 | Postop. Winkel | 35,261 | 61 | 5,154 | ,022 | ,294 |
| | Intraop. Win- kel $+6^\circ$ | 34,541 | 61 | 2,571 | | |
| Paaren 2 | Postop. Winkel | 35,261 | 61 | 5,154 | ,022 | ,294 |
| | Intraop. Win- kel $+4^\circ$ | 32,541 | 61 | 2,571 | | |
| Paaren 3 | Postop. Winkel | 35,261 | 61 | 5,154 | ,022 | ,294 |
| | Intraop. Win- kel $+2^\circ$ | 30,541 | 61 | 2,571 | | |

Tabelle 18: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel zwischen 32 – 42°)

| | | Mittelwert | N | SD | Signifikanz | Korrelation |
|-------------|--|----------------------|----------------|--------------------|-------------|-------------|
| Paaren 1 | Postop. Winkel Intraop. Win- kel +6° | 41,183 43,191 | 240 240 | 4,287 3,261 | ,000 | ,442 |
| Paaren 2 | Postop. Winkel Intraop. Win- kel +4° | 41,183 41,191 | 240 240 | 4,287 3,261 | ,000 | ,442 |
| Paaren 3 | Postop. Winkel Intraop. Win- kel +2° | 41,183 39,191 | 240 240 | 4,287 3,261 | ,000 | ,442 |

Tabelle 19: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel $\geq 43^\circ$)

| | | Mittelwert | N | SD | Signifikanz | Korrelation |
|----------|-----------------------------|------------|----|-------|-------------|-------------|
| Paaren 1 | Postop. Winkel | 47,762 | 68 | 4,833 | ,000 | ,413 |
| | Intraop. Win- kel +6° | 52,441 | 68 | 2,907 | | |
| Paaren 2 | Postop. Winkel | 47,762 | 68 | 4,833 | ,000 | ,413 |
| | Intraop. Win- kel +4° | 50,441 | 68 | 2,907 | | |
| Paaren 3 | Postop. Winkel | 47,762 | 68 | 4,833 | ,000 | ,413 |
| | Intraop. Win- kel +2° | 48,441 | 68 | 2,907 | | |

Tabelle 20: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel $\leq 31^\circ$)

| | | Mittelwert | SD | SD des MW | 95% KI der Diffe- renz Untere | 95% KI der Diffe- renz Obere | T | df | Sig (2- seitig) |
|----------|---|------------|-------|--------------|--|------------------------------------|-------|----|--------------------|
| Paaren 1 | Postop. Winkel Intraop. Winkel $+6^\circ$ | ,7196 | 5,038 | ,645 | -,570 | 2,010 | 1,115 | 60 | ,269 |
| Paaren 2 | Postop. Winkel Intraop. Winkel $+4^\circ$ | 2,719 | 5,038 | ,645 | 1,429 | 4,010 | 4,215 | 60 | ,000 |
| Paaren 3 | Postop. Winkel Intraop. Winkel $+2^\circ$ | 4,719 | 5,038 | ,645 | 3,429 | 6,010 | 7,315 | 60 | ,000 |

Tabelle 21: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel zwischen 32 – 42°)

| | | Mittelwert | SD | SD des MW | 95% KI der Diffe- renz Untere | 95% KI der Diffe- renz Obere | T | df | Sig (2- seitig) |
|----------|--|------------|-------|--------------|--|------------------------------------|-------|-----|--------------------|
| Paaren 1 | Postop. Winkel Intraop. Winkel +6° | -2,008 | 4,082 | ,263 | -2,527 | -1,489 | 7,623 | 239 | ,000 |
| Paaren 2 | Postop. Winkel Intraop. Winkel +4° | -,0087 | 4,082 | ,263 | -,527 | ,510 | -,033 | 239 | ,974 |
| Paaren 3 | Postop. Winkel Intraop. Winkel +2° | 1,991 | 4,082 | ,263 | 2,510 | 2,510 | 7,557 | 239 | ,000 |

Tabelle 22: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel $\geq 43^\circ$)

| | | Mittelwert | SD | SD des MW | 95% KI der Differenz Untere | 95% KI der Differenz Obere | T | df | Sig (2 seitig) |
|----------|---|------------|-------|-----------|--------------------------------|----------------------------|-------|----|----------------|
| Paaren 1 | Postop. Winkel Intraop. Winkel $+6^\circ$ | -4,679 | 4,494 | ,545 | -5,767 | -3,591 | 8,586 | 67 | ,000 |
| Paaren 2 | Postop. Winkel Intraop. Winkel $+4^\circ$ | -2,679 | 4,494 | ,545 | -3,767 | -1,591 | 4,916 | 67 | ,000 |
| Paaren 3 | Postop. Winkel Intraop. Winkel $+2^\circ$ | -,679 | 4,494 | ,545 | -1,767 | ,408 | 1,247 | 67 | ,217 |

5. Diskussion

Die Annahme, dass die Pfanneninklination einen essenziellen Einfluss auf das spätere Outcome nach einer Hüft-TEP-Implantation hat, wird im Rahmen der vorliegenden Studienarbeit untersucht. In der Literatur wird darauf hingewiesen, dass eine Fehlpositionierung der Pfanne bei einer Hüft-TEP-Implantation mit einem erhöhten Risiko für Luxationen, vorzeitigen Prothesenverschleiß, vermehrtem Abrieb und Implantat-Impingement assoziiert ist. Dies führt zu Komplikationen wie einem eingeschränkten Bewegungsausmaß und der Notwendigkeit operativer Revisionen^[3]. Dementsprechend scheint die Pfannenorientierung einen wesentlichen Einfluss auf das kurz- und langfristige Outcome nach einer Hüft-TEP-Implantation zu haben [71].

Innerhalb der vorliegenden Studie wurden Korrekturfaktoren verglichen, um das funktionelle Langzeitergebnis der Patientinnen und Patienten durch eine Anpassung des intraoperativen Inklinationswinkels zu verbessern. Auf Grundlage des in der Arbeit ermittelten Korrekturfaktors (CF) wurde die Hypothese aufgestellt, dass der Vergleich und die Anwendung einer korrigierten Pfanneninklination die Funktionalität des Hüftgelenks steigern und die Wirksamkeit optimieren kann. Ziel der Ergebnisse war es, eine Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen den Komponenten der Hüft-TEP-Implantation aufzuzeigen, um Revisionen zu minimieren und die Überlebenszeit der Hüftprothesen zu maximieren.

Die vorliegende Übersichtsarbeit stellt eine sorgfältig durchgeführte und kontrollierte Studie dar, bei der anonymisierte Patientendaten verwendet wurden. Der kontrollierte Ansatz beinhaltete, dass ausschließlich primäre Hüft-TEP-Implantationen eingeschlossen wurden, während Revisionseingriffe, proximale Femur-Implantationen, verschraubte Pfannen, Bursch-Schneider-Pfannen und Brehm-Schaft-Implantationen ausgeschlossen blieben. Diese spezifische Auswahl der Patientendaten birgt jedoch das Risiko eines möglichen Selection Bias. Um diesen zu minimieren, könnten Strukturmerkmale der einzelnen Gruppen genauer untersucht werden.

Im Rahmen der Analyse wurde die intraoperative Pfanneninklination anhand von a.p.-Röntgenbildaufnahmen des liegenden Patienten beurteilt und mit dem postoperativen Pfannensitz in aufrechter Position verglichen. Dabei wurde ein signifikanter Unterschied zwischen intra- und postoperativen Inklinationswinkel bei primären Hüft-TEP-Implantationen festgestellt. Die Literatur legt nahe, dass die intraoperative Einschätzung der Pfannenorientierung durch die Anwendung eines Korrekturfaktors optimiert werden kann. Auch die von Rueckl et al. 2016 durchgeführte Vorstudie (n = 100) bestätigte unter der Annahme, dass bei primären Hüft-TEP-Implantationen eine Korrektur der fluoroskopisch gemessenen Pfanneninklination erforderlich sei, die Notwendigkeit eines zuverlässigen und reproduzierbaren Korrekturfaktors^[5, 74, 77].

Es wurde einerseits untersucht, ob der Korrekturfaktor reproduzierbar ist, und andererseits, ob

dieser unabhängig vom verwendeten C-Bogen-Modell sowie vom chirurgischen Ansatz bleibt. Die Vergleichsstudie von Rueckl et al. gab eine intraoperative Standardkorrektur von $4,9^\circ$ ($SD = 2,5^\circ$) an. Dadurch konnte eine sichere postoperative radiologische Winkelinklinierung (PRI) bzw. die Lage der Pfanne bestimmt werden. Um den klinischen Bedingungen möglichst realitätsnah zu entsprechen, basierten alle Messungen innerhalb der Studie von Rueckl et al. auf einfachen Röntgenbildern. Zudem wurde darauf hingewiesen, dass stereometrische Effekte unvermeidbar seien und bei der Pfannenpositionierung berücksichtigt werden sollten.

Die Untersuchungen von Rueckl et al. schlossen Variablen wie Geschlecht, Alter, intra- und postoperativen Inklinationswinkel sowie den patientenspezifischen BMI mit ein. In der hier vorliegenden Studie wurde das Gewicht bzw. der BMI außer Acht gelassen, jedoch die Implantationsseite zusätzlich berücksichtigt. Laut Rueckl et al. sei die Anwendung eines Korrekturfaktors von plus $4,9^\circ$ auf einen definierten Bereich anwendbar. Mathematische Ergebnisse zeigten verschiedene Korrekturen ($+2^\circ$, $+5^\circ$, $+6^\circ$), die auf die intraoperativ gemessenen Winkel addiert werden sollten. Dabei ist die korrekte Ausrichtung des Beckens entscheidend für die Positionierung der Röntgenpfanne. Angestrebt wurde eine radiologische Inklinierung (RI) auf intraoperativen Röntgenbildern (IF-Röntgenbilder) mit einer Neigung von $35\text{--}40^\circ$ [5, 68].

Zur Ermittlung eines geeigneten CF für den vorliegenden Datensatz wurden drei Korrekturszenarien untersucht. Es erfolgte die Addition von 2° , 4° und 6° zur intraoperativen radiologischen Neigung (IRI) der gesamten Studienpopulation. Jede der drei Variablen wurde anhand der postoperativen radiologischen Neigung (PRI) mit t-Tests für abhängige Variablen analysiert. Nur eine Korrektur von ca. 4° zeigte keine statistisch signifikante Abweichung beim Test der korrigierten IRI gegen PRI ($p = 0,835$), was als erfolgreiche Korrektur gewertet wurde. Der durch die vorliegende Arbeit ermittelte Korrekturfaktor wichen somit um 1° von dem in der Studie von Rueckl et al. festgestellten Korrekturfaktor ab. Diese Differenz von nur 1° wurde als Bestätigung der allgemeinen Hypothese einer Korrektur interpretiert.

Es ist jedoch zu beachten, dass die Ergebnisse der Vorstudie von Rueckl et al. in einem Endoprothetikzentrum mit einem hohen Standardisierungsgrad ermittelt wurden und ausschließlich Operationen durch denselben erfahrenen Chirurgen durchgeführt worden waren. Im Gegensatz dazu wurden die Daten der hier vorliegenden Arbeit an einer deutschen Universitätsklinik erhoben, wo die Hüft-TEP-Implantationen durch mehrere verschiedenen Operateure durchgeführt wurden und die operativen Abläufe nicht vollständig auf die endoprothetische Versorgung standardisiert oder geplant waren. Dies führte zwangsläufig zu einer höheren Varianz der chirurgischen Ergebnisse. Folglich ergab die eigene Datenanalyse einen leicht abweichen den Korrekturfaktor. Durch die direkte Beurteilung des operativen Ergebnisses unmittelbar nach der Implantation erhält der Chirurg innerhalb des Operationssaals die Möglichkeit, gegebenenfalls notwendige Korrekturen oder Anpassungen direkt vorzunehmen. Ein intraoperatives Röntgenbild bietet eine zusätzliche Absicherung hinsichtlich des erzielten Ergebnisses

sowie der korrekten Implantation. Besonders bei der Lagerung des Patienten besteht das Risiko, dass durch Fehlrotation des Beins oder Beckens nach der frisch eingebrachten Hüft-TEP der Hüftkopf aus der Pfanne luxieren könnte. Das intraoperative Durchleuchten erleichtert zudem die Untersuchung und Darstellung knöcherner Strukturen, auch unter erschwerten Bedingungen. Dies gilt insbesondere bei Revisionsoperationen. Frühere Veröffentlichungen zeigen, dass die intraoperative Röntgenbilddiagnostik die Neigung und Pfannenpositionierung erheblich verbessern kann. Die zusätzliche Strahlenbelastung wird durch das präzisere Ergebnis einer maßgenauen Implantation relativiert.

Im klinischen Alltag gilt die a.p.-Röntgenaufnahme als eine leicht verfügbare Methode zur Bilddiagnostik und ist für die qualitative Kontrollaufnahme nach einer Hüft-TEP-Implantation unverzichtbar. Im Vergleich zu anderen radiologischen Verfahren stellt das Röntgen zudem eine kostengünstige Option dar.

Jedoch können bei der zweidimensionalen Röntgenprojektion stereometrische Störfaktoren auftreten, die zu Veränderungen der Winkelmessung führen. Daher ist eine Übereinstimmung zwischen intraoperativen Fluoroskopie-Messungen (IF) und postoperativen Standardröntgenbildern nicht zwangsläufig gewährleistet. Ein Korrekturfaktor kann dazu beitragen, stereometrische Effekte während der intraoperativen Fluoroskopie zu kompensieren [5]. Durch die Anwendung eines solchen Korrekturfaktors wird eine zu steile oder zu flache Positionierung des Hüftgelenkersatzes vermieden. Für präzisere Aussagen über die postoperative Pfannenneigung bei primärer Hüft-TEP empfiehlt sich die Verwendung eines Korrekturfaktors von 3,95° bei der intraoperativen Vermessung. Diese Empfehlung basiert auf Messungen an realitätsgetreuen, standardisierten Röntgenbildern.

Bei der zweidimensionalen Bilddiagnostik ergeben sich insbesondere folgende stereometrische Störfaktoren bei der Vermessung der Pfanne [5]:

(1) Beckenausrichtung

Ungenauigkeiten in der Beckenrotation beeinflussen sowohl die Inklination als auch die Anteversion des Acetabulums. Rotationen um die medio-laterale Körperachse, die anterior-posteriore Achse und die kranio-kaudale Achse können dabei Fehlprojektionen begünstigen. Zur Erfassung des Ausmaßes der Beckenrotation kann die Abweichung der röntgenologischen Projektion zwischen Symphysen- und Sakrummitte herangezogen werden [5, 10, 66].

(2) Zentraler Strahleneffekt

Veränderungen in der radiographischen Inklination (RI) und Anteversion (RA) entstehen, wenn das zu untersuchende Objekt aus der zentralen Röntgenstrahlachse entfernt wird [5]. Nach aktuellem Standard sollte der Röntgenstrahl auf den kranialen Oberrand der Symphysenmitte (Mittelpunkt beider Hüftgelenke) ausgerichtet sein, um translationsbedingte Fehler zu vermeiden [10].

(3) Anteversion der Hüftpfanne

Hohe Werte der Anteversion können ebenfalls die RI beeinflussen und Messvariationen verursachen [5].

(4) Technische Störfaktoren und Maßnahmen

Die genannten Störfaktoren sind technischer Natur. Eine korrekte radiologische Orientierung der Pfanne ist nur bei optimaler Beckenposition möglich. Der Röntgenstrahl muss entlang der Symphyse ausgerichtet werden. Rotationsfehler des Beckens können durch die symmetrische Orientierung am Foramen obturatorum vermieden werden. Zudem sollten identische SySi-Abstände angestrebt werden, um eine präzise Korrelation zwischen dem präoperativen Röntgenbild und der Beckenneigung zu gewährleisten [5, 71].

Eine Reduktion der Störfaktoren konnte durch Anpassung und separate Analyse der Variablen in Untergruppen erreicht werden. In Zukunft werden computergestützte Verfahren dazu beitragen, Rotationsfehler zu kompensieren. Unter Berücksichtigung der Pfannen- und Schaftkomponenten wird somit eine verbesserte Korrektur der Pfanneninklination möglich sein [71].

(5) Die Lewinnek'sche Sicherheitszone

Die sogenannte Lewinnek'sche Sicherheitszone für die Pfannenplatzierung bei Hüft-Totalendoprothesen wurde vor rund vierzig Jahren definiert. Diese beschreibt eine ideale Positionierung durch eine Inklination von $40^\circ \pm 10^\circ$ und eine Anteversion von $15^\circ \pm 10^\circ$. Fehlpositionierungen der Pfannenkomponenten außerhalb dieser Zone sind mit erhöhtem Risiko für Komplikationen wie frühzeitigen Polyethylenabrieb, Luxation oder Impingement verbunden. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Lewinnek'sche Sicherheitszone gewisse Ungenauigkeiten aufweist, insbesondere hinsichtlich des Erreichens der Zone während des operativen Eingriffs und der Vorhersagekraft für postoperative Komplikationen wie Luxationen.

(6) Über den Standard hinaus

Die Notwendigkeit, über die Lewinnek'sche Sicherheitszone hinauszugehen, wurde im Bereich der Endoprothetik erkannt, da sich diese Kriterien nicht als prädiktiv für die Stabilität der Hüftpfanne erwiesen haben. Die Aufgabe des Chirurgen besteht darin, die funktionelle Hüftposition des individuellen Patienten sowohl in alltäglichen als auch in impingementanfälligen Aktivitäten zu berücksichtigen. Durch prä- und postoperative Bildgebung können präzise Aussagen zur Positionierung der Komponenten im Operationsverlauf getroffen werden. Dieses Paradigma erfordert keine Änderung der Operationstechnik, sondern vielmehr eine stärkere Fokussierung auf die funktionelle Lage des Beckens und des Oberschenkels, um die Pfannenneigung und -anteversion in Korrelation mit der kombinierten Anteversion von Schaft und Pfanne während der Operation zu bestimmen [76]. Allgemein sollte der Individualität des Bewegungsumfangs (ROM) und der Beckenneigung mehr Beachtung geschenkt werden. Da bei der prä- und postoperativen Pfanneninklination weiterhin nicht auf standardisierte Röntgenaufnahmen verzichtet werden kann, ist eine standardisierte Positionierung der jeweiligen Patientinnen und Patienten

sowie die Bestimmung der individuellen APP erforderlich [73]. Die Analyse der Röntgendaten dieser Arbeit zeigt, unter Berücksichtigung potenzieller stereotaktischer Effekte, eine gemittelte Differenz zwischen der intra- und postoperativen radiologischen Inklination (RI) von $3,95^\circ$ bei Implantation einer primären Hüft-Totalendoprothese, mit einer starken Korrelation ($r = 0,706$). Dieser Wert von $3,95^\circ$ ist den intraoperativen Messungen hinzuzufügen. Hinsichtlich der radiographischen Inklinationsneigung sollten Zielparameter von 35° bis 40° angestrebt werden [5].

Um die Winkelinklination zu optimieren und die Variabilität zu reduzieren, könnte eine erweiterte Korrektur der intraoperativen Inklinationswinkel (IRI) erforderlich sein. Aufgrund der ausgeprägten Bandbreite des IRI innerhalb der untersuchten Stichprobe (21° bis 56°) stellt sich die Frage, ob ein einheitlicher Korrekturfaktor auf alle intraoperativen Winkel anwendbar ist, oder ob spezifische Anpassungen für besonders niedrige bzw. sehr hohe Neigungswinkel erforderlich sind. Aus diesem Grund wurde die Studienpopulation in drei Untergruppen aufgeteilt. Die erste Untergruppe umfasste intraoperative Inklinationswinkel von $\leq 31^\circ$, die zweite Gruppe beinhaltete Winkel zwischen 32° und 42° , und die dritte Gruppe schloss Winkel von $\geq 43^\circ$ ein. Jede Untergruppe wurde separat analysiert und mithilfe von t-Tests für abhängige Variablen auf signifikante Unterschiede zwischen den korrigierten IRI und den postoperativen RI (PRI) getestet. Die Subgruppenanalyse zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den IRI und PRI bei der ersten Subgruppe mit einem CF von 6° , in der zweiten Subgruppe mit einem CF von 4° und in der dritten Gruppe mit einem CF von 2° ($p = 0,269$, $p = 0,974$ und $p = 0,217$). Diese Ergebnisse wurden als erfolgreiche Korrektur des IRI interpretiert.

Diese Annahme wird durch die Ergebnisse der linearen Regressionsanalyse gestützt, die Rückschlüsse auf das Ausmaß der Winkelkorrektur ermöglichen. Die Korrelationsanalysen verdeutlichten, dass mit zunehmendem intraoperativem Winkel die Differenz der Winkel abnahm, was durch eine negative Korrelation ($r = -0,435$) erklärt werden kann (vgl. Abb. 41).

Es scheint, dass bei einem Großteil der Patientinnen und Patienten ein Korrekturfaktor von 4° ausreichend ist (vgl. Tab. 13, Abb. 36). Die Korrekturen von 6° und 2° zeigten in Abhängigkeit zu den Inklinationswinkel signifikante Testergebnisse (vgl. Tab. 16). Diese signifikante Abweichung ($p < 0,001$) erscheint plausibel, da die Korrekturen von 6° und 2° gezielt für kleinere bzw. größere Winkel angewandt werden sollten, um das operative Ergebnis weiter zu verbessern.

Ebenso wird darauf hingewiesen, dass unterschiedliche C-Bogen-Modelle verschiedene Parallaxeneffekte erzeugen können. Für den 12-Zoll-C-Bogen GE 9900 elite (GE Healthcare, Chicago, IL) wurde ein Korrekturfaktor von 5° berechnet, während für den Philips BV Endura (Philips Medical Systems DMC GmbH, Hamburg, Deutschland) ein Wert von 4° ermittelt wurde. Die Differenz der berechneten Korrekturfaktoren zwischen den beiden C-Bogen-Modellen scheint jedoch für die Übertragbarkeit der Ergebnisse in die klinische Praxis keine wesentliche

Bedeutung zu haben. Es ist zudem anzunehmen, dass der Einfluss gerätespezifischer Parallaxeneffekte auf die Differenz der Daten deutlich geringer ausfällt als der Einfluss der bedienabhangigen Varianz auf die postoperativen Ergebnisse.

In der Studie von Rueckl et al. wurde der direkte anteriore Zugang (DAA) als chirurgischer Zugang verwendet, während in der vorliegenden Untersuchung der modifizierte laterale Zugang gewählt wurde. Da beide Studien nahezu identische Korrekturfaktoren aufzeigen, kann angenommen werden, dass der Korrekturfaktor unabhängig vom chirurgischen Zugangsweg ist. Der Pooling-Effekt der Patientendaten zeigt eine hohe Evidenzqualität, sodass die Anwendung eines Korrekturfaktors bei der primären Implantation einer Hüft-Totalendoprothese das postoperative Ergebnis verbessern könnte. Eine Korrektur der intraoperativen Vermessung wirkt sich positiv auf die Artikulationsverhältnisse im Hüftgelenk aus und ermöglicht zuverlässige Rückschlüsse auf die postoperative Inklinationsneigung.

Zusammenfassend wird die Anwendung eines Korrekturfaktors von etwa 4° bis 5° empfohlen. Besonders in Kliniken, in denen die Variabilität der Pfannenpositionierung auf die unterschiedliche Erfahrung und Technik der Chirurginnen und Chirurgen zurückzuführen ist, erscheint ein individueller Korrekturfaktor sinnvoll. Dabei sollte ein erhöhter Korrekturfaktor von 6° bei einer sehr niedrigen Pfanneninklination und eine reduzierte Korrektur von 2° bei steil implantierten Hüftpfannen berücksichtigt werden.

5.1. Limitierungen der Übersichtsarbeit

Durch die Vermessung und Prüfung der intra- und postoperativen Inklinationswinkel bei primären Hüft-Totalendoprothesen zeigte sich, dass die angewendeten Messmethoden ein gewisses Maß an Ungenauigkeit aufweisen. Verschiedene C-Bogen-Modelle erzeugen dabei unterschiedliche Parallaxeneffekte. Der im Rahmen dieser Arbeit berechnete Korrekturfaktor wurde speziell für den Philips BV Endura bestimmt. Die tatsächlichen Auswirkungen der unterschiedlichen C-Bogen-Modelle auf die Parallaxeneffekte sowie deren klinische Relevanz bleiben jedoch weiterhin unklar. Der Korrekturfaktor basiert auf Daten, die am Universitätsklinikum Köln erhoben wurden. Dabei lässt sich eine Verzerrung durch die Messung der Pfanneninklination bei der Einbeziehung in eine Meta-Analyse nicht vollständig vermeiden, was die Berechnung des Korrekturfaktors beeinflussen kann. Zudem ist auf die unvermeidbare Existenz von Ausreißern hinzuweisen.

Weitere Kliniken, die bei der Nutzung eines radiologischen Bildwandlers andere Einstellungen vornehmen, könnten eine unterschiedliche Varianz in Bezug auf die Pfanneninklination aufweisen und möglicherweise abweichende Korrekturfaktoren ermitteln. Die vorliegende Studienarbeit zielte darauf ab, Gruppenunterschiede der Protheseninklination zwischen den Geschlechtern (männlich/weiblich) sowie seitenabhängige Differenzen (rechts-links) zu untersuchen, je-

doch nicht auf individueller Ebene. Trotz der genannten Limitationen wurde die Übersichtsarbeit als eine Studie mit höchster Priorität konzipiert.

Die Studienergebnisse berücksichtigen nicht den BMI der Patienten, obwohl die individuelle Körpermasse den Abstand (in mm/cm) zwischen den C-Bogen-Modellen und dem patientenspezifischen Hüftpfannenzentrum beeinflussen kann. Dieser Aspekt könnte ebenfalls die Berechnung des Korrekturfaktors beeinflussen. Subgruppenanalysen zu verschiedenen Pfannengrößen wurden nicht durchgeführt. Aus den Ergebnissen geht daher nicht hervor, ob die Größe der Pfanne die Angulation oder den berechneten Korrekturfaktor beeinflusst. Nachteilige Revisions- und Dislokationsraten wurden bei der Berechnung des Korrekturfaktors nicht als wesentliche Parameter betrachtet. Für die Studienergebnisse wurden ausschließlich anterior-posteriore (a.p.) Röntgenbildaufnahmen verwendet. Beckenpositionierungen oder mögliche Deformitäten der Wirbelsäule wurden nicht thematisiert, was potenziell zu weiteren Ungenauigkeiten führen kann. Die quantitative Auswertung der Nativ-Röntgenbildaufnahmen birgt die Gefahr von Fehlern, da achsspezifische Rotationen oder reklinierende bzw. inklinierende Beckenkippungen inhärente Herausforderungen darstellen. Sollte eine symphyszentrierte a.p. Röntgenbildaufnahme nicht gelingen und Projektionen in medio-lateraler oder craniocaudaler Achse verändert sein, entstehen weitere Verzerrungen, die die korrekte Interpretation der berechneten Winkelinklinationen erschweren [71,106, 107, 108].

Obwohl die Nativ-Röntgenbilddiagnostik dazu beitragen kann, die Messgenauigkeit während der Operation zu verbessern, geht dies mit einer erhöhten Strahlenbelastung für die Patienten einher. Für die quantitative Analyse ist diese Methode nur eingeschränkt geeignet, sodass für valide Aussagen Korrekturen oder zusätzliche Kontrollen erforderlich sind [10, 66, 69,106, 107, 108].

Hinsichtlich der Generalisierbarkeit ist zu beachten, dass nicht alle Patienten, die sich im Zeitraum von 2013 bis 2017 einer Hüft-TEP-Implantation unterzogen, in die Übersichtsarbeit eingeschlossen wurden. Dies könnte die externe Validität der Ergebnisse reduzieren. Ein mögliches Selection-Bias aufgrund der begrenzten Auswahl an Patientendaten ist nicht auszuschließen. Die Zusammensetzung der Studienpopulation unterscheidet sich somit potenziell von der Grundgesamtheit. Um Selection-Bias zu vermeiden, könnten Strukturmerkmale der einzelnen Gruppen untersucht werden. Zudem könnten einzelne Confounder als Störgrößen zu Ungenauigkeiten der Studienergebnisse führen. Ebenso könnten die festgelegten Ausschlusskriterien die Generalisierbarkeit der Ergebnisse in Bezug auf andere Patientengruppen limitiert haben.

5.2. Ausblick

Mit Blick auf die gegenwärtige medizinische Forschung, den technischen Fortschritt und verbesserte Implantatmaterialien sowie den Fortschritt hin zur Perfektion ist die korrekte Bestimmung des Inklinationswinkels bei der Hüft-Totalendoprothese von zentraler Bedeutung. Als Kontrollinstanz dienen die radiologische Bildgebung und dreidimensionale Rekonstruktionen. Vermessungen anhand von Bildmaterial ermöglichen eine möglichst präzise Planung bei der Implantation einer Hüft-Totalendoprothese. Angesichts der gesellschaftlichen Entwicklung, ideologischen Veränderung sowie der aktuellen Wert- und Normvorstellungen spielen personenbezogene Faktoren wie Alter, Geschlecht, Körpermasse oder körperliche Anforderungen eine wesentliche Rolle. Für das zunehmend jünger werdende Patientenkollektiv können unter Berücksichtigung dieser Aspekte optimale Bedingungen geschaffen werden, um die Standzeit einer Hüft-Totalendoprothese zu maximieren.

5.3. Interessenkonflikt

Im Rahmen dieser Studienarbeit wurde keine finanzielle Unterstützung für die Forschungsarbeit, die Vorbereitung, die Autorenschaft oder die Veröffentlichung der Dissertation in Anspruch genommen. Es bestand zu keinem Zeitpunkt ein Interessenkonflikt. Darüber hinaus wurde die ethische Genehmigung eingeholt, und es lag eine informierte Zustimmung der Beteiligten vor. Die Medizinische Ethikkommission der Universität zu Köln hat ein positives Votum erteilt (EN 211038).

Die vorliegende Dissertationsschrift enthält keine Informationen, die zur Identifizierung von Patientinnen oder Patienten verwendet werden könnten. Dazu zählen Initialen, Namen, Krankenhauskennnummern oder Fotos.

Literaturverzeichnis

- [1] Loitsch T, Freitag T, Leucht F, et al. Die Pfanneninklinationsmessung in der Beckenübersichtsaufnahme. Ein Qualitätsindikator nach Hüft-TEP-Implantation? In: Der Orthopäde. Springer Verlag 2018; **47**: 1003-1008.
- [2] Radtke R. Anzahl der Implantationen künstlicher Hüftgelenke in ausgewählten OECD-Ländern in den Jahren 2013 bis 2017 (je 100.000 Einwohner). 2019; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/182669/umfrage/hueftgelenksoperationen-in-ausgewahlten-oecd-laendern/> (zuletzt abgerufen 19.04.2024).
- [3] Radtke R. Anzahl der Implantationen künstlicher Hüftgelenke in deutschen Krankenhäusern nach Altersgruppe im Jahr 2019. 2020; <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/785143/umfrage/implantationen-kuenstlicher-hueftgelenke-in-deutschen-krankenhaeusern-nach-alter/> (zuletzt abgerufen 19.04.2024).
- [4] Rembeck Dr. EH. Einteilung der Arthrosen. Ecom. Sportorthopädie Knie- und Schulterzentrum 2020; https://knie-muenchen.de/arthrose_einteilung.html (zuletzt abgerufen am 21.04.2024).
- [5] Rueckl K, Alcaide DJ, Springer B, et al. Intraoperative measurement of cup inclination using fluoroscopy requires a correction factor. Archives of Orthopaedic and Trauma Surgery. Springer Verlag 2019; **139**(11): 1511-1517.
- [6] Wirtz DC, Stöckle U, et al. Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie. Hüfte. Georg Thieme Verlag KG 2018.
- [7] Marschall U, Worringer M, Repschläger U, & Riedel R. Hüftendoprothetik: Wohin geht der Weg. o.J.:178-181. <https://www.barmer.de/blob/71054/f9f407ca81898aa832d2b040d051e752/data/hueftendoprothetik.pdf> (zuletzt abgerufen am 27.02.2021).
- [8] Grieber Dr. K. Ist die Gabe von Tranexamsäure bei allen Hüft-TEPRevisionen sinnvoll? Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie. Georg Thieme Verlag 2019; **157**(01): 15-16.
- [9] Maillefert JF, Roy C, Cadet C, Nizard R, Berdah L, Ravaud P. Factors influencing surgeons' decisions in the indication for total joint replacement in hip osteoarthritis in real life. Arthritis Rheum. 2008; **59**(2): 255262.
- [10] Engesser D. Korrektur von Röntgenfehlprojektionen zur Verbesserung der Inklinations- und Anteversionswinkel. Messung von Hüftprothesenpfannen in Standard-ap-Röntgenaufnahmen des Beckens. 2017; [https://freidok.unifreiburg.de/fedora/objects/freidok:15187/datastreams\(FILE1/content](https://freidok.unifreiburg.de/fedora/objects/freidok:15187/datastreams(FILE1/content) (zuletzt abgerufen am 04.05.2024).
- [11] Nickel S. Endoprosthetics guide. Hüft-TEP. Totalendoprothese der Hüfte. Deutscher Verlag für Gesundheitsinformation 2024; <https://www.endoprosthetics->

guide.com/huefte/hueft-tep/ (zuletzt abgerufen am 19.04.2024).

- [12] Krauß I. SpoRT- und Bewegungstherapie bei Gonund Coxarthrose. Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin. 2016; **67**(11): 276-281.
- [13] Hinkelmann U, Fleischhauer M. Die Endoprothese. Das künstliche Hüft- und Kniegelenk Schritt für Schritt erklärt. Urban & Fischer Verlag 2007; 14.
- [14] Schmolders J, Wirtz DC. Offene Standardzugänge zum Hüftgelenk. In: Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie. Hüfte. Georg Thieme Verlag 2018; 68-78.
- [15] Windhagen H, Gronewold J, Budde S. Degenerative und rheumatische Hüftgelenkerkrankungen. Koxarthrose. In: Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie. Hüfte. Georg Thieme Verlag 2018; 237-262.
- [16] Hein W, Hagel A. Hüft-TEP – Spezialisten und Information. Deutscher Verlag für Gesundheitsinformation GmbH 2021;
<https://www.leading-medicine-guide.de/behandlung/hueft-tep#topics> (zuletzt abgerufen am 11.04.2024).
- [17] Grimberg A, Jansson V, Lützner J, et al. Endoprothesenregister Deutschland. Jahresbericht. Erstimplantationen am Hüftgelenk. EPRD Deutsche Endoprothesenregister 2020; 4.1: 14-22.
- [18] Grimberg A, Lützner J, Melsheimer O, Morlock M, Steinbrück A. EPRD Jahresbericht 2023. EPRD Deutsche Endoprothesenregister gGmbH 2023; https://www.eprd.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Publikationen/Berichte/Jahresbericht2023-Status5_2023-10-24_F.pdf(zuletzt abgerufen am 5.05.2024).
- [19] Della Valle CJ, Rafii M, Jaffe WL. Iliopsoas tendinitis after total hip arthroplasty. J Arthroplasty 2001; **16**(7): 923-6.
- [20] Müller M, Perka C, Tohtz S. Obturator externus impingement after total hip replacement. Orthopaede 2009; **38**(11):1113-6.
- [21] Valente G. Subject-specific musculoskeletal models of lower limbs for the prediction of skeletal loads during motion. 2013; I.1 Research rationale: 10-12. http://amsdottorato.unibo.it/5561/1/Valente_Giordano_tesi.pdf (zuletzt abgerufen am 04.05.2024).
- [22] Spomedial. Belastungen des Bewegungsapparates. Belastungen der Hüfte. 2009;
http://vmrz0100.vm.ruhr-uni-bochum.de/spomedial/conten/e866/e2442/e5017/e5018/e5047/e5071/index_ger.html (zuletzt abgerufen am 06.04.2021, 13:25).
- [23] Tohtz S. Lokalisation und Orientierung des Hüftgelenkszentrums: Rekonstruktion des nativen Rotationszentrums in der Primär- und Revisionsprothetik.

Charakteristik. 2010; https://refubium.fu-berlin.de/bitstream/handle/fub188/6613/Arbeit_komplett.pdf?sequence=1 (zuletzt abgerufen am 04.05.2024).

- [24] Pjontek R, Scheibe F, Tabatabai J. Orthopädisch-unfallchirurgische Untersuchung. 22.4 Hüfte: 192-193. In: Heidelberger Standarduntersuchung – Interdisziplinäre Handlungsanweisungen zur Durchführung der körperlichen Untersuchung, HeiCuMed 2016.
- [25] Naal FD. Von der Fehlform zur Coxarthrose – Beispiel Hüftimpingement, Hogrefe AG 2020; **6**(109): 459-464.
- [26] Lespasio MJ, Sultan AA, Piuzzi NS, Khlopas A, Husni ME, Muschler GF, & Mont MA. Hip Osteoarthritis: A Primer. Perm J 2018; **22**:17-084.
- [27] Wang Q, Wang TT, Qi XF, et al. Manual Therapy for Hip Osteoarthritis: A Systematic Review and Metaanalysis. Pain Physician. 2015; **18**(6): E1005z20.
- [28] Litwic A, Edwards M, Dennison E, & Cooper C. Epidemiology and Burden of Osteoarthritis. Br Med Bull 2013; **105**:185-199.
- [29] Apostu D, Lucaci O, Berce C, et al. Current methods of preventing aseptic loosening and improving osseointegration of titanium implants in cementless total hip arthroplasty: a review. Journal of International Medical Research 2018; **46**(6): 2104-2119.
- [30] Holsgaard-Larsen A, Hermann A, Zerahn B, et al. Effects of progressive resistance training prior to total HIP arthroplasty – a secondary analysis of a randomized controlled trial. Osteoarthritis Cartilage 2020; **28**(8): 1038-1045.
- [31] Petis S, Howard JL, Lanting BL, & Vasarhelyi EM. Surgical approach in primary total hip arthroplasty: anatomy, technique and clinical outcomes. National Library of Medicine 2015; **58**(2): 128-139.
- [32] O'Neill CKJ, Hill JC, Patterson CC, et al. Reducing variability in apparent operative inclination during total hip arthroplasty: findings of a randomised controlled trial. HIP International. National Library of Medicine 2018; **28**(3): 234–239.
- [33] Grimberg A, Lützner J, Melsheimer O, Morlock M, Steinbrück A. EPRD Jahresbericht 2023. EPRD Deutsche Endoprothesenregister gGmbH 2023; https://www.eprd.de/fileadmin/user_upload/Dateien/Publikationen/Be-richte/Kurzpräsentation-Jahresbericht2023_2023-10-24_F.pdf (zuletzt abgerufen am 15.05.2024).
- [34] Seagrave KG, Troelsen A, Malchau H, et al. Acetabular cup position and risk of dislocation in primary total hip arthroplasty. Acta Orthopaedia 2017; **88**(1): 10-17.
- [35] Murphy NJ, Eyles JP, Hunter DJ. Hip Osteoarthritis: Ethiology and Implications for Management. Review: Adv Ther. 2016; **33**(11): 1921-1946.
- [36] Kirschner P. Hüftendoprothetik. Unfall und Wiederherstellungs chirurgie, katholisches Klinikum Mainz. In: Der Chirurg. Springer Verlag 2005; **76**: 95104.
- [37] Schulze Pellengahr von C, Fottner A, Utzschneider S, et al. Zementfreie Endoprothetik des Hüftgelenks. In: Der Orthopäde. Springer Verlag 2009; **38**: 461-472.

- [38] Wright RW. Osteoarthritis Classification Scales: Interobserver Reliability and Arthroscopic Correlation. *Journal of Bone and Joint Surgery Am* 2014; **96**(14): 1145-1151.
- [39] Ammer K. Epidemiologie und Risikofaktoren der Arthrose von Extremitätengelenken. *ÖZPMR, Österr. Z. Phys. Med. Rehabil* 2005; 41-59.
- [40] Spahn G, Stojanowic I, Biehl M, et al. Klassifikation von Knorpelschaden und Arthrose. Grading of cartilage lesions and osteoarthritis. *OUP* 2016; **9**: 509-514.
- [41] Hostmann T, Heitkamp HC, Haupt G, et al. Möglichkeiten und Grenzen der Sporttherapie bei Coxarthrose und Hüftendoprothesen – Patienten. Possibilities and limitations of sports therapy in patients with osteoarthritis and prothesis of the hip. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2001; **10**: 274-278.
- [42] Tannast M, Lerch TD, Schmaranzer F, Kohlhof H, Büchler L, Steppacher SD. Arthroskopie des Hüftgelenks. In: *Expertise Orthopädie und Unfallchirurgie*. Georg Thieme Verlag 2018; 78-93.
- [43] Piuzzi NS, Slullitel PA, Bertona A, et al. Hip arthroscopy in osteoarthritis: A systematic review of the literature. *Sage Journals Hip Int* 2016; **26**(1): 8-14.
- [44] Pelt CE, Erickson JA, Peters CL, Anderson MB, Cannon-Albright L. A heritable predisposition to osteoarthritis of the hip. *J Arthroplasty* 2015; **30**(9): 125-9.
- [45] MacGregor AJ, Antoniades L, Matson M, Andrew T, Spector TD. The genetic contribution to radiographic hip osteoarthritis in women: Results of a classic twin study. *Arthritis Rheum* 2000; **43**(11): 2410-6.
- [46] Jeschke E, Günster C. Zum Zusammenhang von Behandlungshäufigkeit und -ergebnis in der Hüftendoprothetik. *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie. E-Journals* Thieme 2013; **16**: 227-240.
- [47] SooHoo NF, Farny E, Liebermann JR, Chambers L, Zingmond DS. Factors that predict short term complication rates after total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 2010; **468**(9): 2363-71.
- [48] Niethard FU, Pfeil J, Biberthaler P. Degenerative Erkrankungen. 10.7.1: Coxarthrose. In: *Duale Reihe. Orthopädie und Unfallchirurgie*. Georg Thieme Verlag 2017.
- [49] Bortz J. *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Springer Verlag 1999.
- [50] Ficklscherer A, Paulus AC, et al. *Das mündliche Examen. Orthopädie und Unfallchirurgie*. Elsevier 2018.
- [51] Wülker N. *Gelenkerkrankungen des Erwachsenen: Coxarthrose*. In: *Taschenlehrbuch Orthopädie und Unfallchirurgie*. Georg Thieme Verlag 2016.
- [52] Koetz I, Kooter J. Update: Hüft-TEP – Hippes Ersatzteil. *Physiopraxis* 2014; **12**(11/12): 48-53.
- [53] Gregory R, Galakatos MD. Direct Anterior Total Hip Arthroplasty. *Missouri Medicine* 2018; **115**(6): 537-541.

- [54] William L, Healy MD, Richard Iorio MD, et al. Complications of Total Hip Arthroplasty: Standardized List, Definitions, and Stratification Developed by The Hip Society. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2016; **474**(2): 357-364.
- [55] Skou ST, Roos EM. Physical therapy for patients with knee and hip osteoarthritis: supervised active treatment is current best practice. *Clinical and Experimental Rheumatology* 2020; **38**(5): 1036.
- [56] Wang XD, Lan H, Hu ZX, et al. SuperPath Minimally Invasive Approach to Total Hip Arthroplasty of Femoral Neck Fractures in the Elderly: Preliminary Clinical Results. *Orthop Surg.* 2020; **12**: 74-85.
- [57] Srikanth VK, Fryer JL, Zhai G, et al. A meta-analysis of sex differences prevalences, incidence and severity of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2005; **13**: 769-781.
- [58] Altman RD, Hochberg MC, Moskowitz RW, Schnitzer TJ. Recommendations for the medical management of osteoarthritis of the hip and knee. *Arthritis & Rheumatism.* 2000; **43**:1905-1915.
- [59] Brabant Th, Stichthenot D. Medikamentöse Arthrosetherapie im Alter. *Zeitschrift für Rheumatologie* 2005; **64**: 467-472.
- [60] Höher J, Erggelet CH. Übersicht über Therapieformen zur Behandlung der Arthrose. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin.* 2003; **54**:188-190.
- [61] Stöve J. Konservative Therapie der Arthrose. *Der Orthopäde.* Springer Verlag 2005; **34**: 613-622.
- [62] Kladny B, Beyer WF. Conservative nonpharmacological treatment of arthrosis. *Der Orthopäde.* Springer Verlag 2001; **30**: 848-855.
- [63] Engelhardt M. Epidemiologie der Arthrose in Westeuropa. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 2003; **54**: 171-175.
- [64] Medical Advisory Secretariat. Physiotherapy rehabilitation after total knee or hip replacement: an evidence-based analysis. *Ont Health Technol Assess Ser.* 2005; **5**(8): 1-91.
- [65] Little NJ, Busch CA, Gallagher JA, et al. Acetabular polyethylene wear and acetabular inclination and femoral offset. *Clin Orthop Relat Res.* 2009; **467**(11): 2895-900.
- [66] Ming L, Yi-Xin Z, Hui D, Ji Z, Jian L. Reliability and Validity of Measuring Acetabular Component Orientation by Plain Anteroposterior Radiographs. *Clin Orthop Relat Res.* 2013; **471**(9): 2987-94.
- [67] Mariconda M, Silvestro A, Mansueto G, Marinò D. Complete polyethylene waer-through and secondary breakage of the expansion cup in a ceramicpolyethylene total hip arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2010; **130**: 61-64.
- [68] Tian JL, Sun L, Hu RY, et al. Correlation of Cup Inclination Angle with Linear Wear of Metal-on-polyethylene in Hip Primary Arthroplasty. *Orthop Surg.* 2017; **9**(2): 186-190.

- [69] Widmer KH. Containment versus impingement: finding a compromise for cup placement in total hip arthroplasty. *Int Orthop.* 2007; **31**(1): S29-33.
- [70] Widmer KH, Zurfluh B. Compliant positioning of total hip components for optimal range of motion. *J Orthop Res.* 2004; **22**(4): 815-21.
- [71] Tannast M, Murphy SB, Langlotz F, et al. Estimation of pelvic tilt on anteroposterior X-rays—a comparison of six parameters. *Skeletal Radiol.* 2006; **35**(3): 149-155.
- [72] Lembeck B, Mueller O, Reize P, Wuelker N. Pelvic tilt makes acetabular cup navigation inaccurate. *Acta Orthopaedica.* 2005; **76**(4): 517-523.
- [73] Beckmann J, Lüring C, Tingart M, et al. Cup positioning in THA: current status and pitfalls. A systematic evaluation of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009; **129**(7): 863-79.
- [74] DiGioia AM, Jaramaz B, Plakseychuk AY, et al. Comparison of a mechanical acetabular alignment guide with computer placement of the socket. *The Journal of Arthroplasty* 2002; **17**(3): 359-364.
- [75] Jolles BM, Zanger P, Leyvraz Prof. PF. Factors predisposing to dislocation after primary total hip arthroplasty: A multivariate analysis. *The Journal of Arthroplasty* 2002; **17**(3): 282-288.
- [76] Dorr LD, Callaghan JJ. Death of the Lewinnek „Safe Zone.” *The Journal of Arthroplasty* 2019; **34**(1): 1-2.
- [77] Blondel B, Parratte S, Tropiano P, Pauly V, Aubaniac JM, Argenson JN. Pelvic tilt measurement before and after total hip arthroplasty. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 2009; **95**(8): 568-572.
- [78] Roth A, Layher F, Venbrocks RA. Transgluteale Miniinzision. Technik und eigene Resultate. *Orthopäde.* Springer Verlag, 2006; **35**:744-750.
- [79] Singh JA. Epidemiology of knee and hip arthroplasty: a systematic review: *Open Orthop Journal* 2011; **16**(5): 80-85.
- [80] Kennon RE, Keggi MJ, Keggi KJ. The minimally invasive anterior approach to hip arthroplasty. *Orthopäde;* Springer Verlag 2006; **35**(7): 731-737.
- [81] Nilsson AK, Lohmander LS, Klässbo M, Roos EM. Hip disability and osteoarthritis outcome score (HOOS) – validity and responsiveness in total hip replacement. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2003; **4**(10): 1-8.
- [82] National Institute for Health and Care Excellence (NICE): Osteoarthritis in over 16s: diagnosis and management. NICE guidline 2022; <https://www.nice.org.uk/guidance/ng226/resources/osteoarthritis-in-over- 16s-diagnosis-and-management-pdf-66143839026373> (zuletzt abgerufen am 30.06.2024, 20:09).
- [83] Oonishi H, Ohashi H, Kawahara I. Total Hip Arthroplasty around the Inception of the

- Interface Bioactive Bone Cement Technique: a review. *Clin Orthop Surg.* 2016; **8**(3): 237-42.
- [84] Fransen M, McConnell S, Hernandez-Molina G, Reichenbach S. Exercise for osteoarthritis of the hip. *Cochrane Database Syst. Review* 2014: Issue 4, Art. No.: CD007912.
- [85] Hozack W, Parvizi J, Bender B. *Surgical Treatment of Hip Arthritis: Reconstruction, Replacement, and Revision*. Philadelphia, PA: Saunders Elsevier, 2009.
- [86] Fritz J, Lurie B, Miller TT. Imaging of hip arthroplasty. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2013; **17**(3): 316–327.
- [87] Chang CY, Huang AJ, Palmer WE. Radiographic Evaluation of Hip Implants. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2015; **19**(1): 12-20.
- [88] Engh CA, Massin P, Suthers KE. Roentgenographic assessment of the biologic fixation of porous-surfaced femoral components. *Clin Orthop Relat Res.* 1990; **257**: 107–128.
- [89] Harris WH, McCarthy JC Jr, O'Neill DA. Femoral component loosening using contemporary techniques of femoral cement fixation. *J Bone Joint Surg Am.* 1982; **64**(7):1063–1067.
- [90] Berry DJ. Epidemiology: hip and knee. *Orthop Clin North.* 1999; **30**(2): 183–190.
- [91] Malik A, Maheshwari A, Dorr LD. Impingement with total hip replacement. *J Bone Joint Surg Am.* 2007; **89**(8):1832–1842.
- [92] Postler A, Goronzy J, Günther KP, et al.: Which disease-related factors influence patients' and physicians' willingness to consider joint replacement in hip and knee OA? Results of a questionnaire survey linked to claims data. *BMC Musculoskeletal Disord* 2020; **21**: 1–11.
- [93] Lindahl H, Garellick G, Regnér H, et al. Three hundred and twenty-one periprosthetic femoral fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 2006; **88**(6):1215– 1222.
- [94] Malahias MA, Chulsomlee K, Thorey F. Simultaneous bilateral minimally invasive total hip arthroplasty: A comprehensive review of the literature. *Orthop Review (Pavia)* 2018; **10**(3):7677.
- [95] Swanson TV. Posterior single-incision approach to minimally invasive total hip arthroplasty: Review *Int Orthop.* 2007; **31**(1): 1-5.
- [96] Helkamaa T, Hirvensalo E, Huhtala H, Remes V. Patient injuries in primary total hip replacement. Nationwide analysis in Finland: *Acta Orthopaedica.* 2016; **87**(3): 209-217.
- [97] Kirschner S, Hamann C, Handreka S, et al. Operationsplanung und Ergebniskontrolle in der elektiven Hüftendoprothetik. Angewandtes Qualitätsmanagement als Grundlage einer sicheren Patientenversorgung. *Der Unfallchirurg.* Springer-Verlag, 2011; **114**: 776-785.

- [98] Hailer NP, Garellick G, Kärrholm J. Uncemented and cemented primary total hip arthroplasty in the Swedish Hip Arthroplasty Register. *Acta Orthop.* 2010; **81**(1): 34-41.
- [99] Moerenhout K, Derome P, Laflamme GY, et al. Direct anterior versus posterior approach for total hip arthroplasty: a multicentre, prospective, randomized clinical trial. *Can J Surg.* 2020; **63**(5): E412-E417.
- [100] Migliorini F, Biagini M, Rath B, et al. Total hip arthroplasty: minimally invasive surgery or not? Meta-analysis of clinical trials. *Int Orthop.* 2019; **43**(7): 1573-1582.
- [101] R + E ARCUS Sportklinik. Hüft-TEP: Einsatz einer Hüftprothese bei fortgeschrittener Hüftarthrose (Coxarthrose). Hüftprothesen-Modelle: Welche Vor- und Nachteile haben Kurz- und Gradschaftprotehsen? 2022. <https://www.sportklinik.de/operatives-spektrum/hueft-op/hueft-tep#c8835> (zuletzt abgerufen am 19.04.2024).
- [102] Shahrdar C, McLean J, Gianulis E, et al. Clinical outcome and explant histology after using a cellular bone allograft in two-stage total hip arthroplasty. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research* 2020; **15**;16(1): 2-7.
- [103] Kahn WS, Rayan F, Dhinsa BS, Marsh D. An osteoconductive, osteoinductive, and osteogenic tissue-engineered product for trauma and orthopaedic surgery: how far are we? *Stem Cells International* 2012; 1-7.
- [104] Flecher X, Ollivier M, Argenson JN. Lower limb length and offset in total hip arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016; **102**(1): 9-20.
- [105] Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. (DGOU): Evidenz- und konsensbasierte Indikationskriterien zur Hüfttotalendoprothese bei Coxarthrose (EKIT-Hüfte). 2021; https://register.awmf.org/assets/guidelines/187-001k_S3_Indikationskriterien_Hüfttotalendoprothese_bei_Coxarthrose_2021-04.pdf (zuletzt abgerufen am 06.12.2024).
- [106] Marx A., Knoch von M, Pförtner J, Wiese M, Saxler G. Misinterpretation of cup anteversion in total hip arthroplasty using planar radiography. *Arch. Orthop.Trauma* 2006; **126**(7): 487-492.

- [107] Tannast M., Zheng G., Anderegg C., Burckhardt K., Langlotz F., Ganz R., Siebenrock KA. Tilt and rotation correction of acetabular version on pelvic radiographs. *Clin. Orthop. Relat Res.* 2005; **438**:182-190.
- [108] Engesser D. Korrektur von Röntgenfehlprojektionen zur Verbesserung der Inklinations- und Anteversionswinkel Messung von Hüftprothesenpfannen in Standard-ap-Röntgenaufnahmen des Beckens. Inaugural – Dissertation 2016; 7-100. <https://freidok.unifreiburg.de/fedora/objects/freidok:15187/datastreams/FILE1/content> (zuletzt abgerufen am 09.05.2024).
- [109] Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin (DGAI). S3-Leitlinie Präoperative Anämie (AWMF Registernummer 001-0024). 2018; <https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/001-024> (zuletzt abgerufen am 07.04.2024).
- [110] Fuchs J, Kuhnert R, Scheidt-Nave C. 12-Monats-Prävalenz von Arthrose in Deutschland. *Journal of Health Monitoring* 2017; **2**(3):55-60.
- [111] Günther KP, Deckert S, Lützner C, et al. Klinische Leitlinie. Hüfttotalendoprothese bei Coxarthrose – evidenzbasierte und patientenorientierte Indikationsstellung. *Deutsches Ärzteblatt* 2021; **118**: 730-736.
- [112] Pergaminelis N, Renouf J, Fary C, et al. Outcomes of arthroscopic debridement of isolated Ligamentum Teres tears using the iHOT-33. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017; **29**;18(1): 554.
- [113] Groh MM, Herrera, J. A comprehensive review of hip labral tears. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2009; **2**(2): 105-117.
- [114] Rühmann O, Börner CE, Bohnsack M, Wirth CJ. Hüftarthroskopie. *Orthopäde* 2003; **32**: 754–768.
- [115] Hassan MM, Farooqi AS, Feroe AG, et al. Open and arthroscopic management of femoroacetabular impingement: a review of current concepts. *Journal of Hip Preservation Surgery* 2022; **9**(4):265–275.
- [116] Reiser M, Kun FP, Debus J. Gelenkerkrankungen: Degenerative Gelenkerkrankungen. In Duale Reihe. Georg Thieme Verlag 2004.
- [117] Najfeld M, Hube R. Zugänge zum Hüftgelenk: Anterolateraler Zugang zum Hüftgelenk 2023; https://www.springermedizin.de/emedpedia/ae-manual-der-endoprothetik/zugaenge-zum-hueftgelenk-anterolateraler-zugangzum-hueftgelenk?epedia-Doi=10.1007%2F978-3-662-55485-2_73 (zuletzt abgerufen am 02.12.2023).

- [118] Ewerbeck V, Wentzensen A, Holz F, Krämer KL, Pfeil J & Sabo D. Koxarthrose – Umstellungsosteotomien. In: Standardverfahren in der operativen Orthopädie und Unfallchirurgie. Thieme Verlag 2007.
- [119] Yanzhi Ge, Zuxiang Chen, Qisong Chen, et al. A Systematic Review and Meta-Analysis of SuperPATH Approach in Hip Arthroplasty. *Biomed Res Int*. 2021; 2021: 5056291.
- [120] Brühl A. Einführung in die moderne Datenanalyse ab SPSS 25. 16., aktualisierte Auflage. Pearson Verlag 2019.
- [121] Hoffeld K, Lenz M. Meiß I, Eysel P, Oppermann J. A correction factor is needed for the intraoperative measurement of cup inclination in total hip arthroplasty. *Technol Health Care*. 2024;32(1): 459-466.
- [122] Liebscher-Bracht, R. und Bracht, P. Die Arthrose-Lüge. Warum die meisten Menschen völlig umsonst leiden – und was Sie dagegen tun können. Koxarthrose-Stadien. Goldmann Verlag, 2017.
- [123] Semler O, Kornak U, Oheim R, Seefried L. Genetische Ursachen und Therapie der Osteogenesis imperfecta. Osteologie. Implantation einer primären Hüftendoprothese bei Koxarthrose. Thieme Verlag 2020; **29**(04): 302 – 310.
https://eref.thieme.de/ejournals/2567-5818_2020_04?anchor=10.1055-a1233-9812-f19812-0002#/10.1055-a-1233-9812?context=search (zuletzt abgerufen am 03.04.2024).
- [124] Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen (IQWiG). Komponenten des künstlichen Hüftgelenkersatzes. 2024; <https://www.gesundheitsinformation.de/hueftarthrose-wann-kommt-ein-kuenstliches-hueftgelenk-infrage.html> (zuletzt abgerufen 1m 25.12.2024).
- [125] Diemer F, Sutor V, Goreta N. Harris Hip Score. FOMT. Fortbildung für orthopädische Medizin und manuelle Therapie. 2016; <https://vdcpt.ch/wpcontent/uploads/Harris-Hip-Score-Harris-Hip-Score.pdf> (zuletzt abgerufen am 24.20.2021).
- [126] Weishaar, V. et al. zitieren nach Stucki, G. Meier, D. Stucki, S. et al. Evaluation einer deutschen Version des WOMAC (Western Ontario und McMaster Universities) Arthroseindex. *Z Rheumatol* 1996; **55**: 40-49.
- [127] Frenzel, J. Problematik der Ergebnisdarstellung bei totalem Hüftersatz. Umfassendere Bewertung durch eine Kombination des Harris-Hip-Scores

mit Fragen zur Lebensqualität. Darstellung des Score nach Merle d'Aubignè und Postel (1954).
2008;

<https://bonndoc.ulb.unibonn.de/xmlui/bitstream/handle/20.500.11811/3809/1590.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (zuletzt abgerufen am 25.10.2021).

- [128] Bullinger M. German translation and psychometric testing of the SF-36 Health Survey: preliminary results from the IQOLA Project. International Quality of Life Assessment. SF-36-Fragebogen. Soc Sci Med 1995; **41**: 1359-1366.
- [129] Matziolis, Prof. Dr. G. S2k-Leitlinie: Koxarthrose. Kriterien des American College of Rheumatology (ACR) Diagnosestellung der Coxarthrose 2019;
https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/033-001I_S2k_Koxarthrose_2019-07_1.pdf (zuletzt abgerufen am 25.10.2021).

Anhang

Entwicklung der jährlichen Dokumentationszahlen für Primärversorgungen und Folgeeingriffe.
Hüft- und Knieeingriffe gemeinsam dargestellt [18]

| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|---------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Primärversor- gungen | 272.455 | 285.700 | 263.000 | 277.512 | 314.909 |
| Folgeeingriffe | 31.271 | 33.457 | 32.057 | 32.654 | 32.793 |

Alters-, Geschlechter- und BMI-Verteilung der Patienten bei Hüft-Erstimplantationen in 2022 [18]

| | Anteil [%] | Alter | m/w [%] | BMI | ASA |
|--------------------------------|-------------------|--------------|----------------|------------|------------|
| Alle betrachteten Versorgungen | 100,0 | 72 | 40 / 60 | 26,8 | 2,3 |
| <45-Jährige | 1,7 | | 55 / 45 | 27,3 | 1,8 |
| 45- bis 54-Jährige | 6,3 | | 52 / 48 | 28,4 | 1,9 |
| 55- bis 64-Jährige | 21,1 | | 48 / 52 | 28,1 | 2,1 |
| 65- bis 74-Jährige | 30,1 | | 40 / 60 | 27,5 | 2,2 |
| 75- bis 84-Jährige | 29,9 | | 34 / 66 | 26,0 | 2,5 |
| 85-Jährige und älter | 10,9 | | 30 / 70 | 24,6 | 2,8 |
| Männer | 40,0 | 69 | 100 / 0 | 27,5 | 2,3 |
| Frauen | 60,0 | 73 | 0 / 100 | 26,2 | 2,3 |
| BMI bis 25 | 33,7 | 75 | 31 / 69 | | 2,3 |
| BMI >25 bis 30 | 36,0 | 72 | 46 / 54 | | 2,2 |
| BMI >30 bis 35 | 18,0 | 69 | 45 / 55 | | 2,3 |
| BMI >35 bis 40 | 6,4 | 66 | 41 / 59 | | 2,4 |
| BMI über 40 | 2,4 | 63 | 35 / 65 | | 2,6 |
| BMI unbekannt/unplausibel | 3,5 | 72 | 38 / 62 | | 2,2 |

Angegebene Voroperationen bei Hüfterstimplantationen in 2022 [18]

| | Anteil [%] | Alter | m/w [%] | BMI | ASA |
|--------------------------|------------|-------|---------|------|-----|
| Ohne Voroperation | 96,9 | 72 | 40 / 60 | 26,8 | 2,3 |
| Osteosynthese/Osteotomie | 2,0 | 68 | 39 / 61 | 25,9 | 2,3 |
| Becken | 0,4 | 62 | 48 / 52 | 26,6 | 2,2 |
| Femur | 1,5 | 70 | 37 / 63 | 25,7 | 2,4 |
| Becken und Femur | 0,1 | 55 | 33 / 67 | 27,0 | 2,0 |
| Hüftkopfnekrose | 0,2 | 64 | 50 / 50 | 26,7 | 2,3 |
| Arthrodese | <0,1 | 72 | 33 / 67 | 27,5 | 2,1 |
| Sonstige Voroperation | 0,9 | 66 | 44 / 56 | 27,2 | 2,3 |

© EPRD-Jahresbericht 2023

Angegebene Voroperationen bei Hüfterstimplantation in 2022 [18]

| | Anteil [%] | Alter | m/w [%] | BMI | ASA |
|------------------------------------|--------------------|-------|---------|------|-----|
| Alle übermittelten Dokumentationen | 100,0 (347.702) | 71 | 41 / 59 | 28,0 | 2,3 |
| Hüft-Erstimplantationen | 51,1 (177.826) | 72 | 40 / 60 | 26,8 | 2,3 |
| Hüft-Folgeeingriffe | 5,2 (18.145) | 76 | 42 / 58 | 26,9 | 2,6 |
| Knie-Erstimplantationen | 39,4 (137.030) | 69 | 41 / 59 | 29,7 | 2,2 |
| Knie-Folgeeingriffe | 4,1 (14.379) | 70 | 43 / 57 | 30,1 | 2,4 |
| Totaler Femurersatz | 0,1 (322) | 74 | 38 / 62 | 28,4 | 2,6 |

© EPRD-Jahresbericht 2023

Ermittelte Verankerungsart bei primären Hüfttotalendoprothesen in 2022 [18]

| | Anteil [%] | Alter | m/w [%] | BMI | ASA |
|-------------------------------|------------|-------|---------|------|-----|
| Zementfreie Implantationen | 77,2 | 67 | 45 / 55 | 27,7 | 2,2 |
| Hybride Implantationen | 17,9 | 79 | 27 / 73 | 26,0 | 2,4 |
| Zementierte Implantationen | 3,7 | 81 | 25 / 75 | 25,4 | 2,6 |
| Revers-hybride Implantationen | 1,0 | 74 | 26 / 74 | 26,4 | 2,4 |
| Unbekannt | 0,1 | 73 | 31 / 69 | 27,2 | 2,2 |

© EPRD-Jahresbericht 2023

Ermittelte Verankerungsart bei primären Hüfttotalendoprothesen in 2022 [18]

| | Anteil [%] | Alter | m/w [%] | BMI | ASA |
|----------------------------|------------|-------|---------|------|-----|
| Zementierte Implantationen | 88,8 | 85 | 32 / 68 | 24,2 | 2,9 |
| Zementfreie Implantationen | 11,1 | 83 | 38 / 62 | 24,4 | 2,8 |
| Unbekannt | 0,1 | 81 | 41 / 59 | 25,0 | 3,0 |

© EPRD-Jahresbericht 2023

Ermittelte Kopfgrößen bei primären Hüfttotalendoprothesen in 2022 [18]

| | Anteil [%] | Alter | m/w [%] | BMI | ASA |
|---------------|------------|-------|---------|------|-----|
| 28 mm | 4,7 | 73 | 17 / 83 | 26,3 | 2,3 |
| 32 mm | 47,8 | 70 | 30 / 70 | 27,0 | 2,2 |
| 36 mm | 47,1 | 69 | 55 / 45 | 27,5 | 2,2 |
| Andere Größen | 0,5 | 71 | 32 / 68 | 26,0 | 2,2 |
| Unbekannt | <0,1 | 75,5 | 0 / 100 | 23,6 | 2,0 |

© EPRD-Jahresbericht 2023

Ermittelte Halslängen der Kopfkomponenten bei primärer Hüfttotalendoprothese in 2022 [18]

| | Anteil [%] | Alter | m/w [%] | BMI | ASA |
|-----------|------------|-------|---------|------|-----|
| XS | 0,6 | 72 | 34 / 66 | 26,7 | 2,3 |
| S | 40,8 | 70 | 34 / 66 | 26,9 | 2,2 |
| M | 36,3 | 70 | 42 / 58 | 27,3 | 2,2 |
| L | 16,4 | 69 | 50 / 50 | 27,6 | 2,2 |
| XL | 4,2 | 69 | 58 / 42 | 27,8 | 2,2 |
| XXL | 0,3 | 69,5 | 60 / 40 | 27,8 | 2,3 |
| XXXL | <0,1 | 65,5 | 56 / 44 | 24,6 | 2,6 |
| Unbekannt | 1,4 | 75 | 44 / 56 | 26,9 | 2,4 |

© EPRD-Jahresbericht 2023

Material der pfannenseitigen Gleitfläche bei primären Hüfttotalendoprothesen in 2022 [18]

| | Anteil [%] | Alter | m/w [%] | BMI | ASA |
|---------------------|------------|-------|---------|------|-----|
| hXLPE | 58,0 | 70 | 40 / 60 | 27,2 | 2,2 |
| hXLPE + Antioxidans | 22,7 | 69 | 42 / 58 | 27,4 | 2,2 |
| Keramik | 7,5 | 63 | 46 / 54 | 27,4 | 2,1 |
| mXLPE | 6,1 | 73 | 44 / 56 | 27,3 | 2,3 |
| PE | 5,5 | 78 | 32 / 68 | 26,3 | 2,4 |
| Metall | 0,1 | 59 | 95 / 5 | 28,4 | 1,9 |
| mXLPE + Antioxidans | <0,1 | 71 | 100 / 0 | 26,2 | 2,0 |
| Unbekannt | 0,1 | 79 | 26 / 74 | 26,7 | 2,3 |

© EPRD-Jahresbericht 2023

Material der Kopfkomponente bei primären Hüfttotalendoprothesen in 2022 [18]

| | Anteil [%] | Alter | m/w [%] | BMI | ASA |
|----------------------|------------|-------|---------|------|-----|
| Keramik | 90,4 | 69 | 42 / 58 | 27,3 | 2,2 |
| Metall | 6,6 | 80 | 34 / 66 | 26,0 | 2,5 |
| Keramisiertes Metall | 3,0 | 70 | 41 / 59 | 27,8 | 2,3 |
| Unbekannt | <0,1 | 75,5 | 0 / 100 | 23,6 | 2,0 |

© EPRD-Jahresbericht 2023

Vorliegende Gleitpaarungen bei primären Hüfttotalendoprothesen in 2022 [18]

| | Anteil [%] | Alter | m/w [%] | BMI | ASA |
|-----------------------------|------------|-------|---------|------|-----|
| Keramik/hXLPE | 51,4 | 70 | 41 / 59 | 27,3 | 2,2 |
| Keramik/hXLPE + Antioxidans | 22,1 | 69 | 42 / 58 | 27,5 | 2,2 |
| Keramik/Keramik | 7,5 | 63 | 46 / 54 | 27,4 | 2,1 |
| Keramik/mXLPE | 5,5 | 72 | 44 / 56 | 27,4 | 2,2 |
| Keramik/PE | 3,8 | 75 | 33 / 67 | 26,5 | 2,2 |
| Keramisiertes Metall/hXLPE | 2,7 | 70 | 41 / 59 | 27,8 | 2,3 |
| Metall/hXLPE | 3,8 | 80 | 35 / 65 | 26,2 | 2,5 |
| Metall/PE | 1,5 | 81 | 29 / 71 | 25,7 | 2,6 |
| Andere bzw. unbekannt | 1,6 | 79 | 37 / 63 | 26,2 | 2,5 |

© EPRD-Jahresbericht 2023

Klinische Stadieneinteilung der Koxarthrose Harris Hip Score (HHS, 1969) [125]

Mittels des Harris Hip Scores können Beschwerden bei alltäglichen Aktivitäten, verursacht durchs Hüftgelenk, ermittelt werden. Verwendung findet der Score bei fast allen Hüftgelenkspathologien und schließt größtenteils das Beschwerdebild innerhalb des täglichen Alltags (90 %). Daneben wird die Symptomatik aus dem Bereich der Körperfunktionen fokussiert (10 %). Vordergründig werden grundlegende Fertigkeiten abgefragt, sodass der Score bei jungen und sportlich aktiven Menschen bewertet werden kann. Ein optimales Ergebnis der einzelnen Kategorien lässt sich mit je 44 Punkten für Schmerz und Funktion sowie 4 und 5 Punkten für Deformität und Mobilität. Eine Gesamtzahl von 100 Punkten kann erreicht werden.

Einordnung der erreichten Zielwerte:

| | |
|-----------------------------|---------------|
| Exzellentes Ergebnis | 90-100 Punkte |
| Gutes Ergebnis | 80-89 Punkte |
| Durchschnittliches Ergebnis | 70-79 Punkte |
| Schlechtes Ergebnis | <70 Punkte |

Schmerzen

| | | |
|---------------------|---|-----------|
| Keine Schmerzen | | 44 |
| Leichter Schmerz | Gelegentliche Schmerzen / geringe Schmerzwahrnehmung, die Aktivität ist nicht behindert | 40 |
| Geringe Schmerzen | Keine Auswirkung auf die durchschnittliche Aktivität, selten mäßige Schmerzen nach ungewohnten Tätigkeiten (ggf. Aspirin nötig) | 30 |
| Mäßige Schmerzen | Schmerz erträglich, regelmäßige Arbeit ist möglich, Behinderung bei gewöhnlicher Aktivität (ggf. stärkere Analgetika nötig) | 20 |
| Deutliche Schmerzen | Starke, gelegentlich auftretende und wieder abklingende Schmerzen; ernsthafte Einschränkung der Aktivität (stärkere Analgetika) | 10 |
| Schwere Schmerzen | Starker Schmerz auch im Bett (Ruheschmerz), schwerste Beeinträchtigung | 0 |

ADL

| | | |
|-------------------------------------|--|---|
| Treppen steigen | | |
| | Eine Stufe nach der anderen ohne Nachziehen des Beines und ohne den Gebrauch des Geländers | 4 |
| | Stufe nach Stufe ohne Nachziehen eines Beines, aber mit Geländer | 2 |
| | Treppengehen ist noch möglich mit beliebigen Hilfsmitteln | 1 |
| | Patient ist nicht in der Lage, Treppen zu steigen | 0 |
| Öffentliche Verkehrsmittel | Patient ist in der Lage, öffentliche Verkehrsmittel zu nutzen | 1 |
| Sitzen | | |
| | Patient kann bequem auf dem Stuhl für 1 Stunde sitzen | 5 |
| | Patient kann bequem auf dem Stuhl für eine halbe Stunde sitzen | 3 |
| | Patient ist nicht in der Lage, auf einem Stuhl bequem zu sitzen | 0 |
| Schuhe und Strümpfe anziehen | | |
| | Patient kann ohne Weiteres Strümpfe anziehen und Schuhe binden | 4 |
| | Patient kann unter Schwierigkeiten Strümpfe anziehen und Schuhe binden | 2 |
| | Patient ist nicht in der Lage Strümpfe anzuziehen oder Schuhe zu binden | 0 |

Gefähigkeit

| | | |
|---------------------|--|----|
| Hinken | | |
| | Kein Hinken | 11 |
| | Leichtes Hinken | 8 |
| | Mäßiges Hinken | 5 |
| | Schweres Hinken | 0 |
| Gehilfen | | |
| | Keine | 11 |
| | Einzelner Stock für längere Strecken | 7 |
| | Einzelner Stock für die meiste Zeit | 5 |
| | Unterarm-Gehstütze | 3 |
| | Zwei Stöcke | 2 |
| | Zwei Unterarm-Gehstützen oder Gehunfähigkeit | 0 |
| Entfernungen | | |
| | unbegrenzt | 11 |
| | Zwei Kilometer | 8 |
| | 200-500 Meter | 5 |
| | Nur in der Wohnung | 2 |
| | Bett oder Stuhl | 0 |

Deformitäten

| | | |
|--------------------------|------------------|---|
| Adduktionskontraktur | Weniger als 10° | 1 |
| | 10° oder mehr | 0 |
| Innenrotationskontraktur | Weniger als 10° | 1 |
| | 10° oder mehr | 0 |
| Beugekontraktur | Weniger als 15° | 1 |
| | 15° oder mehr | 0 |
| Beinlängendifferenz | Weniger als 3 cm | 1 |
| | 3 cm oder mehr | 0 |

Mobilität (in allen Ebenen)

| | | |
|-----------|----------|---|
| Mobilität | 300-210° | 5 |
| Mobilität | 209-160° | 4 |
| Mobilität | 159-100° | 3 |
| Mobilität | 99-60° | 2 |
| Mobilität | 59-30° | 1 |
| Mobilität | 29-0° | 0 |

Western Ontario Mac Master Arthritis Center (WOMAC) Arthrose-Index von Bellamy und Buchanan (1986) [125]

Als weit verbreiteter Selbsteinschätzungsfragebogen dient der WOMAC zur Identifizierung der Arthrose bedingten Auswirkungen. Dabei fallen verstärkt Patienten mit Hüftoder Kniearthrose in den Fokus. Der Fragebogen beläuft sich auf 24 Fragen, die sich drei Kategorien zuteilen lassen. Dabei fokussieren 5 Fragen die Thematik Schmerz, 2 Fragen die Steifigkeit, wohingegen die restlichen Fragen Bezug zur körperlichen Aktivität nehmen. Der Test verdeutlicht eine Korrelation zwischen Beweglichkeit im Gelenk, Alltagsbeeinträchtigung und radiologischer Zeichen. Die einzelnen Skalen verwenden die folgend genannten Deskriptoren für alle Items: keine, leicht, mittel, schwer und extrem. Entsprechend gilt eine Ordinalskala von 0-4.

Folgend werden die Punktzahlen der Items jeder Subskala summiert. Somit ist ein Gesamtwert von 69 Punkten möglich.

Schmerz: 0-20

Steifheit: 0-8

Körperliche Funktion: 0-68

Höhere Punktwerte angesichts des WOMACs geben eine deutliche Schmerzsymptomatik, ein hohes Maß an Steifigkeit und eine erhebliche Funktionseinschränkung an.

WOMAC Osteoarthritis Index

Schmerz

Denken Sie an die Schmerzen, die Sie in den letzten 48 Stunden aufgrund der Arthrose hatten.

Wählen sie eine der folgenden Zahlen, die Ihre Schmerzen am ehesten beschreibt.

Wie stark waren Ihre Schmerzen?

| | Keine | Mild | Moderat | Schwer | Sehr schwer |
|---|-------|------|---------|--------|-------------|
| 1. ... beim Gehen auf einer ebenen Fläche | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 2. ... wenn Sie eine Treppe hinauf- oder hinuntergehen? | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 3. ... in der Nacht, wenn Sie im Bett liegen (stören die Schmerzen Ihren Schlaf?) ? | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 4. ... beim Sitzen oder Liegen? | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 5..... im Stehen? | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |

Gesamtscore – Schmerz: max. 20 Punkte

Steifheit

Denken Sie an die Bewegungseinschränkung bzw. Steifheit (nicht an den Schmerz), die Sie in den letzten 48 Stunden aufgrund Ihrer Arthritis verspürt haben.

Bitte wählen sie die Zahl, die Ihre Steifheit (weniger Beweglichkeit im Gelenk) am besten beschreibt.

| | Keine | Mild | Moderat | Schwer | Sehr schwer |
|--|--------------|-------------|----------------|---------------|--------------------|
| 6. Wie stark war Ihre Steifheit am Morgen nach dem Aufwachen? | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 7. Wie stark war Ihre Steifheit nach dem Sitzen oder Liegen oder beim Ausruhen im Verlauf des Tages? | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |

Gesamtscore – Steifigkeit: max. 8 Punkte

Schwierigkeiten bei der Ausführung alltäglicher Aktivitäten

Denken Sie an die Schwierigkeiten, die Sie in den letzten 48 Stunden wegen der Arthritis in Ihrem Knie oder Ihrer Hüfte bei den folgenden täglichen körperlichen Tätigkeiten hatten.

Wählen Sie die Zahl, die Ihre Schwierigkeiten am ehesten beschreibt.

Wie viele Schwierigkeiten hatten Sie?

| | Keine | Mild | Moderat | Schwer | Sehr schwer |
|--|--------------|-------------|----------------|---------------|--------------------|
| 8. ... wenn Sie die Treppe hinuntergehen? | | | | | |
| 9. ... wenn Sie die Treppe hinaufgehen? | | | | | |
| 10. beim Aufstehen aus einer sitzenden Position? | | | | | |
| 11. im Stehen? | | | | | |
| 12. ... beim Beugen zum Boden? | | | | | |
| 13.beim Gehen auf einer ebenen Fläche? | | | | | |
| 14. ... beim Einsteigen in/aus ein/einem Auto/Bus? | | | | | |
| 15. ... beim Einkaufen? | | | | | |
| 16. ... beim Anziehen von Socken, Strumpfhosen oder Strümpfen? | | | | | |
| 17. ... wenn Sie aus einem Bett aufstehen? | | | | | |
| 18. ... beim Ausziehen der Socken, Strumpfhose, Strümpfe? | | | | | |
| 19. ... wenn Sie im Bett liegen? | | | | | |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|
| 20..... wenn Sie in die Badewanne ein oder aussteigen? | | | | | |
| 21..... im Sitzen? | | | | | |
| 22. beim Betreten oder Verlassen der Toilette? | | | | | |
| 23. ... bei schweren Hausarbeiten? | | | | | |
| 24. bei leichter Hausarbeit? | | | | | |

Gesamtscore – Einschränkung der Alltagsaktivität: max. 68 Punkte

Absoluter WOMAC Score: max. 96 Punkte

Score nach Merle d'Aubignè und Postel (1954) [127]

Jener klinische Score dient der subjektiven (66 %) und objektiven (33 %) Beurteilung von Hüft-Totalendoprothesen. Die Untersuchung erfolgt anhand der drei genannten Kriterien:

- Schmerzen
- Bewegungsumfang der Hüfte
- Gehfähigkeit

Eine Maximalpunktzahl von sechs Punkten kann in jeder Kategorie erreicht werden. Die Beurteilung der Hüftfunktion resultiert aus der Addition der einzeln erreichten Punktwerte.

Schlechtes Ergebnis: 0 – 8 Punkte

Mäßiges Ergebnis: 9 – 12 Punkte

Gutes Ergebnis: 13 – 16 Punkte

Sehr gutes Ergebnis: 17 – 18 Punkte

Schmerz

| | |
|---|---|
| Dauerschmerz, starke Schmerzintensität | 0 |
| Starker Schmerz, besonders nächtlicher Schmerz | 1 |
| Starker Schmerz beim Laufen, Aktivitätseinschränkung | 2 |
| Schmerz ist tolerierbar bei wenig Aktivität | 3 |
| Leichter Schmerz beim Gehen, Nachlassen der Schmerzen in Ruhe | 2 |
| Leichter, unregelmäßiger Schmerz, keine Aktivitätseinschränkung | 1 |
| Keine Schmerzen | 0 |

Beweglichkeit

| | |
|---|---|
| Ankylose und schlechte Hüftposition | 0 |
| Keine Beweglichkeit, leichte Deformität/Schmerz | 1 |
| Flexion < 40° | 2 |
| Flexion 40 – 60° | 3 |
| Flexion 60 – 80°; Patient kann seinen Fuß erreichen | 4 |
| Flexion 80 – 90°; Abduktion bis zu 15° | 5 |
| Flexion > 90°; Abduktionsausmaß: bis 30° | 6 |

Gehfähigkeit

| | |
|---|---|
| Gehunfähigkeit | 0 |
| Gehen nur mit Gehstützen | 1 |
| Gehen nur mit Gehstock | 2 |
| Gehen nur mit Gehstock für weniger als 1 Stunde; ohne Stock nur mit Schwierigkeiten | 3 |
| Lange Zeit mit einem Stock; kurzes Gehen ohne Stock mit Hinken | 4 |
| Gehen ohne Stock, leichtes Hinken | 5 |
| Normales Gangbild | 6 |

SF-36-Fragebogen [128]

Bestandteil des SF-36-Fragebogens sind insgesamt 36 Fragen, gegliedert in acht Subgruppen. Jener stellt eine mehrdimensionale Messmethodik dar und kann krankheitsspezifisch angewandt werden. Fokussiert werden körperliche, psychische und soziale Aspekte.

1. Wie würden Sie Ihren Gesundheitszustand beschreiben?

| | |
|---------------|-----------------------|
| Ausgezeichnet | <input type="radio"/> |
| Sehr gut | <input type="radio"/> |
| Gut | <input type="radio"/> |
| Weniger gut | <input type="radio"/> |
| Schlecht | <input type="radio"/> |

2. Vergleichend zum vergangenen Jahr, wie würden sie Ihren momentanen Gesundheitszustand beschreiben?

| | |
|--|-----------------------|
| Momentan viel besser als vor einem Jahr | <input type="radio"/> |
| Etwas besser als vor einem Jahr | <input type="radio"/> |
| Ca. so wie vor einem Jahr | <input type="radio"/> |
| Momentan etwas schlechter als vor einem Jahr | <input type="radio"/> |
| Viel schlechter als vor einem Jahr | <input type="radio"/> |

3. Die folgend dargestellten Fragen beschreiben Tätigkeiten des alltäglichen Lebens.

Schränkt Sie Ihr momentaner Gesundheitszustand bei diesen Alltagsaktivitäten ein?

Falls ja, wie stark?

| | Ja, starke Einschränkung | Ja, geringe Einschränkung | Nein, keine Einschränkung |
|--|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Anstrengende Tätigkeiten (schnelles Laufen, Heben schwerer Gegenstände, Sport) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Mittelschwere Tätigkeiten (Staubsaugen, Golf, Kegeln) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Heben/Tragen der Einkaufstasche | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Mehrere Treppenstufen steigen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

| | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Eine Treppenstufe steigen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Sich beugen, bücken, hinknien | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

| | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Eine große Strecke zu Fuß zurücklegen (> 1 Kilometer) | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Eine Strecke von mehr als 100 Metern zurücklegen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| 100 Meter | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Sich anziehen oder baden | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |

4. Wie oft traten in den vergangenen 4 Wochen wegen Ihrer körperlichen Gesundheit Schwierigkeiten bei der Arbeit oder anderen Tätigkeiten im Beruf oder Zuhause auf?

| | Immer | Meistens | Manchmal | Selten | Nie |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Ich konnte nicht so lange wie üblich meine Tätigkeit ausführen | <input type="radio"/> |
| Ich habe weniger geschafft, als geplant war | <input type="radio"/> |
| Ich konnte nur bestimmte Dinge ausführen | <input type="radio"/> |
| Es war eine besondere Anstrengung nötig, damit ich die Tätigkeiten ausführen konnte | <input type="radio"/> |

5. Wie oft traten in den vergangenen 4 Wochen wegen seelischer Probleme Schwierigkeiten bei der Arbeit oder bei Alltagsaktivitäten im Beruf oder Zuhause auf
 (Gefühl der Traurigkeit, Niedergeschlagenheit)?

| | Immer | Meistens | Manchmal | Selten | Nie |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Ich konnte nicht so lange wie üblich meine Tätigkeit ausführen | <input type="radio"/> |
| Ich habe weniger geschafft, als geplant war | <input type="radio"/> |
| Ich konnte nicht so sorgfältig wie üblich arbeiten | <input type="radio"/> |

6. Wie sehr haben Ihre körperliche oder seelische Gesundheit in den letzten 4 Wochen auf Ihre Sozialkontakte (Familie, Freunde, Nachbarn) Einfluss genommen?

| | |
|------------------------|-----------------------|
| Überhaupt nicht | <input type="radio"/> |
| Etwas | <input type="radio"/> |
| Mäßig | <input type="radio"/> |
| Ziemlich | <input type="radio"/> |
| Sehr | <input type="radio"/> |

7. Wie stark würden Sie Ihre Schmerzen in den letzten 4 Wochen einschätzen?

| | |
|-------------------------------|-----------------------|
| Keine Schmerzen | <input type="radio"/> |
| Sehr leichte Schmerzen | <input type="radio"/> |
| Leichte Schmerzen | <input type="radio"/> |
| Mäßige Schmerzen | <input type="radio"/> |
| Starke Schmerzen | <input type="radio"/> |
| Sehr starke Schmerzen | <input type="radio"/> |

8. Inwiefern wurden Sie durch die Schmerzen bei der Bewältigung alltäglicher Tätigkeiten in den letzten 4 Wochen eingeschränkt?

| | |
|------------------------|-----------------------|
| Überhaupt nicht | <input type="radio"/> |
| Etwas | <input type="radio"/> |
| Mäßig | <input type="radio"/> |
| Ziemlich | <input type="radio"/> |
| Sehr | <input type="radio"/> |

In den folgenden Fragestellungen geht es darum, wie Sie sich fühlen und wie Sie Ihr Befinden in den vergangenen 4 Wochen beschreiben würden.

(Bitte kreuzen Sie in jeder Zeile das Kästchen an, welches Ihrem Befinden am ehesten gleicht)

9. Wie oft waren Sie in den vergangen vier Wochen ...

| | Immer | Meistens | Manchmal | Selten | Nie |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ... voller Leben? | <input type="radio"/> |
| ... sehr nervös? | <input type="radio"/> |
| ... so niedergeschlagen, sodass Sie nichts aufheitern konnte? | <input type="radio"/> |
| ... ruhig und gelassen? | <input type="radio"/> |
| ... voller Energie? | <input type="radio"/> |
| ... entmutigt und traurig? | <input type="radio"/> |
| ... erschöpft? | <input type="radio"/> |
| ... glücklich? | <input type="radio"/> |
| ... müde? | <input type="radio"/> |

10. Wie oft haben Ihre körperliche oder seelische Gesundheit in den letzten 4 Wochen Ihre Sozialkontakte (Familie, Freunde, Nachbarn) beeinträchtigt?

| | |
|-----------------|-----------------------|
| Immer | <input type="radio"/> |
| Meistens | <input type="radio"/> |
| Manchmal | <input type="radio"/> |
| Selten | <input type="radio"/> |
| Nie | <input type="radio"/> |

11. Inwiefern treffen die folgenden Aussagen auf Sie zu?

| | Trifft ganz zu | Trifft überwiegend zu | Weiß ich nicht | Trifft eher nicht zu | Trifft überhaupt nicht zu |
|---|----------------|-----------------------|----------------|----------------------|---------------------------|
| Ich scheine etwas leichter als andere krank zu werden | | | | | |
| Ich bin genauso gesund, wie meine Mitmenschen | | | | | |
| Ich erwarte, dass sich mein Gesundheitszustand verschlechtert | | | | | |
| Mein Gesundheitszustand ist ausgezeichnet | | | | | |

Kriterien des American College of Rheumatology (ACR) Diagnosestellung der Koxarthrose [129]

1.

- Schmerzen im Hüftgelenk und bei einer Innenrotation von < 15°
- Blutsenkungsgeschwindigkeit (BKS) < 45 mm/Std.
- Flexion < 115°

oder

2.

- Schmerzen im Hüftgelenk und bei einer Innenrotation von < 15°
- Morgensteifigkeit in der Hüfte < 60 min.
- Alter < 50 J.
- schmerzhafte Innenrotation

oder

3.

Schmerzen sowie zwei der folgend aufgeführten Punkte:

- BKS < 20 mm/Std.
- acetabuläre und/oder femorale Osteophyten
- Verschmälerung des Gelenkspalts (superior, medial und/oder axial)

Checkliste: Indikation zur Hüft-TEP bei Koxarthrose^[105]

| Indikationskriterien | | Ja | Nein |
|---|--|--------------------------|--------------------------|
| Struktur-schaden | Coxarthrose mind. Kellgren/Lawrence Grad 3 (oder Hüftkopfnekrose mind. ARCO III c) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Konservative Therapie | Kombination aus medikamentöser und nicht-medikamentöser Therapie seit mindestens 3 Monaten | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | Kernelemente nicht-medikamentöser konservativer Therapie erfolgt: Information, Bewegungstherapie, ggf. Gewichtsreduktion | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Hoher Leidens-druck trotz konservativer Therapie | Hüftbezogene Beschwerden (Schmerzen, Funktionseinschränkung) Messinstrument/Score: _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | Gesundheitsbezogene Lebensqualität Messinstrument/Score: _____ | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Begründung falls "nein" | | | |

| Kontraindikationen | | Ja | Nein |
|---|--|--------------------------|--------------------------|
| Aktive Infektion (von Gelenken, Weichteilen oder hämatogen streuend) | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Akute oder chronische Begleiterkrankungen mit erhöhtem Sterberisiko | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ggf. welche?: _____ | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| BMI ≥ 40 kg/m² | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Sonstige Kontraindikationen gegen OP | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Ggf. welche?: _____ | | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Begründung falls "ja" | | | |

Mindestvoraussetzung zur Hüft-TEP gegeben? Ja Nein

| Modifizierbare Risikofaktoren | entfällt | Ja | Nein |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Nikotin: Karenz mind. 4 Wochen vor OP bis Wundheilung empfohlen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Diabetes mellitus: HbA1c-Wert unter 8 % | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| BMI > 30 kg/m²: Gewichtsabnahme empfohlen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Anämie: Optimierung erfolgt | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Intraartikuläre Injektion von Cortikosteroiden: keine Hüft-TEP innerhalb von 6 Wochen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| V.a. psychische Erkrankung: fachspezifische Abklärung empfohlen | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Begründung falls "nein" | | | |

| Partizipative Entscheidungsfindung | | | |
|--|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Patient*innenziele Bitte notieren Sie die wichtigsten Ziele, die durch die Operation erfüllt werden sollen. | Ärztliche Einschätzung der Erfüllung | | |
| | Wahr-scheinlich | unsicher | Unwahr-scheinlich |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Gemeinsame Entscheidung: **Hüft-TEP-Operation** Ja Nein

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildung 1: Komponenten des künstlichen Gelenkersatzes ^[124] | 13 |
| Abbildung 2: Implantation einer primären Hüftendoprothese bei Koxarthrose ^[123] | 14 |
| Abbildung 3: Einteilung des Schmerzcharakters bei Koxarthrose ^[16] | 17 |
| Abbildung 4: Risikofaktoren der Hüft-OA ^[35] | 23 |
| Abbildung 5: Keine Arthrose ^[48] | 26 |
| Abbildung 6: Arthrose Grad I ^[48] | 26 |
| Abbildung 7: Arthrose Grad II ^[48] | 27 |
| Abbildung 8: Arthrose Grad III ^[48] | 27 |
| Abbildung 9: Arthrose Grad IV ^[48] | 28 |
| Abbildung 10: Stadien der Koxarthrose nach dem Kellgren-Lawrence-Score (KL)..... | 28 |
| Abbildung 11: Koxarthrose-Stadien ^[122] | 28 |
| Abbildung 12: Radiologische Kriterien der Koxarthrose ^[26] | 29 |
| Abbildung 13: MR Arthrografia der rechten Hüfte (koronar). Darstellung des Labrum acetabulare und der Gelenkknorpel ^[6] | 30 |
| Abbildung 14: CT des Hüftgelenks (a Normalbefund, b posteriore Arthrose, c posteriore Arthrose) ^[6] | 30 |
| Abbildung 15: Empfohlener Behandlungsansatz bei Arthrose ^[55] | 32 |
| Abbildung 16: Therapieregime in Abhängigkeit vom Schweregrad der Koxarthrose ^[26, 35, 48] .. | 37 |
| Abbildung 17: Röntgenbildaufnahme mit zementierter Hüft-TEP ^[118] | 43 |
| Abbildung 18: Röntgenbildaufnahme einer zementfreien Prothesenimplantation ^[118] | 46 |
| Abbildung 19: Schemadarstellung zur Wahl der Hüftpfannenverankerung bei einem Patientenkollektiv ≤ 60. Lebensjahr ^[6] | 47 |
| Abbildung 20: Schemadarstellung zur Wahl der Hüftpfannenverankerung bei einem Patientenkollektiv ≤ 80. Lebensjahr ^[6] | 47 |
| Abbildung 21: Präparation der Hüftpfanne bei Einbringung einer primären Hüft-TEP ^[6] | 48 |
| Abbildung 22: Schaftbeispiele ^[6] | 48 |
| Abbildung 23: Zugang bei minimalinvasiver Implantationstechnik ^[118] | 54 |
| Abbildung 24: Planungsaufnahmen der Pfannenpositionierung vor Hüft-TEP-Implantation ^[6] | 56 |
| Abbildung 25: PDCA-Zyklus: Ergebniskontrolle und Planung in der Endoprothetik ^[97] | 56 |
| Abbildung 26: Intraoperative Vermessung bei primärer Hüft-TEP-Implantation | 65 |
| Abbildung 27: Postoperative Vermessung bei primärer Hüft-TEP-Implantation | 66 |
| Abbildung 28: Inklinationswinkel in Abhängigkeit zur Seite (Variablen: 1 = rechts; 2 = links) | 68 |
| Abbildung 29: Inklinationswinkel in Abhängigkeit zum Geschlecht (Variablen: 1 = männlich; 2 = weiblich) | 69 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 30: Patientenzahl absolut | 70 |
| Abbildung 31: Durchschnittlicher Anteil implantierter Hüft-TEPs in Bezug zur Seite | 70 |
| Abbildung 32: Altersverteilung | 72 |
| Abbildung 33: Intraoperativer Inklinationswinkel im Durchschnitt im Vergleich zum post-operativen Inklinationswinkel | 72 |
| Abbildung 34: Inklinationswinkel im Seitenvergleich | 73 |
| Abbildung 35: Normalverteilungskurve der intraoperativen Winkel | 76 |
| Abbildung 36: Normalverteilungskurve der postoperativen Winkel | 76 |
| Abbildung 37: Differenz der Winkel zueinander | 77 |
| Abbildung 38: Korrelation des intraoperativen Winkels in Abhängigkeit zum Alter | 78 |
| Abbildung 39: Korrelation des postoperativen Winkels zum Alter | 79 |
| Abbildung 40: Differenz der Winkel in Abhängigkeit zum Alter Variablen: | 79 |
| Abbildung 41: Differenz der Winkelinklination in Abhängigkeit zu den intraoperativen Winkeln | 80 |
| Abbildung 42: Kategoriale Darstellung der intraoperativen Winkel in Abhängigkeit zur Differenz der Inklinationswinkel | 85 |
| Abbildung 43: Kategorische Darstellung der intraoperativen Winkel in Abhängigkeit zur intraoperativen Winkelinklination | 86 |
| Abbildung 44: Dreiteilung der Winkelkorrektur des intraoperativen Winkels korrelierend zum postoperativen Inklinationswinkel | 86 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Ursachen der Koxarthrose [48] | 20 |
| Tabelle 2: Einteilung der Arthrose nach Kellgren und Lawrence [26, 28, 38, 39, 48, 51, 116] | 25 |
| Tabelle 3: Übungsempfehlungen für Koxarthrose [55] | 32 |
| Tabelle 4: Gliederung des Komplikationsmanagement bei Hüft-TEP [54] | 59 |
| Tabelle 5: Geschlechterverteilung | 70 |
| Tabelle 6: Detaillierte Auswertungsergebnisse nach Seite der Implantation | 71 |
| Tabelle 7: Streuungsmaß der Inklinationswinkel und Differenz der Winkel zueinander | 73 |
| Tabelle 8: Differenz der Inklinationswinkel in Abhängigkeit zum Geschlecht..... | 74 |
| Tabelle 9: Differenz der Inklinationswinkel in Abhängigkeit zur Seite..... | 75 |
| Tabelle 10: Korrelationsanalyse..... | 81 |
| Tabelle 11: Mittelwert-Vergleich der intraoperativen Winkel | 84 |
| Tabelle 12: Abhängigkeit von Winkelkorrektur und intraoperativen Winkel | 84 |
| Tabelle 13: Regressionsanalyse auf Basis der Funktionsgleichung: $y = a+bx$ | 84 |
| Tabelle 14: Häufigkeitsverteilung..... | 85 |
| Tabelle 15: t-Test bei gepaarten Stichproben..... | 87 |
| Tabelle 16: t-Test bei gepaarten Stichproben: Gepaarte Differenzen | 88 |
| Tabelle 17: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel..... | 89 |
| Tabelle 18: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel zwischen 32 – 42°)..... | 90 |
| Tabelle 19: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel..... | 91 |
| Tabelle 20: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel..... | 92 |
| Tabelle 21: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel zwischen 32 – 42°)..... | 93 |
| Tabelle 22: Korrelationsanalyse bei gepaarten Stichproben (Intraoperativer Winkel..... | 94 |

Vorabveröffentlichungen von Ergebnissen

Die folgenden Ergebnisse und Daten wurden bereits vor Veröffentlichung dieser Monografie in den folgenden Publikationen vorab publiziert:

Hoffeld K, Lenz M, Meiss I, Eysel P, Oppermann J. A correction factor is needed for the intraoperative

measurement of cup inclination in total hip arthroplasty. Technology and Health Care.

2024;32(1):459-466. doi:10.3233/THC-230651