Lars Victor von Engelhardt

Rückkehr zur maximalen Alltagsaktivität und zum Sport nach Hüft- und Knieendoprothetik

Aktuelle Konzepte zur operativen Versorgung und zur Rehabilitation

Zusammenfassung:
Die Rückkehr zu einer maximalen Alltagsaktivität und zum Sport stellt heute nach Hüft- und Knieendoprothetik ein zentrales Therapieziel dar und spiegelt einen grundlegenden Paradigmenwechsel wider. Die aktuelle Evidenz zeigt, dass hohe körperliche Aktivität nach erfolgreicher Endoprothetik nicht zwangsläufig mit einer erhöhten Revisions- oder Lockerungsrate verbunden ist. Moderne Materialien wie hochvernetzte Polyethylene sowie verbesserte Implantatdesigns haben den Abrieb deutlich reduziert und schaffen die Voraussetzung für eine langfristig hohe Belastbarkeit. Bei der Knieendoprothetik ermöglichen insbesondere medial pivotierende Implantate eine physiologischere Kinematik, eine hohe Stabilität und günstige Langzeitergebnisse. Parallel hierzu gewinnen moderne zementfreie Knieprothesen mit biologischer Osseointegration insbesondere bei jüngeren und sportlich aktiven Patientinnen und Patienten zunehmend an Bedeutung. Voraussetzung für die sichere Rückkehr zum Sport ist jedoch eine strukturierte, intensive und sportorientierte Rehabilitation mit konsequentem Kraft-, Koordinations-, Propriozeptions- und Ausdauertraining, da sie das funktionelle Ergebnis wesentlich beeinflusst. Im Bereich der Hüfte können bei geeigneter Indikation auch gelenkerhaltende Verfahren wie insbesondere die arthroskopische Behandlung des femoroacetabulären Impingements frühzeitig berücksichtigt werden, um entsprechende Beschwerden zu beseitigen und das Fortschreiten der Arthrose zu verhindern oder hinauszuzögern. Wird ein Gelenkersatz erforderlich, bieten schenkelhals-teilerhaltende Kurzschaftprothesen durch ihre knochensparende Implantation, die anatomische Rekonstruktion der Hüftgeometrie und die physiologische proximale Kraftübertragung günstige Voraussetzungen für eine langfristige Sportfähigkeit. In Kombination mit modernen Gleitpaarungen ermöglichen sie hohe Return-to-Sport-Raten und eine dauerhafte funktionelle Belastbarkeit. Neuartige Kappenprothesen, wie bspw. Keramikkappen stellen eine alternative Innovation dar, wobei die Datenlage hierzu noch minimal ist. Insgesamt zeigen die aktuellen Entwicklungen, dass moderne operative Konzepte und eine konsequent sportorientierte Rehabilitation vielen Patientinnen und Patienten eine langfristige Rückkehr zu einem aktiven, sportlichen und gesundheitsfördernden Lebensstil ermöglichen.

Schlüsselwörter:
Knieendoprothese, Hüftendoprothese, Arthrose, Sport, Rehabilitation

Zitierweise:
von Engelhardt LV: Rückkehr zur maximalen Alltagsaktivität und zum Sport nach Hüft- und Knieendoprothetik. Aktuelle Konzepte zur operativen Versorgung und zur Rehabilitation.
OUP 2026; 15: xxxx–xxxx.
DOI 10.53180/oup.20XX.XXXX–XXXX

L.-V. von Engelhardt: Fakultät für Gesundheit, Universität Witten/Herdecke, Witten & Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Sportmedizin, Klinikum Peine, Peine

© Deutscher Ärzteverlag | OUP | Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis | 2026; 15 (5)

Return to maximum daily activity and sports after hip and knee arthroplasty

Current concepts in surgical management and rehabilitation

Summary: Return to maximum daily activity and sports has become a primary therapeutic goal following total hip and knee arthroplasty, reflecting a fundamental paradigm shift in modern joint replacement surgery. Current evidence indicates that high levels of physical activity after successful arthroplasty are not necessarily associated with increased rates of implant loosening or revision. Modern bearing materials, particularly highly cross-linked polyethylene, together with advances in implant design, have substantially reduced wear and provide the basis for long-term implant durability under increased functional demands. In total knee arthroplasty, medial pivot implant designs offer a more physiological knee kinematics, improved joint stability, and favorable long-term clinical outcomes. In parallel, modern cementless knee prostheses with biological osseointegration are gaining increasing importance, particularly in younger and physically active patients. However, successful return to sports requires a structured, intensive, and sport-specific rehabilitation program incorporating progressive strength training, neuromuscular coordination, proprioceptive exercises, and endurance training, as rehabilitation has a major impact on functional recovery.
In the hip, joint-preserving procedures may also be considered when clinically indicated, particularly arthroscopic treatment of femoroacetabular impingement, with the aim of alleviating symptoms and preventing or delaying the progression of osteoarthritis. When joint replacement becomes necessary, femoral neck-preserving short-stem prostheses provide favorable conditions for long-term athletic performance through bone-preserving implantation, anatomical restoration of hip geometry, and physiological proximal load transfer. Combined with modern bearing surfaces, these implants achieve high return-to-sport rates and sustained functional performance. Newly developed hip resurfacing prostheses, particularly ceramic resurfacing implants, represent another promising innovation; however, clinical evidence remains limited. Overall, current developments demonstrate that modern surgical concepts combined with consistent sport-oriented rehabilitation enable many patients to achieve a long-term return to an active, athletic, and health-promoting lifestyle.

Keywords: Knee arthroplasty, hip arthroplasty, osteoarthritis, sports, rehabilitation

Citation: von Engelhardt LV: Return to maximum daily activity and sports after hip and knee arthroplasty. Current concepts in surgical management and rehabilitation.
OUP 2026; 15: xxxx–xxxx. DOI 10.53180/oup.20XX.XXXX–XXXX

Einleitung

Die Sportfähigkeit nach endoprothetischer Versorgung ist für viele Patientinnen und Patienten kein nachrangiger Wunsch, sondern zentrales Therapieziel. Das wundert nicht. Die Rückkehr zu Sport und zu einer aktiven Freizeitgestaltung bedeutet Lebensqualität, und soziales sowie mentales Wohlbefinden [44]. Auch beinhaltet die Rückkehr zur körperlichen Aktivität erhebliche allgemeingesundheitliche Vorteile, da die regelmäßige Bewegung kardiovaskuläre Risiken reduziert, unsere Muskelkraft erhält, einer allgemeinen Sturz- und Unfallneigung entgegenwirkt, die Stoffwechsellage signifikant verbessert und etwaige depressive Symptome reduzieren kann [131]. Auch die WHO empfiehlt eine regelmäßige sportliche Aktivität, sodass eine endoprothetische Versorgung nicht als Anlass zur Schonung, sondern ganz anders als Möglichkeit zur Wiederaufnahme gesundheitsfördernder Aktivität verstanden werden sollte [14]. Auch beruflich ist die Situation nicht zu vernachlässigen. Die Wiederherstellung körperlicher Belastbarkeit erlaubt die Rückkehr in den Beruf, sodass eine endoprothetische Versorgung für viele ein wichtiger sozioökonomischer Endpunkt ist [124].

Heute zählt die Implantation einer Hüft- oder Knieendoprothese zu den erfolgreichsten rekonstruktiven Eingriffen der modernen Orthopädie [69, 122]. Während früher vor allem Schmerzfreiheit und Gehfähigkeit als primäre Erfolgsparameter galten, erwarten wir heute nach der endoprothetischen Versorgung die volle berufliche Belastbarkeit einschließlich der Wiederaufnahme sportlicher Aktivitäten [43]. Diese Entwicklung ist klinisch bedeutsam, weil zunehmend jüngere und aktivere Patientinnen und Patienten eine Hüft- oder Knieendoprothese erhalten. So stieg die Zahl primärer Gelenkendoprothesen bei Patientinnen und Patienten unter 45 Jahren innerhalb der letzten 15 Jahre um mehr als 45 % [117]. Mit der zunehmenden Zahl jüngerer Patientinnen und Patienten sehen wir uns immer häufiger mit der Frage konfrontiert, in welchem Umfang nach einer primären Gelenkendoprothese eine Rückkehr zu sportlichen Aktivitäten möglich ist. Aufgrund der jüngeren und aktiven Patientinnen und Patienten und der deutlich zunehmenden Lebenserwartung rückt zudem die Haltbar-

keit des Implantats stärker in den Fokus. Dabei geht es nicht nur um den Verschleiß einer Endoprothese, sondern auch um darüber hinaus bestehende Risiken wie die Entwicklung einer Instabilität, den periprothetischen Knochenabbau und auch periprothetische Frakturen [20, 119]. So wird nicht nur die Standzeit des Implantats, sondern auch die langfristige Funktion und Schmerzfreiheit des versorgten Gelenkes entscheidend [64, 123].

Nach einer erfolgreichen endoprothetischen Versorgung an der Hüfte und am Kniegelenk sollten gering- und mittelgradig belastende Sportarten ausdrücklich empfohlen werden, da dies die Funktion, Ausdauer, Gewichtskontrolle und Lebensqualität erheblich verbessern kann [86] Im Vergleich zur Knieendoprothetik ist die Sportfähigkeit nach Hüfttotalendoprothese tendenziell als ein wenig günstiger anzusehen. Dies mag daran liegen, dass bei der Hüfte als Kugelgelenk sehr viel selbstverständlicher ein natürlicheres Bewegungsgefühl erreicht wird als beim Kniegelenk [87]. Dies ist bei vielen Implantatversorgungen des Kniegelenkes nicht unbedingt sichergestellt [99]. Während am Kniegelenk klassische Empfehlungen vor allem einfache Sportarten wie Wandern, Radfahren, Schwimmen, Skilanglauf, Golf, Krafttraining, etc. erlauben, stellt sich allerdings auch hier ein zunehmender Paradigmenwechsel ein [41]. So zeigt sich in neueren Umfragen unter Fachkollegen eine zunehmend liberale Haltung gegenüber belastenderen Sportarten wie Tennis, Skiabfahrt, Joggen, Fußball, Basketball, Squash oder gar Kontaktsportarten. Wichtig ist, dass die Patientinnen und Patienten hier sporterfahren sind, schrittweise wieder auftrainieren und keine Risikofaktoren vorliegen [65]. Interessant ist in diesem Zusammenhang die weitläufig über lange Zeit vertretene Meinung, dass intensive sportliche Belastung zwangsläufig zu einem erhöhten Polyethylenverschleiß und aseptischer Lockerung führt. Diese Annahme beruhte jedoch überwiegend auf theoretischen biomechanischen Überlegungen und älteren Implantatgenerationen. Neuere Studien zeichnen ein differenzierteres Bild. Mont et al. untersuchten Patientinnen und Patienten, die nach Knieendoprothese regelmäßig Tennis spielten, Ski fuhren oder joggten. Sie fanden keinen Hinweis auf eine erhöhte Lockerungsrate im mittelfristigen Verlauf [93]. Ähnliche Ergebnisse, wonach sich für sportlich sehr aktive Patientenkollektive im Langzeitverlauf keine erhöhte Reoperations- oder Revisionsrate nachwiesen lassen, zeigten Ennis et al., Leitner et al., sowie Konings et al. [27, 60, 70]. Besonders aussagekräftig ist ein systematisches Review von Kornuijt et al., das mehr als 4.800 Knieendoprothesen einschloss. Trotz deutlich höherer Aktivitätsniveaus zeigte sich innerhalb der ersten 10–12 Jahre kein Zusammenhang zwischen hoher körperlicher Aktivität und einem erhöhten Risiko für ein Implantatversagen oder Revisionen [61]. Crawford et al. zeigten bei Patientinnen und Patienten mit hohen UCLA-Aktivitätsscores sogar teilweise bessere Implantatüberlebensraten als weniger aktive Patientinnen und Patienten. Hier wurde diskutiert, dass sportlich aktive Patientinnen und Patienten von einer besseren Muskulatur, höherer Koordination und geringerem Body-Mass-Index profitieren, wodurch die tatsächliche Gelenkbelastung günstiger verteilt wird [18].

Die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Rückkehr zum Sport hängt wesentlich vom präoperativen Aktivitätsniveau, Alter, Body-Mass-Index, Muskelkraft, Motivation, Sporterfahrung und der Qualität der Rehabilitation ab [57]. Ist dies gegeben, sind auch belastende Sportarten wie alpines Skifahren, Tennis, etc. mit dem Erreichen einer guten muskulären Kontrolle nach individueller Absprache mit dem Operateur durchaus vertretbar [58]. Viele aktuelle Ergebnisse und Kenntnisse haben zu einem Wandel des klinischen Vorgehens beigetragen, sodass die heutige Beratung in den letzten Jahren zunehmend patientenindividuell erfolgt. An die Stelle pauschaler Verbote tritt eine differenzierte Risikoabschätzung unter Berücksichtigung von Alter, Körpergewicht, Knochenqualität, Implantattyp, Implantatdesign, der Gleitpaarung, einer erfolgreichen Positionierung, der Knochen- und Weichteilqualität, dem Körpergewicht, der sportlichen Erfahrung und dem Rehabilitationsverlauf [136].

Kniegelenksarthrose – Konzepte für sportlich aktive Patientinnen und Patienten

Ein wesentlicher Fortschritt in der Knieendoprothetik betrifft die Materialien. Hier ist insbesondere die Entwicklung moderner Polyethylene zu nennen. Während konventionelle Polyethylene über viele Jahre als limitierender Faktor für die Langzeitstabilität galt, zeigen hochvernetzte Polyethylene eine erhebliche Reduktion des Abriebs gegenüber konventionellen Polyethylenen [94]. Klinische Untersuchungen und Registeranalyse bestätigen die langfristig reduzierten Abriebraten und verbesserten Implantatstandzeiten der hochvernetzten Polyethylene [76, 95]. Diese Materialentwicklung stellt eine wesentliche Voraussetzung dafür dar, dass heute auch anspruchsvolle sportliche Aktivitäten angestrebt werden können.

Weitere neue Erkenntnisse betreffen die Biomechanik des Kniegelenkes. Das natürliche Knie bewegt sich während der Flexion keinesfalls als einfaches Scharniergelenk. Vielmehr bleibt das gesunde Kniegelenk im medialen Kompartiment stabil, während sich das laterale Kompartiment ventrodorsal bewegt (Abb. 1b). Dieses Bewegungsmuster bildet heute die biomechanische Grundlage vieler moderner Kniegelenksimplantate [30]. Die zumeist verwendeten konventionellen Cruciate-Retaining- oder Posterior-Stabilized-Prothesen bilden diese Kinematik allenfalls eingeschränkt nach. Vielmehr findet sich recht häufig ein paradoxes Gleiten, das gerade unter sportlicher Belastung mit Instabilitätsbeschwerden und vorderen Knieschmerzen einhergehen kann [80, 92]. Mit dem Ziel die physiologische Kinematik eines gesunden Kniegelenkes nachzubilden, wurden sog. medial pivotierende Designs entwickelt, bei denen die mediale Seite als hochkongruentes Kugelgelenk mit einem fixen Krümmungsradius gestaltet ist. Aufgrund dieses Nussgelenkähnlichen Designs innenseitig werden diese Implantate werden auch als „ball-in-socket“ Endoprothesen bezeichnet (Abb. 1a, c, d). Dies erlaubt innenseitig eine konstante Spannung des Innenbandkomplexes mit einer entsprechend zuverlässigen Stabilität. Die äußere Seite zeichnet sich hin-

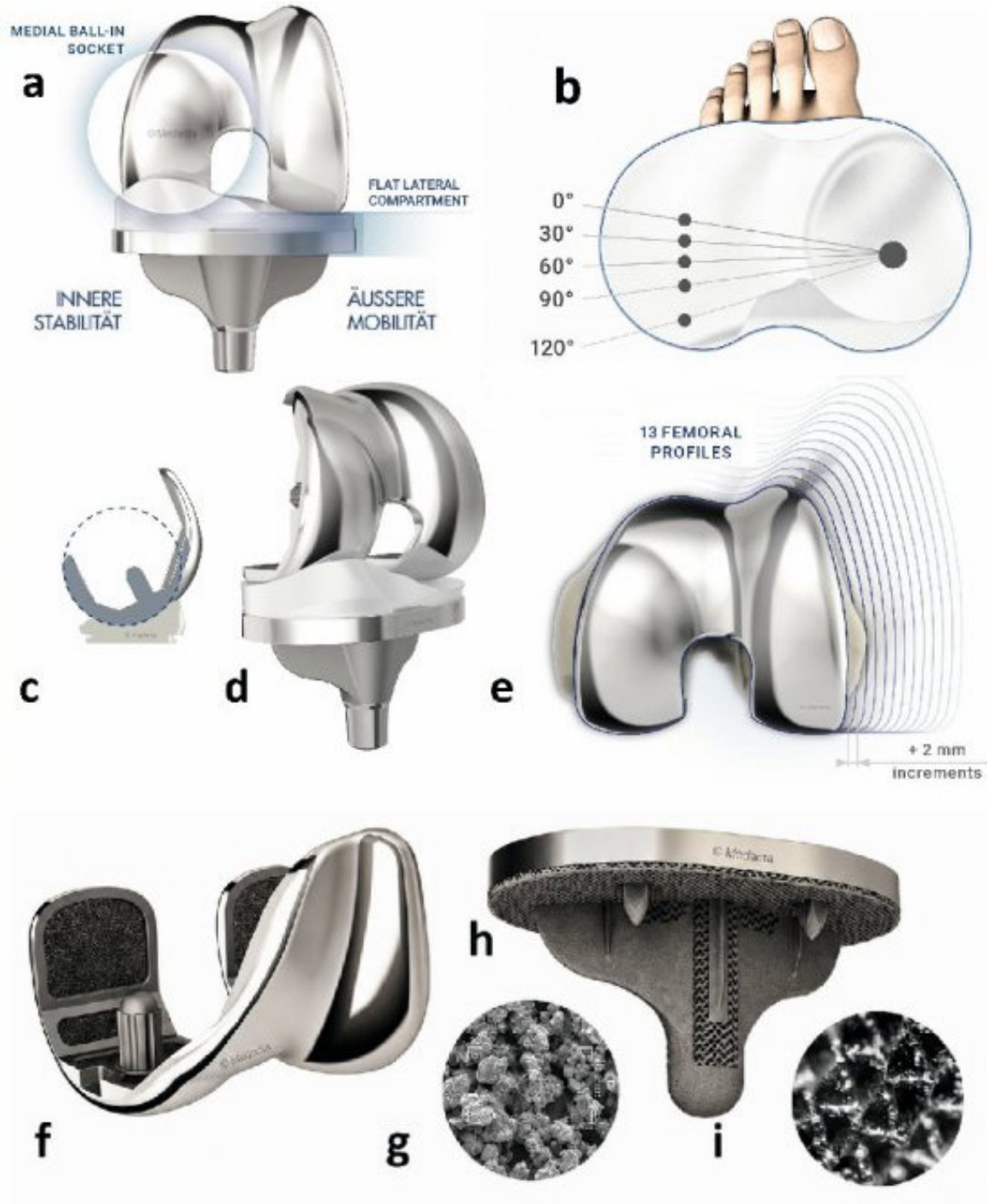


Abb. 1: Mit freundlicher Genehmigung von Medacta Int.

Abbildung 1 Prinzip der medial pivotierenden Kniegelenke bzw. "ball-in-socket"-Systeme, die das Ziel haben die physiologische Kinematik eines gesunden Kniegelenkes nachzubilden. Der innere Gelenksanteil verhält sich wie ein stabil geführtes Kugelgelenk **(a–d)**. Dies sichert innenseitig eine konstante Spannung bzw. Stabilität der Seitenbänder, die somit unabhängig vom Beugegrad ist. Die äußere Seite weist, ähnlich wie beim gesunden Knie, eine reduzierte Kongruenz auf, sodass sich das Knie auf dieser Seite unlimitiert vor- und zurückbewegen kann **(a, d)**. Beim gesunden, natürlichen Knie, aber auch bei den medial pivotierenden Kniegelenken, wird die Achse während der Kniebeugung auf der äußeren Seite erheblich nach hinten verlagert, wohingegen im inneren Anteil der Gelenkkontakt nahezu punktgenau bleibt. Von hier aus geführt gleitet der äußere Femurkondylus während der Kniebeugung physiologisch von vorne nach hinten. Er dreht sich dabei um das Zentrum im medialen Kompartiment, das in seinem Drehpunkt stabil bleibt. Dies erlaubt die physiologische pivotierende Bewegung auf der Außenseite **(b)**. Zum Erzielen einer guten Passform, was insbesondere bei den zementfreien Implantaten wesentlich ist, sind die Implantate in eng abgestuften Größen verfügbar **(e)**. Die Rückflächen moderner zementfreier Implantate **(f, h)** haben zum Knochen tiefporige Titan- und Tantaloberflächen, die neben einer hohen Primärstabilität das Einwachsen des Knochens sicherstellen (MectaGrip) **(g)**. An der Tibia finden sich zudem schwammartige, Trabekel-ähnliche, dreidimensional gedruckten Metallstrukturen. Sie bestehen überwiegend aus freiem Raum und ermöglichen so ein besonders tiefes Einwachsen von Knochen in die Implantatrückfläche (3D Metal) **(i)**. Aufgrund der rauhen Oberfläche mit einer hohen Primärstabilität sowie der zuverlässigen und dauerhaften biologischen Osseointegration in beide Strukturen wird aus der zunächst mechanischen Press-fit-Verankerung rasch eine dauerhafte biologische Fixation.

gegen, wiederum ähnlich zum gesunden Knie, durch eine reduzierte Kongruenz aus (Abb. 1a, d), sodass sich diese Seite vor- und zurückbewegen kann [35, 46]. Letztlich rotiert das Kniegelenk bei der Flexionsextensionsbewegung um eine Achse durch den inneren Gelenkanteil, was zu dem Begriff der "medial pivotierenden Endoprothese" geführt hat (Abb. 1b). Sie erlauben am ehesten eine natürliche Kniegelenkskinematik mit einer physiologischeren Bewegungsmöglichkeit im lateralen Gelenkanteil. Aufgrund der hohen kugelförmigen Kongruenz auf der Innenseite findet sich in allen verschiedenen Rotationsstellungen und Beugegraden eine außerordentliche hohe Stabilität [32]. Die hohe Stabilität in unterschiedlichen Funktionsbewegungen des Kniegelenkes ist insbesondere im Sport wertvoll. Diese Stabilität in Verbindung mit einer physiologischen Bewegungsmöglichkeit ist für die Sportfähigkeit und ein vglw. natürliches Bewegungsgefühl wichtig. Gerade für sportlich aktive Patientinnen und Patienten ist dieses natürliche Bewegungsmuster entscheidend, da schnelle Richtungswechsel, Treppensteigen und sportartspezifische Bewegungen eine hohe Gelenkstabilität erfordern. Auch für das Langzeitergebnis zeigt diese Konstruktion mehrere Vorteile. Durch die größere Kontaktfläche zwischen Femur und Polyethylen und die damit verbundene geringere Flächenpressung werden Belastungsspitzen reduziert und gleichzeitig Rotationsstabilität verbessert. Neben der verbesserten anteroposteriore Stabilität reduziert dies nachweislich die Polyethylenbelastung [114]. Die biomechanischen Vorteile spiegeln sich zunehmend auch in klinischen Studien wider. So wurden gegenüber den CR- und PS-Implantaten in den klinischen Outcomescores, in diversen Stabilitätsuntersuchungen, Scores zur Patientenzufriedenheit und zu Schmerzen signifikant bessere Ergebnisse der medial pivotierenden Implantate nachgewiesen [9, 32, 54, 104, 108, 126, 132]. Entsprechend positiv sind auch die Langzeitergebnisse in diversen Studien- und Registerdaten. Im Jahresbericht des britischen Nationalregisters 2023 war ein medial pivotierendes Implantat nach 19 Jahren mit einer kumulativen Revisionsrate von 2,99 % auf Platz 2 der Listung der möglichst niedriger Revisionsraten. Auch die anderen medial pivotierenden Implantate lagen bzgl. niedriger Revisionsraten im oberen Rang der Listung unterschiedlicher Implantatmodelle [98]. Studien zum Langzeit-Outcome und zum langfristigen Überleben medial pivotierender Kniegelenke zeigen wiederum positive Ergebnisse. Eine aktuelle Metaanalyse zu 1592 Kniegelenken mit einem Follow-up von 12,4 Jahren beschreibt die Rate von Implantatversagen in Form aseptischer Lockerungen bei 0,4 % [15]. Dies passt zu den Daten des UK-Registers. Von allen Implantationen, die hier im Laufe der Zeit aufgezeichnet wurden, war die aseptische Lockerung der tibialen Komponente im Vergleich zu den anderen Systemen signifikant seltener ($p < 0{,}001$). Weitere aktuelle Metaanalysen zu medial pivotierenden Kniegelenken zeigten nach 10 und 17 Jahren wiederum sehr gute Langzeitergebnisse in den erhobenen Outcomescores und eine kumulative Überlebensrate von 98,1 % und 98,8 % [2, 77]. Trotz der guten Ergebnisse werden medial-pivotierende Implantate in Deutschland mit nur 4,5 % der Primärversorgungen vglw. selten implantiert, wohingegen sie im angloamerikanischen Raum und in der Schweiz um ein Vielfaches häufiger und mit steigender Nachfrage verwendet werden [25].

Zementfreie Knieendoprothesen

Parallel zur Entwicklung neuer Gleitflächen erlebt auch die zementfreie Knieendoprothetik eine Renaissance. Neben den verbesserten Implantatdesigns sind moderne Titan- und Tantaloberflächen mit schwammartigem, freiem Raum enthaltenden, Trabekelähnlichen, dreidimensional gedruckten Metallstrukturen und/oder hochporöse Kontaktflächen zum Knochen wesentlich (Abb. 1f–i) . Sie ermöglichen ein rasches Einwachsen von Knochen in die Implantatoberfläche. Aufgrund der rauen Oberfläche mit einer hohen Primärstabilität sowie der zuverlässigen und dauerhaften biologischen Osseointegration wird aus der zunächst mechanischen Press-fit-Verankerung rasch eine dauerhafte biologische Fixation [96]. Die biologisch feste Knochen-Implantatverbindung erscheint gerade unter wiederholten zyklischen Belastungen biomechanisch wertvoll und damit insbesondere für hochaktive Patientinnen und Patienten geeignet. Auch bei stark übergewichtigen Patientinnen und Patienten wurden ähnliche mögliche Vorteile der biologischen Fixation beschrieben. So war in einer Vergleichsstudie bei morbider Adipositas die Implantatüberlebensrate in der zementfreien Gruppe signifikant höher als in der zementierten Gruppe. Dies wurde damit erklärt, dass die dauerhafte Osseointegration hohe wiederkehrende Grenzflächenkräfte besser tolerieren kann als ein Zementmantel [116].

Operation und Nachbehandlung der zementfreien Implantate unterscheiden sich nicht sonderlich von der zementierten Versorgung. Ziel der Operation ist die tibial möglichst plane Auflage, eine korrekte Rotation und eine gute kortikale Unterstützung, weshalb solche Implantate zum Erzielen einer guten Passform in vglw. vielen Größenabstufungen verfügbar sind (Abb. 1e). Das Einschlagen sollte so erfolgen, dass eine möglichst hohe Primärstabilität gesichert ist [100]. Ein praktischer Vorteil der zementfreien Knieendoprothetik liegt im Wegfall der Zementierung. Dies vermeidet zementassoziierte technische Fehler, wie bspw. eine unzureichende Penetration in den spongiösen Knochen, inkomplette Zementmäntel, interponierte Blut- oder Fettbestandteile, verbliebene Zementfragmente und thermische oder mechanische Schäden an der Grenzfläche. Bei der zementfreien Implantation hängt der Erfolg dagegen besonders von exakten Knochenschnitten, der sicheren Beurteilung der Knochenqualität und einer ausreichenden Press-fit-Stabilität ab [17]. Bei einer späteren Revision kann das Fehlen eines Zementmantels ein Vorteil sein, weil keine aufwendige, den Knochen ggf. schädigende Zententfernung erforderlich ist [74].

Neben operationstechnischen Vorteilen sehen wir aber die Art der Verankerung als wesentlichen Vorteil an. Bei einer zementierten Knieprothese werden Kräfte über die zementierte Grenzfläche zwischen Implantat und Knochen übertragen. Bei der zementfreien Versorgung entwickelt

sich nach der Osseointegration eine direkte Implantat-Knochenverbindung. Die biologische Fixation ist theoretisch nicht den gleichen Alterungs- und Ermüdungsmechanismen eines Zementmantels unterworfen und erscheint deshalb gerade bei einer sehr hohen Zahl und Stärke zyklischer Belastungen attraktiv [17]. Radiostereometrische Untersuchungen zeigen bei mehreren modernen zementfreien Tibiakomponenten anfänglich eine stärkere Migration als bei zementierten Komponenten, gefolgt von einer Stabilisierung und frühen Setzung nach erfolgter Knochenintegration. Dieses Muster unterscheidet sich von einer kontinuierlichen Migration der zementierten Implantate, die als Warnsignal für eine spätere aseptische Lockerung gilt [42]. Somit ist mit der zementfreien Versorgung nach erfolgter Knochenintegration eine langfristigere Fixation und eine besonders hohe Belastbarkeit zu erwarten. Die dauerhaft belastbarere biologische Fixation und die Vermeidung einer ermüdungsanfälligen Zementschicht ist daher das stärkste Argument für eine zementfreie Knieprothese [75]. Jedoch hängt die Belastbarkeit des Implantats nicht allein von der Fixationsform ab. Implantatposition, Beinachse, Bandstabilität, Kongruenz der Gleitpaarung, Polyethylenqualität, Körpergewicht und Aktivitätsprofil beeinflussen die Kräfte an der Implantat-Knochen-Grenze ebenso wesentlich. So kann auch eine zementfreie Fixation eine Fehlpositionierung oder Instabilität nicht kompensieren [122].

Funktionelle Scores, Schmerzen und Komplikationsraten unterscheiden sich in den meisten Auswertungen nicht wesentlich. Einige Analysen fanden jedoch bei zementfreien Implantaten ein geringeres Risiko einer aseptischen Lockerung und/oder bessere radiologische Ergebnisse, während andere Arbeiten keinen signifikanten Unterschied nachweisen konnten [74, 139]. Belastbare Langzeitergebnisse liegen bis dato nur für einzelne zementfreie Systeme vor. In einer prospektiven Kohorte einer überwiegend zementfreien Knieprothese wurde nach 10 Jahren eine außerordentlich hohe Überlebensrate mit äußerst wenigen revisionspflichtigen aseptischen Lockerungen beschrieben [7]. Weitere Registerstudien, systematische Übersichtsarbeiten und Metaanalysen zeigen inzwischen, dass moderne zementfreie Systeme hinsichtlich Funktion, aseptischer Lockerung und revisionsfreiem Implantatüberleben bessere oder mindestens vergleichbare Ergebnisse wie zementierte Knieprothesen erreichen können [74, 75, 100, 115]. Auch randomisierte Vergleiche gleicher oder eng verwandter Implantatdesigns zeigten, dass eine moderne zementfreie Fixation langfristig klinisch mindestens mit einer zementierten Verankerung vergleichbar ist [97]. Eine Metaanalyse randomisierter Studien bei jüngeren Patientinnen und Patienten fand keine höhere Revisionsrate der zementfreien Versorgung und berichtete teilweise günstigere radiologische Ergebnisse [17]. Interessant ist in diesem Zusammenhang eine 9-Jahres-Langzeituntersuchung, bei der medial pivotierende Kniegelenke mit der üblichen Zementierung mit entsprechenden zementfreien Versorgungen verglichen wurden. Beide Gruppen medial pivotierender Versorgungen zeigten nach 9 Jahren neben sehr guten Outcomergebnissen kein Implantatversagen und keine revisionspflichtigen Komplikationen. Somit lag das Langzeitüberleben nach 9 Jahren jeweils bei 100 %. Auch radiologisch fanden sich keine Zeichen einer beginnenden Lockerung [53]. Auch wenn die biologische Osseointegration bei jungen, aktiven Patientinnen und Patienten mit guter Knochenqualität einen plausiblen Langzeitvorteil darstellt, ist die definitive Überlegenheit, bspw. bei High-Impact-Sportarten, noch nicht durch prospektive Langzeitstudien belegt [74]. So sind viele Daten für sehr langfristige Zeiträume von über 20 Jahren noch fehlend, sodass ein abschließender Beweis zu den diskutierten Vorteilen zementfreier Implantate noch aussteht [100]. Dennoch zeigen mehrere Register in Nordamerika und Europa aktuell eine kontinuierlich steigende Implantationsrate zementfreier Knieprothesen [3, 6].

Frauen und zementfreie Knieendoprothetik

Bei Frauen unterscheidet sich die Indikation zur zementfreien Versorgung grundsätzlich nicht von denen bei Männern [75]. Hierbei ist zu bedenken, dass gerade Frauen aufgrund ihrer langen Lebenserwartung von einer knochenerhaltenden biologischen Fixation profitieren, sodass zementfreie Systeme auch hier eine überzeugende, zunehmend evidenzbasierte Alternative darstellen [96].

Studien zur Knochendichte zeigen, dass Frauen gegenüber Männern um 12–25 % verringerte Werte aufweisen [88]. Vor diesem Hintergrund ist gerade bei Frauen auf eine gute Knochenqualität zu achten. Sollte sich intraoperativ eine schlechte metaphysäre Knochenqualität und/oder eine unzureichende Primärstabilität zeigen, sollte dagegen eine zementierte oder hybride Fixation erwogen werden. In solchen Fällen stellt eine zementierte Fixation weiterhin die verlässlichere Option dar [17, 74, 100]. Ansonsten ist die moderne zementfreie Knieprothese auch bei Frauen mit guter Knochenqualität, hoher Aktivität und langer erwarteter Implantatnutzungsdauer eine besonders attraktive Versorgungsmöglichkeit [17, 74].

Rehabilitation zur Wiedererlangung der Sportfähigkeit nach Knieendoprothetik

Heute zeigt die Knieendoprothetik eine deutliche Änderung des Grundverständnisses. Während körperliche Aktivität früher überwiegend als potenzielles Risiko für das Implantat betrachtet wurde, gilt sie heute als wesentlicher Bestandteil einer erfolgreichen Behandlung. Zwar schaffen moderne Implantate und verbesserte Operationstechniken die biomechanischen Voraussetzungen für eine höhere Belastbarkeit, dennoch wird das funktionelle Ergebnis maßgeblich durch die Qualität der Rehabilitation bestimmt. Ohne eine hochwertige Rehabilitation ist eine Sportfähigkeit kaum realistisch. Obwohl ein Großteil der Evidenz aus der Sporttraumatologie stammt, werden diese Rehakonzepte zunehmend auch auf sportlich ambitionierte Patientinnen und Patienten nach Knieendoprothetik übertragen.

Zahlreiche Studien zeigen, dass die postoperative Sportfähigkeit vor allem durch eine gute Muskelkraft, eine hohe neuromuskuläre Kontrolle, eine gute Bewegungsqualität, die Motivation der Patientinnen und Patienten

und das präoperative Aktivitätsniveau bestimmt wird [39, 121]. Daher sollte bereits in der unmittelbaren postoperativen Phase ein evidenzbasiertes Rehabilitationsprogramm beginnen. Im Vordergrund stehen zunächst Schmerzreduktion, Abschwellung, Wiederherstellung der vollständigen Kniebeweglichkeit sowie eine frühzeitige Mobilisation mit Vollbelastung. Kommt es hier zu Verzögerungen, führt dies nachweislich zu einem verlangsamten Funktionsgewinn und einem erhöhten Risiko für persistierende Bewegungseinschränkungen [62, 91]. Im Weiteren liegt der Schwerpunkt auf der Wiederherstellung eines physiologischen Gangbildes sowie der frühzeitigen Aktivierung des M. quadriceps femoris. Der postoperative Kraftverlust des Quadrizeps kann bis zu 60 % betragen und stellt den wichtigsten limitierenden Faktor für Treppensteigen, schnelles Gehen und spätere sportliche Belastungen dar. Deshalb sollten isometrische Muskelübungen und auch eine EMS-Therapie bereits unmittelbar postoperativ begonnen werden und frühzeitig durch progressive dynamische Kräftigungsprogramme ergänzt werden [90, 102].

Im Weiteren erfolgt eine zunehmend funktionsorientierte Rehabilitation. Hier gewinnen neuromuskuläre Trainingsformen und ein systematisches Ausdauertraining an Bedeutung. Radfahren auf dem Ergometer, Aquajogging, Crosstrainer und zügiges Gehen eignen sich aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Gelenkreaktionskräfte besonders gut. Gleichzeitig verbessern diese Trainingsformen die Stoffwechselsituation, den kardiovaskulären Aufbau, die Gewichtsreduktion und die Durchblutung der periartikulären Muskulatur [19, 66]. Übungen zur Verbesserung der Propriozeption, Gleichgewichtskontrolle und Koordination verbessern die Gelenkstabilität und bereiten die Patientinnen und Patienten auf komplexere Bewegungsabläufe vor. So sollte bspw. der Einbeinstand, instabile Unterlagen, koordinative Schrittfolgen sowie kontrollierte Richtungswechsel Bestandteil der Rehabilitation der sportlich aktiven Patientinnen und Patienten sein [68, 105]. Entsprechende Übungen müssen allerdings individuell, je nach der aktuellen funktionellen Situation, gestartet werden, um das ansonsten hohe Sturzrisiko zu vermeiden.

Besondere Aufmerksamkeit sollte der langfristigen Trainingsbetreuung gewidmet werden. Mehrere Untersuchungen zeigen, dass viele Patientinnen und Patienten ihre physiotherapeutische Behandlung beenden, obwohl relevante Kraftdefizite noch Monate nach der Operation bestehen. Vor allem Defizite der Quadrizepskraft und der neuromuskulären Kontrolle können die Rückkehr zu anspruchsvollen Sportarten limitieren. Daher erscheint ein mindestens 6–12-monatiges, eigenständiges Kraft- und Ausdauertraining sowie ggf. ein sportartspezifisches Aufbautraining sinnvoll, um das volle funktionelle Potenzial moderner Knieendoprothesen auszuschöpfen [91]. Insbesondere bei Sportarten mit schnellen Richtungswechseln oder hohen Anforderungen an Gleichgewicht und Reaktionsfähigkeit erscheint ein entsprechend gezieltes neuromuskuläres Training mit sportartspezifischen Koordinationsübungen, Schnellkrafttraining, etc. wertvoll.

Zusammenfassend macht es für sportlich ambitionierte Patientinnen und Patienten Sinn, stufenweise zum Sport zurückzukehren. Hierbei sollten nach Wiedererlangen der Alltagsfunktion zunächst Low-Impact-Sportarten wie Radfahren, Schwimmen oder Nordic Walking aufgenommen werden. Anschließend kann – abhängig von Muskelkraft, Koordination, Implantattyp, Körpergewicht und sportlicher Vorerfahrung – eine schrittweise Rückkehr zu anspruchsvolleren Aktivitäten erfolgen [62, 89, 120]. In dieser Zeit bedarf es einer funktionsorientierten Beurteilung des operierten Kniegelenkes und einer individuellen Patientenberatung (Tab. 1).

Vor dem Hintergrund zunehmend jüngerer Patientinnen und Patienten, nimmt die individualisierte Rehabilitation eine noch zentralere Rolle ein. So kann das Zusammenspiel aus gezieltem Training und optimierter Implantatbiomechanik eine Rückkehr zu einem aktiven und sportlichen Lebensstil ermöglichen. Dabei werden neue Implantatkonzepte wie medialpivotierende Designs, hochvernetzte Polyethylene und zementfreie Fixierungen mit einem modernen, multimodalen Konzept aus progressivem Krafttraining, neuromuskulärer Stabilisation, Ausdauertraining, sportartspezifischem Aufbau kombiniert. Wird dies konsequent umgesetzt, lassen sich die funktionellen Möglichkeiten moderner Knieendoprothesen vollständig ausschöpfen, sodass viele Patientinnen und Patienten ein hohes Potenzial haben, sportlich aktiv zu bleiben.

Hüftgelenkarthrose – Konzepte für sportlich aktive Patientinnen und Patienten

Die Daten im schwedischen Prothesenregister vor ca. 10 Jahren zeigen für die jungen Patientengruppen bei den konventionellen Schaftprothesen nach 24 Jahren Überlebensraten von nur 52–57 % [67]. Solche Daten sind der wesentliche Grund, warum in den letzten Jahren viele Weiterentwicklungen im Bereich der Hüftendoprothetik umgesetzt wurden. Ebenso sind vor diesem Hintergrund in Fällen mit einer mittelgradigen Arthrose auch gelenkerhaltende Operationen, die meist ein symptomatisches femoroacetabulären Impingement u./o. in seltenen Fällen auch eine Korrektur einer Hüftdysplasie erfolgreich adressieren können, zu berücksichtigen. Neben der Dysplasie, die mit dem Hüftscreening selten geworden ist, ist das femoroazetabuläre Impingement die wesentliche Ursache der Hüftarthrose [1, 40, 63, 103]. Dabei führen Scher- und Druckkräfte und auch eine hohe Expression arthroseinduzierender inflammatorischer Mediatoren zu Schäden der Gelenkflächen und im Verlauf zum Vollbild der Arthrose [1, 36, 63]. Nachdem sich bei der Hüftarthrose meist knöcherne Impingementdeformitäten finden [40], ist in vielen Fällen auch die gelenkerhaltende Korrektur der Impingementdeformitäten erfolgreich, um die Symptome zu beseitigen. Vor dem Hintergrund einer gestiegenen Lebenserwartung und des höheren Aktivitätsniveaus im fortgeschrittenen Lebensalter sollte diese Option in vielen Fällen einbezogen werden. Bei richtiger Indikation zeigt sich mit schonenden arthroskopischen Korrekturen gute klinische Ergebnisse [118]. Eine Meta-Analyse zum mittel- und langfristigen Outcome, in der die Prothesen-

implantation als Endpunkt definiert wurde, zeigte die Impingementkorrektur eine Erfolgsquote von 93 % [101]. Um ein Fortschreiten der Arthrose zu verhindern, sollten entsprechende Operationen möglichst frühzeitig erfolgen (Abb. 2a, b).

In der Hüftendoprothetik stellt sich bei sportlich aktiven Patientinnen und Patienten v. a. die Frage, ob eine hohe Aktivität langfristig ohne vermehrten Abrieb möglich ist. Hier bieten moderne Materialien einen wesentlichen Fortschritt [44]. Bei älteren Gleitpaarungen bspw. von Metallköpfen und konventionellen Polyethylenen bestanden berechtigte Sorgen, dass Abriebpartikel zu Osteolysen und aseptischer Lockerung führen können [112, 135]. Mit neuen Zirkoniumkeramiken und hochvernetztem Polyethylen hat sich die Situation deutlich verbessert. Hier weisen die Gleitpaarungen erheblich niedrigere Abriebraten auf [24]. In Langzeitstudien nach 10–15 Jahren finden sich entsprechend minimale lineare Abriebraten und auch äußerst geringe Osteolyseraten, so dass entsprechende Gleitpaarungen für aktive Patientinnen und Patienten günstiger zu beurteilen sind als ältere Materialkombinationen [84]. Auch Keramik-auf-Keramik-Gleitpaarungen sind hier von Interesse, wobei allerdings mögliche Nachteile wie Geräuschphänomene, ein Keramikbruch bei Sprungsportarten und technische Sensibilität abgewogen werden müssen [38]. Daher stellen die Gleitpaarungen aus hochvernetztem Polyethylen und neuen Zirkoniumkeramiken einen sinnvollen Kompromiss dar, da diese Kombination niedrigen Abrieb, klinische Robustheit und größeren Kopfdurchmesser ermöglicht [85].

Größere Femurköpfe erhöhen die Strecke, die der Kopf zurücklegen muss, bevor er den Pfannenrand verlässt. Dies reduziert das Luxationsrisiko, was für sportlich aktive Patientinnen und Patienten mit größerem Bewegungsumfang relevant ist [11]. Vor diesem Hintergrund ist das Hip Resurfacing, bei dem der knöcherne Femurkopf unterhalb der Prothese teilweise erhalten bleibt und mit einer Kappe überzogen wird, relevant (Abb. 2). So bleibt die Gelenkgeometrie erhalten,

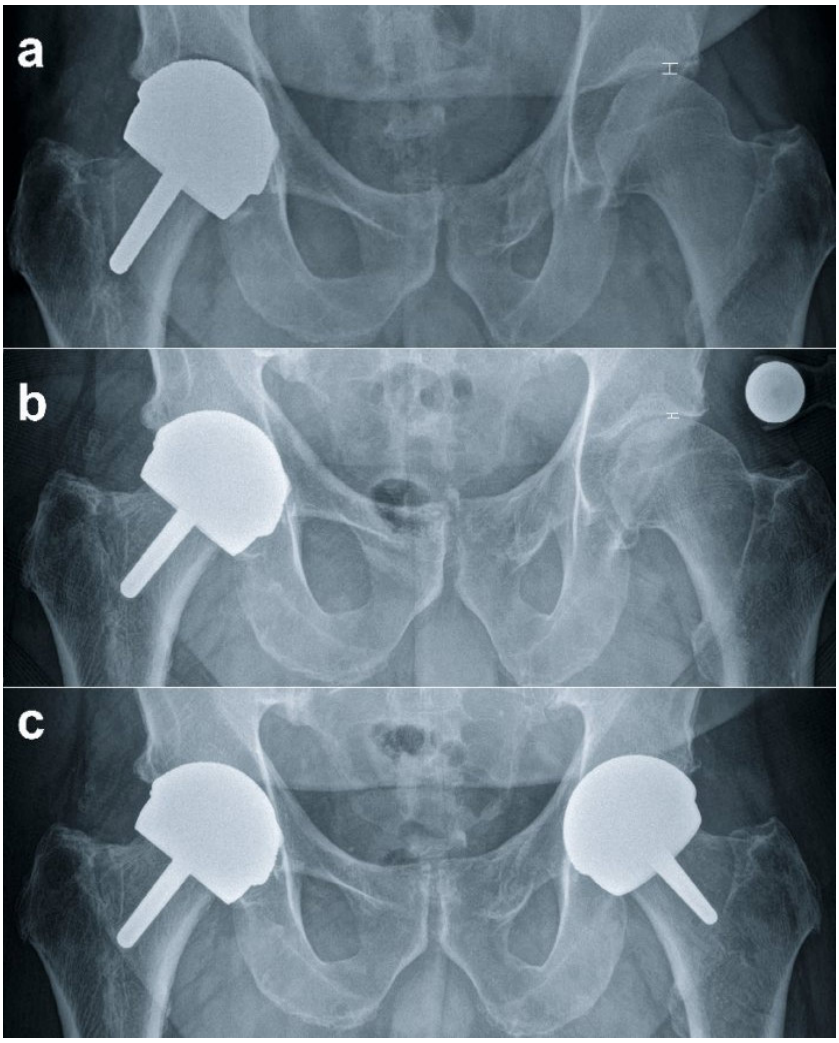


Abb. 2–5: L.V. von Engelhardt

Abbildung 2 Röntgenverlaufsuntersuchung eines sportlich aktiven Patienten, der zudem als Techniker Strommasten besteigt. Im Röntgenbild hatte er nach der Kappenversorgung rechts auf der Gegenseite Impingementbeschwerden, so dass links eine Gelenk-erhaltende Hüftarthroskopie geplant war **(a)**. Im Laufe von nur 8 Monaten zeigte sich links eine Verschlechterung mit einer deutlich reduzierten schmerzfreien Gehstrecke. Passend hierzu zeigte sich in diesem kurzen Zeitraum eine progressive Gelenkspaltweitenminderung auf weniger als 2 Millimeter. Daher war die eigentlich geplante arthroskopische Impingementkorrektur nicht mehr sinnvoll **(b)**. In Anbetracht der klinischen und bildgebenden Befunde führten wir anstelle einer Arthroskopie auch links die Kappenversorgung durch **(c)**.

sodass die Muskelfunktion vglw. ungestört ist [4]. Neben sehr guten Return-to-Sport Raten [29, 31, 107, 109] sind auch die Langzeit-Überlebensraten der führenden Kappensysteme mit 92,5 % nach 21 Jahren vglw. hoch [127]. Probleme der Kappenendoprothetik sind Metallabriebe, die periprothetisch einen Knochenverlust und Implantatlockerungen nach sich ziehen [33, 79] und auch im Blut mit steigenden Metallionenwerten einhergehen können [21]. Zudem sind Oberflächenersatzendoprothesen bei Frauen problematisch, da hier der erforderliche Mindestdurchmesser der Femurkomponente oft nicht erreicht wird und zudem aufgrund der häufigeren Entwicklung einer Osteoporose von einem erhöhten Risiko für Schenkelhalsfrakturen auszugehen ist [34]. Als Weiterentwicklung des bisherigen Metall-Metall-Resurfacings wurden in den letzten Jahren insbesondere Keramik-Keramik-Gleitpaarungen entwickelt, die eine Freisetzung von Metallionen vermeiden und ein geringes Verschleißpotenzial erwarten lassen [59, 73]. Die bisher größte multizentrische klinische Erfahrung mit Keramik-Keramik-Resurfacing zeigte nach zwei Jahren sehr gute funktionelle Ergebnisse [73]. Aktuelle Fünfjahresdaten zeigen eine Implantatüberlebensrate von etwa 98 % ohne erhöh-

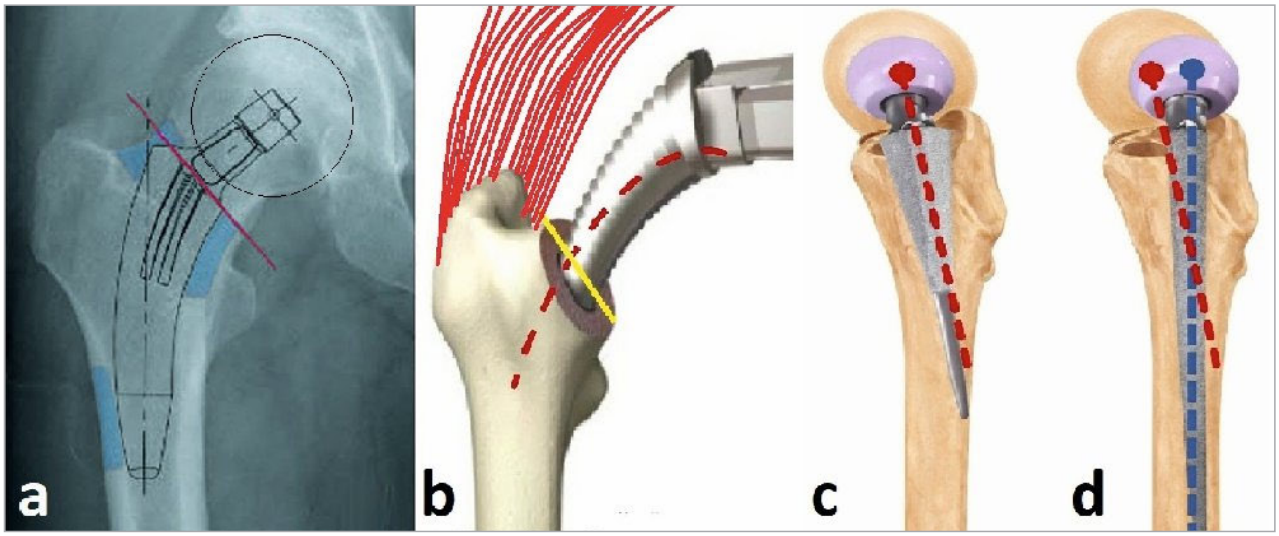


Abbildung 3 Bei der Prothesenplanung wird das Rotationszentrum fixiert und hierauf basierend der Schaft passend eingeplant. Hierdurch ergibt sich die hier als violette Linie eingezeichnete individuelle Osteotomiehöhe **(a)**. Intraoperativ erfolgten die aufsteigende Impaktierung und Schaftpositionierung nicht entlang des Femurs, sondern entlang der Schenkelhals-Kalkar-Kontur. Diese andersartige Art der Einbringung erlaubt besonders einfach eine Schonung der Glutealmuskulatur **(b)**. Auch in der axialen Ebene folgt der Schaft dem Schenkelhals, sodass die Antetorsion wiederhergestellt wird **(c)**. Bei den konventionellen Schäften folgt der Schaft hingegen dem Femur, sodass die physiologische Antetorsion verloren geht **(d)**.

tes Risiko bei Frauen oder kleineren Kopfgrößen [59, 78]. Parallel hierzu wurden für den Oberflächenersatz mit Kappen auch Gleitpaarungen aus Metall und hochvernetzten Polyethylenen entwickelt, welche die Vorteile des knochensparenden Oberflächenersatzes mit einer deutlichen Reduktion von Abriebprodukten kombinieren sollen. Erste klinische Ergebnisse sind vielversprechend, jedoch liegen bislang nur begrenzte mittel- bis langfristige Verlaufsdaten vor [37, 125]. Insgesamt deuten die derzeit verfügbaren klinischen Daten darauf hin, dass die neuen Gleitpaarungen bei den Kappenprothesen eine vielversprechende Alternative zu den Metall-Metall-Gleitpaarungen darstellen. Allerdings muss deren mittel- und langfristige Sicherheit durch weitere prospektive Register- und Langzeitstudien bestätigt werden [73, 113].

Schenkelhals-teilerhaltender Kurzschaft und Sport

Nachdem mit zunehmender Kopfgröße der luxationsfreie Bewegungsumfang, insbesondere bei hohen Flexions- und Rotationsbewegungen des Sportlers, reduziert wird [8, 110], ist die in den letzten Jahren stattgehabte Entwicklung hin zu größeren Kopfdurchmessern für hochaktive Patientinnen und Patienten von klinischer Relevanz. Allerdings ist zu bedenken, dass aktuelle Registerdaten und Übersichtsarbeiten zeigen, dass 36 mm-Femurköpfe heute den günstigsten Kompromiss zwischen Gelenkstabilität, Bewegungsumfang und Langzeitverschleiß darstellen. Größere Kopfdurchmesser (> 36 mm) konnten dagegen bislang keinen zusätzlichen klinischen Nutzen hinsichtlich Funktion oder Luxationsprophylaxe nachweisen [22, 45]. Dies ist u.a. einer der Gründe, sich bei sportlich Aktiven anstelle der Kappenversorgung auch den schaftgeführten Implantaten zu widmen. Dabei bieten insbesondere zementfreie, Schenkelhals-teilerhaltende Kurzschaftimplantate günstige Voraussetzungen für eine extrem langfristige hohe funktionelle Belastbarkeit sportlich aktiver Patientinnen und Patienten [16, 47, 51, 55, 72, 129, 138].

Um die Vorteile dieser besonderen Kurzschäfte gegenüber konventionellen Schäften aber auch gegenüber anderen Kurzschäften zu verstehen, ist es wichtig die Unterschiede bei der Implantation zu verstehen. Bei konventionellen Schäften erfolgen tiefe Osteotomien, bei denen die originäre Gelenkgeometrie der Hüfte in einem begrenzten Umfang von unten nach oben wiederaufgebaut wird (Bottom-up Strategie). Bei Schenkelhals-teilerhaltenden Kurzschäften, wie der Minihip, dem Optimys-, Nanos- od. Metha-Schaft, erfolgt die Rekonstruktion auf einem anderen Weg. Bei der Planung wird zunächst das Rotationszentrum festgelegt und hierauf basierend die individuelle Osteotomiehöhe, meist nahe einer midresection, festgelegt. Die Implantation entspricht daher, ähnlich wie den Kappen, einer Top-Down Strategie, bei der der restliche Schenkelhals und der metaphysäre Knochen mit dem Implantat "aufgefüllt" wird [128]. Die aufsteigende Impaktierung und Schaftpositionierung erfolgt somit keinesfalls entlang des Femurs, sondern ganz andersartig entlang der Schenkelhals-Kalkar-Kontur (Abb. 3a, b). So wird, im Unterschied zu konventionellen Schäften (Abb. 3d), neben dem Offset auch die Antetorsion wiederhergestellt, sodass nicht nur in der frontalen, sondern auch in der axialen Projektion die muskulären Hebelarme wiederhergestellt werden (Abb. 3c) [50]. Ähnlich wie bei den Kappen ist dies wesentlich für eine optimale Funktion der Hüft-führenden Muskulatur. Nebeneffekt der knochensparenden Einbringung entlang des Kalkars ist, dass die muskelschonende Implantation auch beim muskelkräftigen Situs vglw. zuverlässig durchführbar ist (Abb. 3b). Der muskelschonende Zugang, der im

Vergleich zu allen anderen Implantattypen mit dem Kurzschaft am ehesten umsetzbar ist (Abb. 3b), ermöglicht eine frühe Abduktorenfunktion, Rumpfstabilität und Gangnormalisierung [83]. Dies ist wiederum für den Sportler von besonderer Bedeutung.

Neben der schonenden Implantation ist, wie bereits erwähnt, die Rekonstruktion der individuellen Gelenkgeometrie ein ebenso entscheidender Faktor für die Sportfähigkeit nach einer Hüftendoprothese [111]. Hierbei geben insbesondere die Parameter Offset, CCD-Winkel, Beinlänge und femorale Antetorsion ein Abbild, ob bspw. die Hebelarme der Abduktoren, die Gelenkreaktionskräfte, das Gangbild und die subjektive Stabilität erfolgreich erhalten wurden [81]. Hingegen führt eine unzureichende Offsetrekonstruktion zu einer Abduktorenschwäche, ggf. einem Hinken, einer erhöhten Gelenkbelastung und sogar zu einer Luxationsneigung [82]. In eigenen größeren Studien konnten wir zeigen, dass mit Schenkelhals-teilerhaltenden Kurzschäften die oben genannten geometrischen Parameter vglw. zuverlässig rekonstruiert werden (Abb. 4). Insbesondere die bei konventionellen Schäften zu findende Tendenz zu erhöhten CCD-Winkeln und/oder einem verringerten Offset kann vglw. sicher vermieden werden [49, 130]. Eine entsprechend anatomische Rekonstruktion ist für sportliche Aktivitäten wie Bergwandern, Tennis, Golf oder Skifahren bedeutend, da diese Sportarten hohe Anforderungen an Abduktorenkraft, Rumpfstabilität, Rotationskontrolle und das Gleichgewicht stellen [86]. Dass dies auch langfristig erhalten bleibt, belegen die funktionellen Ergebnisse im Langzeitverlauf. So verbesserten sich bspw. in eigenen Untersuchungen die Ergebnisse nicht nur früh und signifikant, auch blieben diese Werte im bisherigen Untersuchungszeitraum von 12 Jahren stabil auf dem hohen Niveau (Abb. 5a) [12, 128]. Entsprechend finden sich auch in der Literatur bei dem Schenkelhals-teilerhaltenden Implantaten mit bis zu 98 % vglw. hohe Return-to-Sports Raten [13, 23].

Neben der knochensparenden Implantation ist auch der Knochenerhalt im Laufe der Jahre wichtig. Um implantatbedingte Knochenveränderungen zu verstehen, ist es wichtig, die Kraftübertragung der Schenkelhals-teilerhaltenden Kurzschaftimplantate in den Knochen zu verstehen. Im Gegensatz zu konventionellen Schäften erfolgt die Lastübertragung nicht in den Femurschaft, sondern in den distalen Schenkelhals und den metaphysären Femur [128, 130]. Dies belegen Finite-Elemente-Analysen zu den Schenkelhals-teilerhaltenden Schäften [137]. Wir sprechen hierbei von einer physiologischen, proximalen Kraftübertragung. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf den langfristigen Knochenerhalt unter Belastung. Ein Abbau oder Erhalt von Knochen kann über die periprothetische Knochendichte via Röntgen (Abb. 5b, c) u./o.

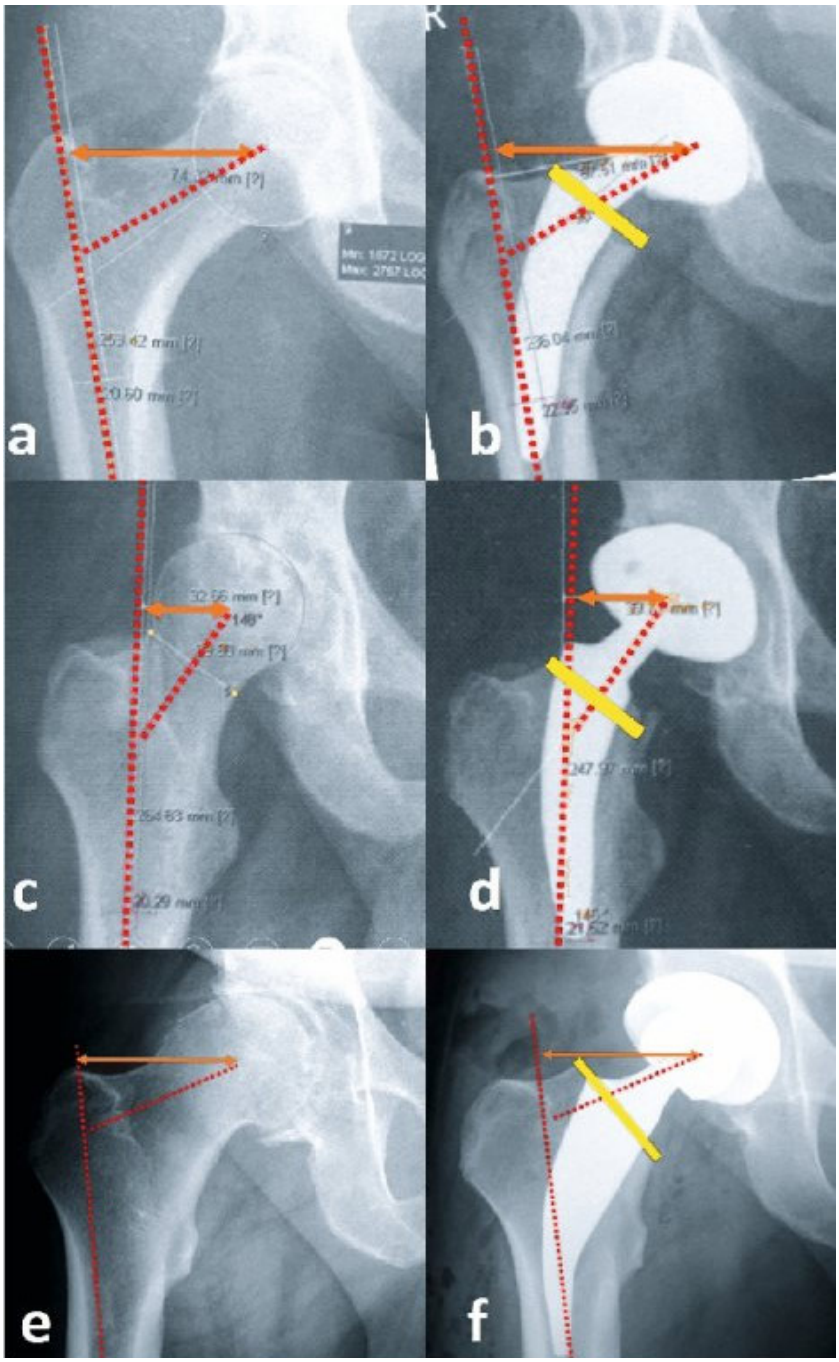


Abbildung 4 Die Osteotomiehöhe liegt bei varischen Hüften **(a, b)** Minihip, Fa. Corin, **(e, f)** Methaschaft, Fa. Aesculap) höher als bei valgischen Hüften **(c, d)** Minihip). Dies bestimmt die Position der Prothese im proximalen Femur. Die tiefere Resektion bei einer Valgushüfte erhöht den CCD-Winkel und reduziert das Offset **(c, d)**. Bei einer Varushüfte liegt die Resektion höher und das Offset erhöht sich **(a, b, e, f)**. Die Rekonstruktion der Gelenkgeometrie ist mit den Schenkelhalsteilerhaltenden Kurzschäften vglw. sicher möglich.

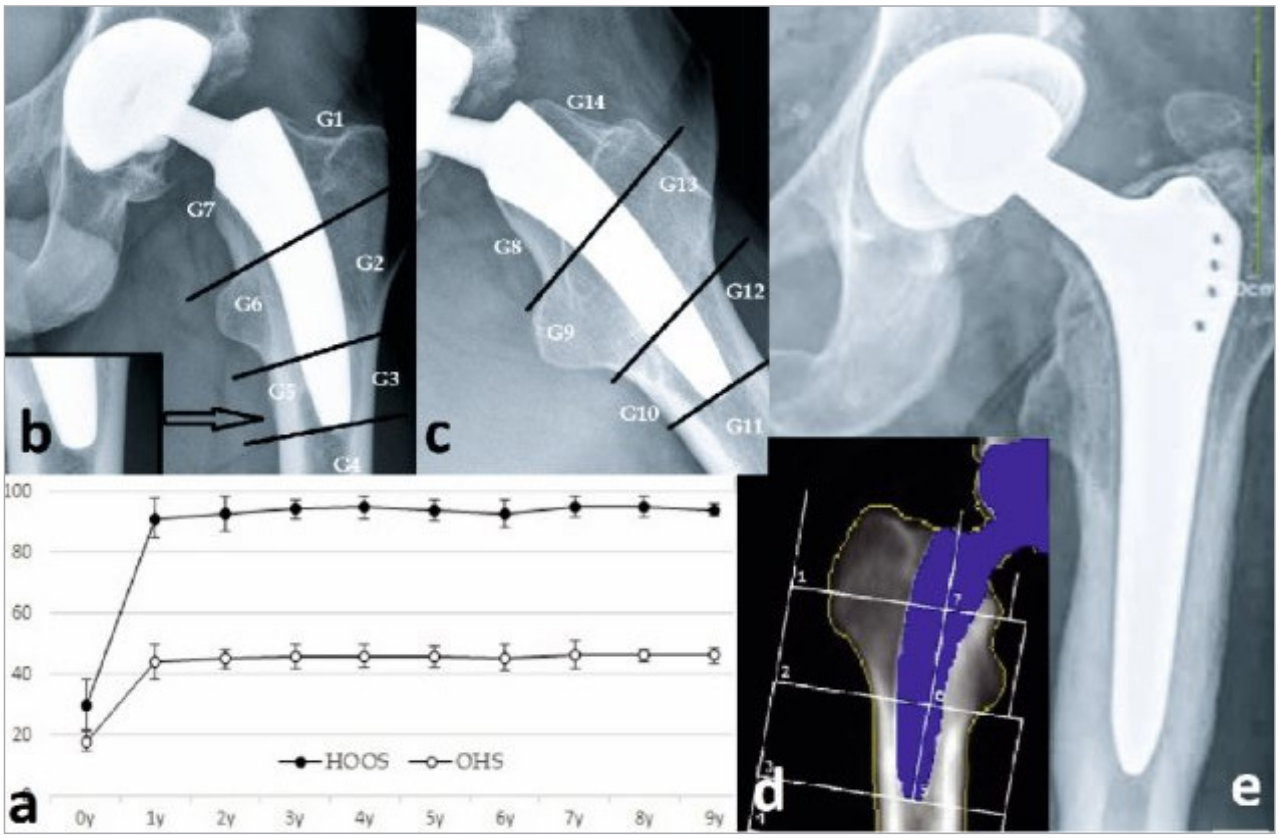


Abbildung 5 a Langzeitverlauf nach Implantation eines Schenkelhals-teilerhaltende Kurzschaftes im HOOS- (Hip Dysfunction Osteoarthritis and Outcome Score) und Oxford Hip-Score. Die Kurve flacht auch nach vielen Jahren nicht ab. **b, c** Röntgenologisch zeigen sich proximal (Gruenzone 1, 7, 8, 1) keine Radioluszenzen als Zeichen eines Stress-Shielding. Distal finden sich keine Hypertrophien als Zeichen einer unphysiologischen, distalen Lastübertragung. **d** DEXA (Dual-Energy-X-ray Absorptiometry) – Messung zur Quantifizierung der Knochendichte (g/cm²) innerhalb der Gruenzonen 1–7. Die Software detektiert Metallteile (blau), welche für die Messung entfernt werden. **e** Konventioneller Zweymueller-Schaft mit Knochenhypertrophien in den distalen Zonen und einen röntgenologisch sichtbaren Knochenverlust in den proximalen Zonen.

DEXA-Messungen (Abb. 5d) bestimmt werden. Ist die Bilanz für die Knochendichte gut, findet sich eine hohe Sekundärstabilität und ein entsprechend langfristiges Implantatüberleben. Dies ist für eine sportliche Belastung wesentlich.

Betrachtet man die Knochendichte konventioneller Schäfte, kristallisieren sich mit der Zeit die Folgen der unphysiologischen tiefen, diaphysären Krafteinleitung heraus. Mit der reduzierten Druckbelastung in der weiter oben gelegenen Femurmetaphyse kommt es hier zu einer relevanten Knochenatrophie (Abb. 5e). Dieser Knochenabbau infolge einer verminderten physiologischen Belastung wird als Stress-Shielding bezeichnet [26, 48, 129]. Dies kann mit Schmerzen am Schaft, einer Lockerung, sowie periprothetischen Frakturen bei vglw. geringem Trauma einhergehen. Ebenso geht der Knochenschwund mit einem Muskelschwund der an den betroffenen Knochenregionen ansetzenden Muskelgruppen einher. All dies sind vglw. ungünstige Voraussetzungen für die/den sportlich aktiven Patientinnen und Patienten.

Bei dem schenkelhals-teilerhaltenden Kurzschäften zeigen eigene Langzeit-Follow-up Röntgen-Untersuchungen in den periprothetischen Kochenzonen, den sog. Gruenzonen nach bis zu 12 Jahren bei 186 Implantationen, abgesehen von einem asymptomatischen Patienten, keine Knochenresorptionen oder Radioluszenzen als Zeichen eines proximalen Stress-Shielding. Knöcherne Hypertrophien als Hinweis auf eine unphysiologische distale Lastübertragung in Femurbereich (Abb. 5e) wurden in allen 14 Gruenzonen ausnahmslos ausgeschlossen (Abb. 5b, c) [12, 128]. Die seriellen DEXA-Messungen (Abb. 5d) zeigten In den proximalen Gruenzonen 1 und 7 ebenso stabile Knochenverhältnisse ohne die bei vielen konventionellen Schäften zu findenden progressiven Knochenatrophien. Ebenso wurde ein distaler Anstieg Knochendichte als Ausdruck eines unphysiologischen, tiefen Lasttransfers in den eigenen, aber auch weiteren Studien ausgeschlossen [12, 28, 71]. Deshalb erscheint die physiologische proximale Lastübertragung moderner Kurzschäfte für die hohen Belastungen hochaktiver Patientinnen und Patienten besonders attraktiv [56].

Eigene und viele weitere Arbeiten zu den Schenkelhals-teilerhaltenden Kurzschaftkonzepten haben wiederholt betont, dass der Knochenerhalt, die proximale Verankerung und die anatomische Rekonstruktion zentrale Argumente für die hohen Standzeiten der Kurzschaftimplantate bei jüngeren Patientinnen und Patienten sind [52]. So lag das Schaftüberleben nach einer Standzeit von 10 bzw. 15 Jahren in unseren Serien mit > 400 Versorgungen nach 10 Jahren bei 99 % und in einer anderen Studie nach 15 Jahren bei sogar 100 % [12, 106, 128]. Weitere Registeranalysen zu Kurz-

Kriterium	Ziel Hüfte	Ziel Knie
Schmerz	Keine belastungsabhängigen Schmerzen	
Gangbild	Symmetrisch und hinkfreies, normales Gangbild	
Beweglichkeit	Alltagstauglich und sportartspezifisch ausreichend	Beugung mindestens 120°, vollständige Kniestreckung, keine relevante Gelenkschwellung
Kraft	Abduktorenkraft nahezu seitengleich	Quadrizepskraft nahezu seitengleich
Einbeinstand	Sichere Einbeinbalance ≥ 30 Sekunden	
Treppensteigen	Sicher und schmerzarm	
Ausdauer	Belastbarkeit für geplante Sportart	
Vertrauen	Kein relevantes Unsicherheitsgefühl, sicherer Treppengang	
Radiologie	Stabile Implantatposition	
Motivation	Abgeschlossenes sportartspezifisches Training	

Tabelle 1 Kriterien für die Sportfreigabe

schaftsystemen mit Überlebensraten nach 10 Jahren von bis zu 99 % lassen eine prognostische Standzeit von weit über 25 Jahren erwarten [5]. Obwohl mit den Schenkelhals-teilerhaltende Kurzschäften häufige Probleme konventioneller Schäfte umgangen werden und somit die wesentlichen Ziele der primären Hüftendoprothetik erreicht werden, werden sie mit einem Anteil von knapp 10 % in Deutschland selten eingesetzt.

Sportorientierte Rehabilitation nach Hüftendoprothese

Die moderne Hüftendoprothetik bei sportlich aktiven Patientinnen und Patienten ist als Gesamtkonzept zu verstehen, das neben der Operation und Implantatwahl v.a. eine sportorientierte Rehabilitation ermöglicht [44, 58]. Hierbei schaffen minimalinvasive endoprothetische Operationstechniken (Abb. 3b) mit einer anatomischen Rekonstruktion der Gelenkgeometrie (Abb. 4) und eine anschließende sportorientierte Rehabilitation günstige Voraussetzungen für eine langfristige Rückkehr zu Sport, Beruf und aktiver privater Lebensgestaltung [56, 82]. Unter diesen Voraussetzungen ist die Sportfähigkeit ein realistisches Therapieziel [44].

In der frühen postoperativen Phase stehen neben der Schmerzreduktion und Schwellungskontrolle die sichere Vollbelastung, Gangschule und Aktivierung der Hüft- und Rumpfmuskulatur im Vordergrund [133]. Hierbei sichert ein muskelschonendes Vorgehen eine frühe Abduktorenfunktion und Gangnormalisierung als wichtige Voraussetzungen für die weitere Rehabilitation [83]. Somit lässt sich eine frühe funktionelle Erholung bereits durch eine minimalinvasive Operation erleichtern und beschleunigen [10].

Im Weiteren sollte die Rehabilitation, je nach der individuellen Situation, progressiv gesteigert werden, da Kraftdefizite der Abduktoren, Extensoren und Außenrotatoren die Rückkehr zu Sport und Alltag limitieren können [86]. Ein sportorientiertes Rehabilitationsprogramm sollte ein Kraft- und Ausdauertraining zu Hüftkontrolle, Gleichgewicht und Einbeinstand umfassen [134]. Ebenso wichtig ist der Aufbau der Koordination und Propriozeption, wobei auch gezielt die sportartspezifische Belastbarkeit angegangen werden kann [86]. Radfahren, Schwimmen, Aquajogging und Crosstrainer eignen sich früh als gelenkschonendes Ausdauertraining [86]. Sportarten mit Rotationsbelastung, schnellen Richtungswechseln oder Sturzrisiko sollten erst nach Wiederherstellung von Kraft, Koordination, Beweglichkeit und Vertrauen freigegeben werden [58]. Die Entscheidung zur Sportfreigabe sollte nicht ausschließlich zeitbasiert erfolgen, sondern individuell anhand funktioneller Kriterien erfolgen [86]. Eine gute Übersicht zu den Kriterien zur Sportfreigabe nach Hüftendoprothese bietet Tabelle 1 (Tab. 1).

Interessenkonflikte:
Aufwandsentschädigungen für Vorträge, Einsätze als Instruktor bei Operationskursen, Hospitationskursen, dem fachlichen Austausch und Beratungen von den Firmen Corin, Microport, Fx Solutions und Arthrex.

Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie auf: www.online-oup.de.



Foto: Klinikum Peine

Korrespondenzadresse
Prof. Dr. med. Lars Victor von Engelhardt
Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie und Sportmedizin
Klinikum Peine AöR
Akademisches Lehrkrankenhaus
31226 Peine
Universität Witten/Herdecke
58455 Witten
larsvictor@hotmail.de

Literatur zum Beitrag

Lars Victor von Engelhardt:

Rückkehr zur maximalen Alltagsaktivität und zum Sport nach Hüft- und Knieendoprothetik

Aktuelle Konzepte zur operativen Versorgung und zur Rehabilitation

1. Agricola R, Waarsing JH, Arden NK, et al.: Cam impingement of the hip: a risk factor for hip osteoarthritis. Nat Rev Rheumatol 2013; 9(10): 630–634
2. Alessio-Mazzola M, Clemente A, et al.: Clinical radiographic outcomes and survivorship of medial pivot design total knee arthroplasty: a systematic review of the literature. Arch Orthop Trauma Surg 2022; 142(11): 3437–3448
3. American Joint Replacement Registry: 2024 Annual Report. Rosemont, IL: American Academy of Orthopaedic Surgeons; 2024
4. Arnould A, Boureau F, Benad K, Pasquier G, Migaud H, Girard J: Computed tomography evaluation of hip geometry restoration after total hip resurfacing. Orthop Traumatol Surg Res 2015; 101(5): 571–575
5. Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry. Annual Report 2023: Hip, Knee & Shoulder Arthroplasty
6. Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry: Hip, Knee & Shoulder Arthroplasty Annual Report 2024. Adelaide: AOA; 2024
7. Baker PN, Khaw FM, Kirk LMG, Esler CNA, Gregg PJ: A randomised controlled trial of cemented versus cementless press-fit condylar total knee replacement: 15-year survival analysis. J Bone Joint Surg Br 2007; 89: 1608–1614
8. Banerjee S, Pivec R, Issa K, Kapadia BH, Khanuja HS, Mont MA. Large-diameter femoral heads in total hip arthroplasty: an evidence-based review. Am J Orthop (Belle Mead NJ) 2014; 43: 506–512
9. Batra S, Malhotra R, Kumar V, Srivastava DN, Backstein D, Pandit H: Superior patient satisfaction in medial pivot as compared to posterior-stabilized total knee arthroplasty: a prospective randomized study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2021; 29(11): 3633–3640
10. Berger RA. Total hip arthroplasty using the minimally invasive two-incision approach. Clin Orthop Relat Res 2003; 417: 232–241
11. Berry DJ, von Knoch M, Schleck CD, et al. Effect of femoral head diameter and operative approach on dislocation. J Bone Joint Surg Am 2005; 87: 2456–2463
12. Breil-Wirth A, Kothny C, Bengt Seeger J, et al. Langzeitergebnisse mit einer schenkel halsteilerhaltenden Kurzschaftprothese (Minihip, Corin). OUP 2020; 9: 352–359
13. Breuer R, Fiala R, Schrenk N, et al. Prospective Short-Term and Return-to-Sports Results of a Novel Uncemented Short-Stem Hip Prosthesis with Metaphyseal Anchorage. J Clin Med 2020; 9(6): 1972
14. Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. Br J Sports Med 2020; 54: 1451–1462
15. Cacciola G, Giustra F, Bosco F, et al.: Long-Term Follow-Up of Medial Pivot Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review of the Current Evidence. Prosthesis 2023; 5(3): 622–634
16. Castelli CC, Rizzi L: Short stems in total hip replacement: current status and future. Hip Int 2014; 24(Suppl 10): 25–S28
17. Chen C, Li R: Cementless versus cemented total knee arthroplasty in young patients: a meta-analysis of randomized controlled trials. J Orthop Surg Res 2019; 14: 262
18. Crawford DA, Adams JB, Hobbs GR, Lombardi AV Jr, Berend KR: Higher activity level following total knee arthroplasty is not deleterious to mid-term implant survivorship. J Arthroplasty 2020; 35: 116–120
19. D'Lima DD, Patil S, Steklov N, Slamin JE, Colwell CW Jr. Tibial forces measured in vivo after total knee arthroplasty. J Arthroplasty 2006; 21(2): 255–262
20. Dahm DL, Barnes SA, Harrington JR, Sayeed SA, Berry DJ. Patient-reported activity level after total knee arthroplasty. J Arthroplasty 2008; 23: 401–407
21. Daniel J, Ziaee H, Pradhan C, McMinn DJ: Six-year results of a prospective study of metal ion levels in young patients with metal-on-metal hip resurfacings. J Bone Joint Surg Br 2009; 91(2): 176–179
22. de Steiger RN et al. Head size in primary total hip arthroplasty. EFORT Open Rev 2018; 3: 225–231
23. Donner S, Rehbein P, Schneider M, et al. Return to Sports and Recreational Activity After Single-Stage Bilateral Short-Stem Total Hip Arthroplasty: 5-Year Results of a Prospective Observational Study. Orthop J Sports Med 2019; 7(9): 2325967119872746
24. Dumbleton JH, Manley MT, Edidin AA. The basis for a second-generation highly cross-linked UHMWPE. Clin Orthop Relat Res 2002; 453: 265–271
25. Endoprothesenregister Deutschland (EPRD), Jahresbericht 2023, EPRD Deutsche Endoprothesenregister gGmbH, Berlin, BRD
26. Engh CA, Bobyn JD, Glassman AH. Porous-coated hip replacement: the factors governing bone ingrowth, stress shielding, and clinical results. J Bone Joint Surg Br 1987; 69: 45–55
27. Ennis O, Haeberle HS, Parikh HR, et al.: High activity levels after total knee arthroplasty are not deleterious to mid-term implant survivorship. J Arthroplasty 2020; 35: 116–120
28. Ercan A, Sokkar SM, Schmid G, et al. Periprosthetic bone density changes after MiniHipTM cementless femoral short stem: one-year results of dual-energy X-ray absorptiometry study. SICOT J 2016; 2: 40
29. Fouilleron N, Wavreille G, Endjah N, Girard J: Running activity after hip resurfacing arthroplasty: a prospective study. Am J Sports Med 2012; 40(4): 889–894
30. Freeman MAR, Pinskerova V: The movement of the normal tibio-femoral joint. J Biomech 2005; 38: 197–208
31. Girard J, Lons A, Pommepuy T, Isida R, Benad K, Putman S: High-impact sport after hip resurfacing: The Ironman triathlon. Orthop Traumatol Surg Res 2017; 103(5): 675–678

32. Gray HA, Guan S, Young TJ, Dowsey MM, Choong PF, Pandy MG: Comparison of posterior-stabilized, cruciate-retaining, and medial-stabilized knee implant motion during gait. J Orthop Res 2020; 38(8): 1753–1768

33. Griffin WL, Fehring TK, Kudrna JC, et al.: Are metal ion levels a useful trigger for surgical intervention? J Arthroplasty 2012; 27(8): 32–36

34. Hadji P, Klein S, Gothe H, et al.: The epidemiology of osteoporosis – Bone Evaluation Study (BEST): an analysis of routine health insurance data. Dtsch Arztebl Int 2013; 110(4): 52–57

35. Hamilton LD, et al.: Kinematic Performance of Medial Pivot Total Knee. J Arthroplasty 2024; 39(6): 1595–1601

36. Haneda M, Rai MF, O'Keefe RJ, Brophy RH, Clohisy JC, Pascual-Garrido C: Inflammatory Response of Articular Cartilage to Femoroacetabular Impingement in the Hip. Am J Sports Med 2020; 48(7): 1647–1656

37. Hannon CP, Salmons HI, Trousdale RT, et al.: 711–717

38. Hannouche D, Hamadouche M, Nizard R, et al. Ceramics in total hip replacement. Clin Orthop Relat Res 2005; 430: 62–71

39. Hanreich C et al. Return to Sports and Physical Activity after Total Knee Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-analysis. J Arthroplasty

40. Harris WH: Etiology of osteoarthritis of the hip. Clin Orthop Relat Res 1986; 213: 20–33

41. Healy WL, Iorio R, Lemos MJ: Athletic activity after joint replacement. Am J Sports Med 2001; 29: 377–388

42. Henricson A, Nilsson KG: Trabecular metal tibial knee component still stable at 10 years: an RSA study of 33 patients less than 60 years of age. Acta Orthop 2016; 87: 504–510

43. Hoorntje A, Janssen KY, Bolder SBT, et al. Return to sport and physical activity after total hip arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. Sports Med 2018; 48: 1365–1377

44. Hoorntje A, Janssen KY, Bolder SBT, et al.: The effect of total hip arthroplasty on sports and work participation: a systematic review and meta-analysis. Sports Med 2018; 48: 1695–1726

45. Howie DW, Holubowycz OT, Middleton R: Large femoral heads decrease the incidence of dislocation after total hip arthroplasty: a randomized controlled trial. J Bone Joint Surg Am 2012; 94: 1095–1102

46. Hunt NC, Ghosh KM, Blain AP, et al.: How does laxity after single radius total knee arthroplasty compare with the native knee? J Orthop Res 2014; 32(9): 1208–1213

47. Jerosch J, Breil-Wirth A, Kothny C, Grasselli C, von Engelhardt LV: Hüftendoprothetische Versorgung bei jüngeren Patienten. Chirurgische Praxis 2020; 87(3): 427–438

48. Jerosch J, Ercan A, Filler TJ, Herwig M, von Engelhardt LV, Schmid G: Postoperative Knochendichteveränderung nach 5 Jahren. Chirurgische Praxis 2020; 86: 451–466

49. Jerosch J, Grasselli C, Kothny PC, et al. Postoperative Veränderungen von Offset, CCD-Winkel und Beinlänge nach Implantation einer metadiaphysär fixierten Kurzschaftprothese--eine radiologische Untersuchung Z Orthop Unfall 2012; 150(1): 20–26

50. Jerosch J, von Engelhardt LV. Kurzschaft ist nicht gleich Kurzschaft – Wo liegen die Unterschiede in der Verankerung und in der Biomechanik? Z Orthop Unfall 2019; 157(05): 548–557

51. Jerosch J, von Engelhardt LV: A Differentiated View on Short Stemmed Hip Arthroplasty – What are the Differences in Fixation and Biomechanics? Z Orthop Unfall 2019; 157(5): 548–557

52. Jerosch J: Kurzschaftendoprothesen an der Hüfte. Berlin, Heidelberg: Springer; 2017

53. Karachalios T, Komnos G, Amprazis V, Antoniou I, Athanaselis S: A 9-Year Outcome Study Comparing Cancellous Titanium-Coated Cementless to Cemented Tibial Components of a Single Knee Arthroplasty Design. J Arthroplasty 2018; 33(12): 3672–3677

54. Kato M, Warashina H, Mitamura S, Kataoka A: Medial pivot-based total knee arthroplasty achieves better clinical outcomes than posterior-stabilised total knee arthroplasty. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2023; 31(3): 998–1010

55. Khanuja HS, Banerjee S, Jain D, Pivec R, Mont MA: Short bone-conserving stems in cementless hip arthroplasty. J Bone Joint Surg Am 2014; 96(20): 1742–1752

56. Khanuja HS, Banerjee S, Jain D, Pivec R, Mont MA: Short bone-conserving stems in cementless hip arthroplasty. J Bone Joint Surg Am 2014; 96: 1742–1752

57. Klein GR, Levine BR, Hozack WJ, et al. Return to athletic activity after total hip arthroplasty. Clin Orthop Relat Res 2007; 465: 157–161

58. Klein GR, Levine BR, Hozack WJ, et al.: Return to athletic activity after total hip arthroplasty: consensus guidelines based on a survey of the Hip Society and American Association of Hip and Knee Surgeons. Clin Orthop Relat Res 2007; 465: 157–161

59. Koh CK, et al. Influence of head size and sex on the five-year survival of ceramic-on-ceramic hip resurfacing: an international multicentre study. Bone Joint J 2025; 107-B(7): 691–697

60. Konings MJ, De Vroey H, Weygers I, et al. Effect of knee arthroplasty on sports participation and activity levels: a systematic review and meta-analysis. BMJ Open Sport Exerc Med 2020; 6:e000729

61. Kornuijt A, Das D, Sijbesma T, et al.: High physical activity after total knee arthroplasty does not increase the risk of revision surgery during the first twelve years: a systematic review. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2022; 30: 1535–1550

62. Kornuijt A, de Kort GJL, Das D, Lenssen AF, van der Weegen W. Recovery of knee range of motion after total knee arthroplasty in the first postoperative weeks: poor recovery can be detected early. Musculoskelet Surg 2019; 103(3): 289–297

63. Kowalczuk M, Yeung M, Simunovic N, Ayeni OR: Does femoroacetabular impingement contribute to the development of hip osteoarthritis? A systematic review. Sports Med Arthrosc Rev 2015; 23: 174–179

64. Kurtz SM, Ong KL, Lau E, et al. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States. J Bone Joint Surg Am 2007; 89: 780–785

65. Kuster MS: Exercise recommendations after total joint replacement: a review of the current literature and proposal of scientifically based guidelines. Sports Med 2002; 32: 433–445

66. Kutzner I, Heinlein B, Graichen F, et al.: 2164–73

67. Kärrholm J, Lindahl H, Malchau H, et al.: The Swedish Hip Arthroplasty Register. Annual report 2016

68. Larsen JB, Mogensen L, Arendt-Nielsen L, Madeleine P. Intensive, personalized multimodal rehabilitation in patients with primary or revision total knee arthroplasty: a retrospective cohort study. BMC Sports Sci Med Rehabil 2020; 10; 12: 5

69. Learmonth ID, Young C, Rorabeck C. The operation of the century: total hip replacement. Lancet 2007; 370: 1508–1519

70. Leitner L, Kastner N, Thaler A, et al.: Sports Activity after Low-contact-stress Total Knee Arthroplasty – A long term follow-up study. Scientific Reports 2016; 6: 24630

71. Lerch M, von der Haar-Tran A, Windhagen H, Behrens BA, Wefstaedt P, Stukenborg-Colsman C. Bone remodelling around the Metha short stem in total hip arthroplasty. Int Orthop 2012; 36: 533–538

72. Lerch M, von der Haar-Tran A, Windhagen H, Behrens BA, Wefstaedt P, Stukenborg-Colsman C: Bone remodelling around the Metha short stem in total hip arthroplasty: a prospective dual-energy X-ray absorptiometry study. Int Orthop 2012; 36(3): 533–538

73. Lin D, Xu J, Weinrauch P, et al.: 2800–2806

74. Liu Y, Li R, Shi Z, Zhu Z: A comprehensive comparison between cementless and cemented fixation in total knee arthroplasty: an updated systematic review and meta-analysis. J Orthop Surg Res 2021; 16: 176

75. Lombardi AV Jr, Berend KR, Adams JB: Cementless total knee arthroplasty in patients younger than 55 years. J Arthroplasty 2007; 22(6 Suppl 2): 111–116

76. MacDonald DW, Higgs G, Parvizi J, et al.: Oxidative properties and surface damage mechanisms of remelted highly cross-linked polyethylenes in total knee arthroplasty. Int Orthop 2013; 37: 611–615

77. Macheras GA, Galanakos SP, Lepetsos P, Anastasopoulos PP, Papadakis SA: A long term clinical outcome of the Medial Pivot Knee Arthroplasty System. Knee 2017; 24(2): 447–453

78. Maslivec A, Halewood C, Clarke S, Cobb J. Hip resurfacing arthroplasty in women: a novel ceramic device enables near normal gait function. Gait Posture 2023; 103: 166–171

79. Matharu, GS, Judge, et al.: Prevalence of and risk factors for hip resurfacing revision: a cohort study into the second decade after the operation. J Bone Joint Surg Am 2016; 98: 1444–1452

80. Matsumoto K, Ogawa H, Yoshioka H, Akiyama H: Postoperative Anteroposterior Laxity Influences Subjective Outcome After Total Knee Arthroplasty. J Arthroplasty 2017; 32(6): 1845–1849

81. McGrory BJ, Morrey BF, Cahalan TD, An KN, Cabanela ME. Effect of femoral offset on range of motion and abductor muscle strength after total hip arthroplasty. J Bone Joint Surg Br 1995; 77: 865–869

82. McGrory BJ, Morrey BF, Cahalan TD, An KN, Cabanela ME: Effect of femoral offset on range of motion and abductor muscle strength after total hip arthroplasty. J Bone Joint Surg Br 1995; 77: 865–869

83. Meermans G, Konan S, Das R, Volpin A, Haddad FS: The direct anterior approach in total hip arthroplasty: a systematic review of the literature. Bone Joint J 2017; 99-B: 732–740

84. Meftah M, Klingenstein GG, Yun RJ, et al. Long-term results of highly cross-linked polyethylene in total hip arthroplasty. J Arthroplasty 2017; 32: 496–501

85. Meftah M, Klingenstein GG, Yun RJ, Ranawat AS, Ranawat CS: Long-term results of total hip arthroplasty with highly cross-linked polyethylene. J Arthroplasty 2017; 32: 496–501

86. Meira EP, Zeni J Jr: Sports participation following total hip arthroplasty. Int J Sports Phys Ther 2014; 9: 839–850

87. Meira EP, Zeni JA. Sports participation following total hip arthroplasty. Int J Sports Phys Ther 2014; 9: 839–850

88. Melton LJ 3rd. The prevalence of osteoporosis: gender and racial comparison. Calcif Tissue Int 2001; 69(4): 179–181

89.Mistry JB, Elmallah RD, Bhave A, et al.: A Review. J Knee Surg 2016; 29(3): 201–17

90. Mizner RL, Petterson SC, Snyder-Mackler L. Quadriceps strength and the time course of functional recovery after total knee arthroplasty. J Orthop Sports Phys Ther 2005; 35(7): 424–36

91. Mizner RL, Petterson SC, Snyder-Mackler L. Quadriceps strength and the time course of functional recovery after total knee arthroplasty. J Orthop Sports Phys Ther 2005; 35(7): 424–36; Bade MJ, Stevens-Lapsley JE. Early high-intensity rehabilitation following total knee arthroplasty improves outcomes. J Orthop Sports Phys Ther 2011; 41(12): 932–41

92. Mochizuki T, Tanifuji O, Sato T, et al.: Association between anteroposterior laxity in mid-range flexion and subjective healing of instability after total knee arthroplasty. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2017; 25(11): 3543–3548

93. Mont MA, Marker DR, Seyler TM, Gordon N, Hungerford DS, Jones LC: High-impact sports after total knee arthroplasty. J Arthroplasty 2008; 23(6 Suppl 1): 80–84

94. Muratoglu OK, Bragdon CR, O'Connor DO, Perinchief RS, Jasty M, Harris WH: Aggressive wear testing of a cross-linked polyethylene in total knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res 2002;(404): 89–95

95. Muratoglu OK, Mark A, Vittetoe DA, Harris WH, Rubash HE: Polyethylene damage in total knees and use of highly crosslinked polyethylene. J Bone Joint Surg Am 2003; 85-A Suppl 1: 7–13

96. Nakama GY, Peccin MS, Almeida GJM, Lira Neto ODA, Queiroz AAB, Navarro RD: Cemented, cementless or hybrid fixation options in total knee arthroplasty for osteoarthritis and other non-traumatic diseases. Cochrane Database Syst Rev 2012;(10):CD006193

97. Nam D, Lawrie CM, Salih R, Nahhas CR, Barrack RL, Nunley RM: Cemented versus cementless total knee arthroplasty of the same modern design: a prospective, randomized trial. J Bone Joint Surg Am 2019; 101: 1185–1192

98. National Joint Registry (UK), 20th Annual Report 2023, London, UK

99. Noble PC, Gordon MJ, Weiss JM, Reddix RN, Conditt MA, Mathis KB: Does total knee replacement restore normal knee function? Clin Orthop Relat Res 2005;(431): 157–165

100. Nugent M, Wyatt MC, Frampton CM, Hooper GJ: Despite improved survivorship of uncemented fixation in total knee arthroplasty for young patients, cemented fixation remains the gold standard: an analysis of a national joint registry. Bone Joint J 2019; 101-B: 22–27

101. Nwachukwu BU, Rebolledo BJ, McCormick F, Rosas S, Harris JD, Kelly BT: Arthroscopic Versus Open Treatment of Femoroacetabular Impingement: A Systematic Review of Medium- to Long-Term Outcomes. Am J Sports Med 2016; 44(4): 1062–1068

102. Petterson S, Snyder-Mackler L. The use of neuromuscular electrical stimulation to improve activation deficits in a patient with chronic quadriceps strength impairments following total knee arthroplasty. J Orthop Sports Phys Ther 2006; 36(9): 678–85

103. Pierannunzii L: Femoroacetabular impingement: question-driven review of hip joint pathophysiology from asymptomatic skeletal deformity to end-stage osteoarthritis. J Orthop Traumatol 2019; 20(1): 32

104. Pritchett JW: Patients prefer a bicruciate-retaining or the medial pivot total knee prosthesis. J Arthroplasty 2011; 26(2): 224–228

105. Risberg MA, Holm I. The long-term effect of 2 postoperative rehabilitation programs after anterior cruciate ligament reconstruction: a randomized controlled clinical trial with 2 years of follow-up. Am J Sports Med 2009; 37(10): 1958–66

106. Rovere G, Luziatelli D, Luziatelli S, et al.: An Observational Retrospective Study. J Funct Morphol Kinesiol 2025; 5; 10(4): 389

107. Rueckl K, Liebich A, Bechler U, Springer B, Rudert M, Boettner F. Return to sports after hip resurfacing versus total hip arthroplasty: a mid-term case control study. Arch Orthop Trauma Surg 2020; 140(7): 957–962

108. Samy DA, Wolfstadt JI, Vaidee I, Backstein DJ: A retrospective comparison of a medial pivot and posterior-stabilized total knee arthroplasty with respect to patient-reported and radiographic outcomes. J Arthroplast 2018; 33(5): 1379–1381

109. Sandiford N, Muirhead-Allwood SK, Skinner JA: Return to sporting activity after Birmingham hip resurfacing arthroplasty: Mid term results. Indian J Orthop 2015; 49(6): 595–601

110. Sariali E, Lazennec JY, Khiami F, Catonné Y. Mathematical evaluation of jumping distance in total hip arthroplasty: influence of abduction angle, femoral head offset, and head diameter. Acta Orthop 2009; 80: 277–282

111. Sariali E, Mouttet A, Pasquier G, Durante E: Three-dimensional hip anatomy in osteoarthritis: analysis of the femoral offset. J Arthroplasty 2009; 24: 990–997

112. Schmalzried TP, Shepherd EF, Dorey FJ, et al. Wear is a function of use, not time. Clin Orthop Relat Res 2000; 381: 36–46

113. Shanaa J, Amar O, Asad S, Di Pauli von Treuheim T, Aggarwal VK, Marwin S. Hip Resurfacing Arthroplasty Is Associated with Lower Metal Ion Levels and Revision Risk Compared with Large-Head Metal-on-Metal Total Hip Arthroplasty: A Systematic Review and Meta-Analysis. JBJS Rev 2025; 13(12)

114. Shi W, Jiang Y, Wang Y, Zhao X, Yu T, Li T. Medial pivot prosthesis has a better functional score and lower complication rate than posterior-stabilized prosthesis: a systematic review and meta-analysis. J Orthop Surg Res 2022; 19; 17(1): 395

115. Sinicrope BJ, Feher AW, Bhimani SJ, et al.: Increased survivorship of cementless versus cemented total knee arthroplasty in the morbidly obese: a minimum 5-year follow-up. J Arthroplasty 2019; 34: 309–314

116. Sinicrope BJ, Feher AW, Bhimani SJ, et al.: Increased survivorship of cementless versus cemented total knee arthroplasty in the morbidly obese: a minimum 5-year follow-up. J Arthroplasty 2019; 34: 309–314

117. Sloan M, Premkumar A, Sheth NP. Projected volume of primary total joint arthroplasty in the U.S., 2014 to 2030. J Bone Joint Surg Am 2018; 100: 1455–1460

118. Sohatee MA, Ali M, Khanduja V, Malviya A: Does hip preservation surgery prevent arthroplasty? Quantifying the rate of conversion to arthroplasty following hip preservation surgery. J Hip Preserv Surg 2020; 7(2): 168–182

119. Sowers CB, Carrero AC, Cyrus JW, Ross JA, Golladay GJ, Patel NK. Return to sports after total hip arthroplasty: an umbrella review for consensus guidelines. Am J Sports Med. 2021

120. Sterneder CM, Spilo K, Boettner F. OUP 2024; 13: 210–217. Bade MJ, Stevens-Lapsley JE. Early high-intensity rehabilitation following total knee arthroplasty improves outcomes. J Orthop Sports Phys Ther 2011; 41(12): 932–41

121. Sterneder CM, Spilo K, Boettner F. Sport nach Knieendoprothetik. OUP 2024; 13: 210–217

122. Sterneder CM, Spilo K, Boettner F: Sport nach Knieendoprothetik. Was können wir unseren Patientinnen und Patienten sagen? OUP 2024; 13: 210–217

123. Sterneder CM, Spilo K, Boettner F: Sport nach Knieendoprothetik. Was können wir unseren Patientinnen und Patienten sagen? OUP 2024; 13: 210–217. doi: 10.53180/oup.2024.0210–0217

124. Tilbury C, Schaasberg W, Plevier JWM, et al. Return to work after total hip and knee arthroplasty: a systematic review. Rheumatology 2014; 53: 512–525

125. Treacy RBC, Holland JP, Daniel J, Ziaee H, McMinn DJW. Preliminary report of clinical experience with metal-on-highly-crosslinked-polyethylene hip resurfacing. Bone Joint Res 2019; 8(10): 443–450

126. Tsubosaka M, Ishida K, Kodato K, et al: Mid-flexion stability in the anteroposterior plane is achieved with a medial congruent insert in cruciate-retaining total knee arthroplasty for varus osteoarthritis. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2021; 29(2): 467–473

127. Van Der Straeten C: Hip resurfacing arthroplasty in young patients: international high-volume centres' report on the outcome of 11,382 metal-on-metal hip resurfacing arthroplasties in patients 50 years at surgery. Hip Int 2020; 9: 1120700020957354

128. von Engelhardt LV, Breil-Wirth A, Kothny C et al. Long-term results of an anatomically implanted hip arthroplasty with a short stem prosthesis. World J Orthop 2018; 9: 210–219

129. von Engelhardt LV, Breil-Wirth A, Kothny C, Seeger JB, Grasselli C, Jerosch J: Long-term results of an anatomically implanted hip arthroplasty with a short stem prosthesis (MiniHip™). World J Orthop 2018; 9(10): 210–219

130. von Engelhardt LV, Jerosch J. Welche Vorteile bietet der Schenkelhals-teilerhaltende Kurzschaft in der Hüftendoprothetik? OUP 2023; 12: 0144–0149

131. Warburton DER, Bredin SSD. Health benefits of physical activity. Curr Opin Cardiol 2017; 32: 541–556

132. Wautier D, Thienpont E: Changes in anteroposterior stability and proprioception after diferent types of knee arthroplasty. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2017; 25(6): 1792–1800

133. Westby MD, Brittain A, Backman CL. Expert consensus on best practices for post-acute rehabilitation after total hip arthroplasty. Arthritis Care Res 2014; 66: 411–423

134. Westby MD, Brittain A, Backman CL: Expert consensus on best practices for post-acute rehabilitation after total hip and knee arthroplasty: a Canada and United States Delphi study. Arthritis Care Res (Hoboken) 2014; 66: 411–423

135. Willert HG, Semlitsch M. Reactions of the articular capsule to wear products. J Biomed Mater Res. 1977

136. Williams DH, Greidanus NV, Masri BA, Duncan CP, Garbuz DS: Predictors of participation in sports after hip and knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res 2012; 470: 555–561

137. Yan SG, Chevalier Y, Liu F, et al.: Metaphyseal anchoring short stem hip arthroplasty provides a mo re physiological load transfer: a com parative finite element analysis study. J Orthop Surg Res 2020; 15: 498

138. Yan SG, Weber P, Steinbrück A, et al.: Periprosthetic bone remodelling of short-stem total hip arthroplasty: a systematic review. Int Orthop 2018; 42: 2077–2086

139. Yazdi H, Choo KJ, Restrepo C, Hammad M, Sherman M, Parvizi J: Short-term results of Triathlon cementless versus cemented primary total knee arthroplasty. Knee 2020; 27: 1248–1255