

# OUP

5 | 2024  
13. JAHRGANG

Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis  
Vereinigung Süddeutscher Orthopäden und Unfallchirurgen e.V.

## THEMENHEFT

## Knieendoprothetik

### AUS DEM INHALT

Medial pivotierende  
Knieendoprothesen

Sport nach  
Knieendoprothetik

Moderne Fast-Track-Konzepte

Computerassistierte  
Chirurgie

Roboterassistierte  
Knieendoprothetik

Arthrofibrose des  
Kniegelenks





## DERMATOSKOPIE GRUNDKURS

Neu! Verschaffen Sie sich Sicherheit im Behandlungsalltag:  
**Von den Basics zum erfolgreichen therapeutischen Management**  
mit einem der führenden Experten in dem Fachgebiet,  
**Prof. Dr. Andreas Blum** aus Konstanz.

### INHALT:

- Hautuntersuchung – Anamnese und Klinik
- Warum Dermatoskopie?
- Kurz, knapp und hilfreich: Physik der Dermatoskopie
- Hautläsionen: erfolgreiches, dermatoskopisches therapeutisches Management
- Erste Schritte zur richtigen Diagnose

### KURSinFORMATIONEN:

**Ausgerichtet an:** Ärztinnen und Ärzte

**Dauer:** ca. 135 Minuten

**Format:** Online – Teil einer Kursreihe

**Kosten:** 99 € zzgl. MwSt.

**Zertifizierung:** 3 CME-Punkte (von der Ärztekammer Nordrhein)

mehr erfahren:



**ZERTIFIZIERT DURCH DIE ÄRZTEKAMMER NORDRHEIN**

# Knieendoprothetik

Liebe Kolleginnen und Kollegen,

in diesem, und auch in einem weiteren Heft im Jahr 2025, möchten wir einige aktuelle, klinisch relevante Themen im Bereich der primären Knieendoprothetik beleuchten.

Wir starten mit der medial pivotierenden Knieendoprothetik, die in den angloamerikanischen Ländern, aber auch in der Schweiz und in Österreich weitaus mehr Verbreitung findet als in Deutschland. Nachdem ich mich seit vielen Jahren damit beschäftige, freue ich mich, Ihnen zu diesen im Ausland etablierten Konzepten eine aktuelle Übersicht zu vermitteln.

Im Weiteren geht es um die Frage, inwieweit nach einer knieendoprothetischen Versorgung Sport, einschließlich Sportarten mit hohen Belastungen, möglich sind. Hier danke ich Friedrich Boettner, Christian Sterneder und Kimi Spilo aus dem Hospital for Special Surgery in New York für ihre Aufarbeitung der aktuellen Literatur. Sie gehen dabei auf die Empfehlungen der weltweit führenden Fachgesellschaften, die Bedeutung zementfreier Verankerungen, unterschiedlicher Alignmentkonzepte, den Verzicht auf den Patellarrückflächenersatz, Designkonzepte wie bspw. medial pivotierende Endoprothesen usw. ein. Damit hilft uns diese Aufarbeitung, sinnvolle Entwicklungen und Konzepte zu erkennen und fundierte Empfehlungen abzuleiten.

Anschließend danke ich Christoph von Schulze-Pellengahr und Wolfram Teske für ihre Aufarbeitung von Fast-Track-Konzepten in der Knieendoprothetik. Sie haben sich die letzten Jahre insbesondere in Bad Pyrmont intensiv damit beschäftigt, so dass wir hier einen guten Einblick erhalten.

Athanasios Karras, Hans-Georg Palm und Markus Peyerl bieten uns eine wertvolle Ausarbeitung der aktuellen Metastudien zur computerassistierten Chirurgie in der Knieendoprothetik. Sie arbeiten die Themen Präzision, Standzeiten, Revisionsraten und funktionelle Ergebnisse kritisch und sachlich auf. Mit Blick auf die vielfältigen unterschiedlichen Daten zur Navigation überzeugen konventionelle Operationsmethoden, insbesondere in erfahrenen Händen, weiterhin als äußerst präzise und zuverlässige Verfahren.

Marcel Betsch, Mario Perl, Joshua Kubach und Mario Pasurka danke ich für ihren Einblick in die roboterassistierte Knieendoprothetik. Neben ersten klinischen Ergebnissen aus Erlangen und der heterogenen sowie noch dünnen Datenlage werden auch spezielle Probleme wie Frakturen und Infektionen der Pins, verlängerte Operationszeiten, Probleme beim Kalibrieren der Systeme und die langen Lernkurven, nicht nur der Operateurin/des Operateurs, sondern des gesamten klinischen und außerklinischen betreuenden Teams, beleuchtet.

Die Arthrofibrose gehört zu den häufigen Komplikationen nach Gelenkersatzoperationen des Kniegelenkes. Nachdem die üblichen Maßnahmen, bspw. im Bereich der Physiotherapie, hier nicht greifen, gibt uns Philipp Traut, als einer der führenden Spezialisten in diesem Feld, wertvolle Einblicke in seine Konzepte. Hierbei greift er seine für eine sinnvolle Therapie zu implementierenden Pathogenese- und Stadienmodelle auf.

Abschließend gehen Michael Jagodzinski, Veit Krenn und Philipp Traut auf die wiederum stadienabhängig einzusetzenden operativen Möglichkeiten bei einer Arthrofibrose ein. Neben den m. E. besonders wertvollen minimal-invasiven Verfahren gehen die Kollegen auch auf eher selten einzusetzende, ausgedehnte Verfahren, wie Verschiebungen des Streckapparates etc. ein. Darüber hinaus werden ebenso wichtige aktuelle, perioperative Konzepte behandelt.

Ich freue mich, Ihnen in dieser Ausgabe einen Überblick über alltagsrelevante Themen und praktisch anwendbare Erkenntnisse zur primären Knieendoprothetik geben zu dürfen. Die hier gezeigten Inhalte sind eindrucksvoll und für unsere Entscheidungen und Konzepte von praktischer Relevanz. Ich danke allen Autoren und Koautoren für die wertvollen und spannenden Beiträge.

Viel Freude beim Lesen!



Foto: privat

Prof. Dr. med.  
Lars Victor von Engelhardt  
Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie  
und Sportmedizin am Klinikum Peine &  
Universität Witten/Herdecke  
Hauptschriftleiter OUP

**EDITORIAL / EDITORIAL**  
**201 Knieendoprothetik****WISSENSCHAFT / RESEARCH****ÜBERSICHTSARBEITEN / REVIEW**

- Lars Victor von Engelhardt  
**203 Medial pivotierende Knieendoprothesen. Eine sinnvolle Weiterentwicklung?**  
*Medial pivot in knee arthroplasty. A meaningful advancement?*
- Christian Manuel Sterneder, Kimi Spilo, Friedrich Boettner  
**210 Sport nach Knieendoprothetik. Was können wir unseren Patientinnen und Patienten sagen?**  
*Sport after knee arthroplasty. What can we tell our patients?*
- Christoph von Schulze-Pellengahr, Wolfram Teske  
**218 Moderne Fast-Track-Konzepte in der Knieendoprothetik. Wie kommen wir zu guten Ergebnissen?**  
*Modern fast-track concepts in knee joint replacement. How do we get good results?*
- Athanasios Karras, Markus Peyerl, Hans-Georg Palm  
**226 Aktuelle Metastudien zur computerassistierten Chirurgie in der Knieendoprothetik. Was bringt sie wirklich?**  
*A current meta analysis of computer assisted surgery in knee arthroplasty. What is its actually contribution?*
- Marcel Betsch, Mario Perl, Joshua Kubach, Mario Pasurka  
**230 Roboterassistierte Knieendoprothetik. Aktueller Stand, klinische Ergebnisse und Zukunftsaussichten**  
*Robotic-assisted total knee arthroplasty. Current status, clinical results and future prospects*
- Philipp Traut  
**236 Arthrofibrose und ihre Differenzialdiagnosen, Pathogenese- und Stadienmodell. Konservative Therapie und Prävention**  
*Arthrofibrosis and its differential diagnoses, pathogenesis and staging model. Conservative therapy and prevention*
- Michael Jagodzinski, Veit Krenn, Philipp Traut  
**246 Operative Therapie der Arthrofibrose des Kniegelenks. Voraussetzungen, Planung und operative Strategien**  
*Operative therapy of arthrofibrosis of the knee joint. Prerogatives, planning and execution*

**AKTUELLES / NEWS**

- MARKT / MARKET**  
**251 Produktmeldungen**
- BERICHT AUS DER INDUSTRIE/ INDUSTRY REPORT**  
**252 Mit Enzymen Entzündung regulieren**

**IMPULS / IMPULSE**

- Ben Baak  
**254 Mit hoher Muskelkraft und Muskelmasse zu mehr Lebensqualität und gesunden Lebensjahren?**
- 256 IMPRESSUM / IMPRINT**

**Titelbildhinweis:** Lars Victor von Engelhardt

**Online-Ausgabe der OUP:** [www.online-oup.de](http://www.online-oup.de)

Alle wichtigen **Ansprechpartnerinnen und Ansprechpartner** inkl. Kontaktdaten sowie das Impressum finden Sie auf **Seite 256**  
Die ausführlichen **Manuskriptrichtlinien** finden Sie im Internet unter [www.online-oup.de](http://www.online-oup.de) zum Herunterladen

Lars Victor von Engelhardt

# Medial pivotierende Knieendoprothesen

## Eine sinnvolle Weiterentwicklung?

### Zusammenfassung:

Die totale Kniearthroplastik ist in der großen Mehrheit der Fälle effizient, um Schmerzen zu beseitigen und die Gelenkfunktion zu verbessern. Dennoch gibt es immer noch einen Anteil an Patientinnen und Patienten, die mit der endoprothetischen Versorgung nicht zufrieden sind. Als Ursachen werden u.a. anhaltende Schmerzen, ein eingeschränktes Bewegungsgefühl, ein unnatürliches Kniegefühl und Instabilitätsbeschwerden angegeben. Auch berichten aktive Patientinnen und Patienten von Einschränkungen bei der Ausübung von High Level-Aktivitäten. Traditionelle Designs von Totalendoprothesen des Kniegelenkes können die physiologische Kinematik des Kniegelenkes nicht vollständig reproduzieren. Sog. medial pivotierende Systeme haben das Ziel, die normale Biomechanik des Kniegelenkes nachzubilden. Innenseitig sind sie so gestaltet, dass sie einer in einem passenden hochkongruenten Sockel einliegenden Kugel ähneln. Dies sichert, ähnlich wie bei einem natürlichen, gesunden Knie, in allen Ebenen die Stabilität und erlaubt eine konstante Bandspannung an der inneren Seite. Außen sind die Implantate wenig kongruent, was die natürliche rotierende Bewegung des Kniegelenkes erlaubt. Die Kombination aus einer natürlichen, nicht kompromittierten Kniebeweglichkeit und einer hohen Stabilität reproduziert die natürliche Biomechanik des Kniegelenkes. Dies ist die Basis für eine gute Kniefunktion im Alltag und im Sport. In Deutschland finden diese Versorgungskonzepte im Vergleich zu anderen Ländern eher selten, aber mit deutlich steigender Tendenz, Anwendung. Dieser Übersichtsartikel soll einen Einblick zu diesen, in Deutschland teilweise noch nicht sehr bekannten Versorgungskonzepten geben.

### Schlüsselwörter:

Knieendoprothese, medial pivotierend, ball-in-socket, Kniekinematik, sagittale Stabilität, klinisches Outcome

### Zitierweise:

von Engelhardt LV: Medial pivotierende Knieendoprothesen. Eine sinnvolle Weiterentwicklung?  
OUP 2024; 13: 203–209  
DOI 10.53180/oup.2024.0203-0209

### Einleitung

Die Erwartungen der Patientinnen und Patienten an die Ergebnisse einer Endoprothese des Kniegelenkes sind hoch. Dies umfasst gleichermaßen kniespezifische als auch allgemeine gesundheitliche Aspekte der Patientin/des Patienten [37]. Ein ähnliches Bild besteht auch auf Seiten der ärztlichen Kolleginnen und Kollegen. Beispielsweise erwartet, bzw. empfiehlt die Mehrheit der Chirurgeninnen und Chirurgen eine Rückkehr zu gelenk-

schonenden Sportarten bereits nach 3 Monaten, spätestens aber nach 6 Monaten. Mehr als 50 % empfehlen darüber hinaus, sofern die Patientin/der Patient die allgemeinen Voraussetzungen dazu hat und ein angemessenes Training bzw. eine Schulung sichergestellt ist, auch High Impact-Sportarten wie Fußball, Basketball, Volleyball, Squash, Handball, Skifahren etc. [70]. Auch finden sich bei den Patientinnen und Patienten, die wegen einer Knieendoprothese zu uns

kommen, zunehmend sehr aktive Patientinnen und Patienten mit logischerweise hohen Erwartungen. Die Ziele für eine Rückkehr in Alltag und Sport sind somit hoch gesetzt. Auch vor diesem Hintergrund wird auf vielfältige Art und Weise nach Verbesserungen im Bereich der Knieendoprothetik gesucht. Hinsichtlich vieler Aspekte, wie bspw. Zugangstechnik und Weichteilmanagement, der Frage nach einem mechanischen oder kinematischen Aligment, dem Umgang

## Medial pivot in knee arthroplasty

### A meaningful advancement?

**Summary:** In the vast majority of cases total knee arthroplasty is efficient for pain relief and improving the joint function. However, there is still a subset of patients who are not satisfied with their replacement surgery. Reasons cited include persistent pain, restricted movement, an unnatural feeling of the knee and complaints of instability. Additionally, active patients sometimes report limitations in performing high-level activities. Traditional designs of total knee prostheses cannot fully replicate the physiological kinematics of the knee joint. Medial pivot systems aim to reproduce the physiological biomechanics of the knee joint. Medially, they resemble, similar to a natural and healthy knee, a ball fitting into a highly congruent socket, ensuring stability in all planes and allowing for a constant ligament tension on the medial side. Externally, these implants are less congruent, permitting the natural rotational movement of the knee joint. The combination of natural, uncompromised knee mobility and high stability is intended to reproduce a physiological biomechanics of knee joint. This is the basis for good knee function in daily activities and sports. In Germany, these treatment concepts are used relatively infrequently compared to other countries, although their use has increased significantly. This review article aims to provide insight into these concepts, which are still relatively unknown in Germany.

**Keywords:** Knee arthroplasty, medial pivot, ball-in-socket, knee kinematics, sagittal stability, clinical outcome

**Citation:** von Engelhardt LV: Medial Pivot in Knee Arthroplasty. A meaningful advancement? OUP 2024; 13: 203–209. DOI 10.53180/oup.2024.0203-0209

mit der Kniescheibe und insb. zur Implantatwahl, ist die Philosophie im Kollegenkreis weltweit äußerst kontrovers. Ähnlich kontrovers sind die Studienergebnisse. Eindeutige Empfehlungen lassen sich derzeit allenfalls eingeschränkt ableiten. Letztlich basieren die Entscheidungen oft auf der Ausbildung und den individuellen Erfahrungen der Chirurginnen und Chirurgen [55].

Die große Mehrheit der Knieendoprothesen sind kreuzbanderhaltende, engl. cruciate retaining (CR) oder posterior stabilisierte (PS) Implantate. Im Vergleich zu diesen gängigen Modellen zeichnen sich medial pivotierende Kniegelenke durch eine andere Implantatphilosophie aus. Im anglo-amerikanischen Bereich, in der Schweiz und in Österreich wurden sie derzeit stetig weiterentwickelt und mit deutlich wachsenden Zahlen eingesetzt. Bspw. liegt der Anteil medial pivotierender Implantate in der Schweiz bereits bei 15,1 % [64]. Auch im australischen Endoprothesenregister hat der Einsatz von Prothesen mit medialem Pivot-Design seit 2013 deutlich zugenommen. Im Jahr 2022 machten Prothesen mit medialem Pivot-Design bereits 9,9 % der primären Eingriffe aus, wobei die Implantati-

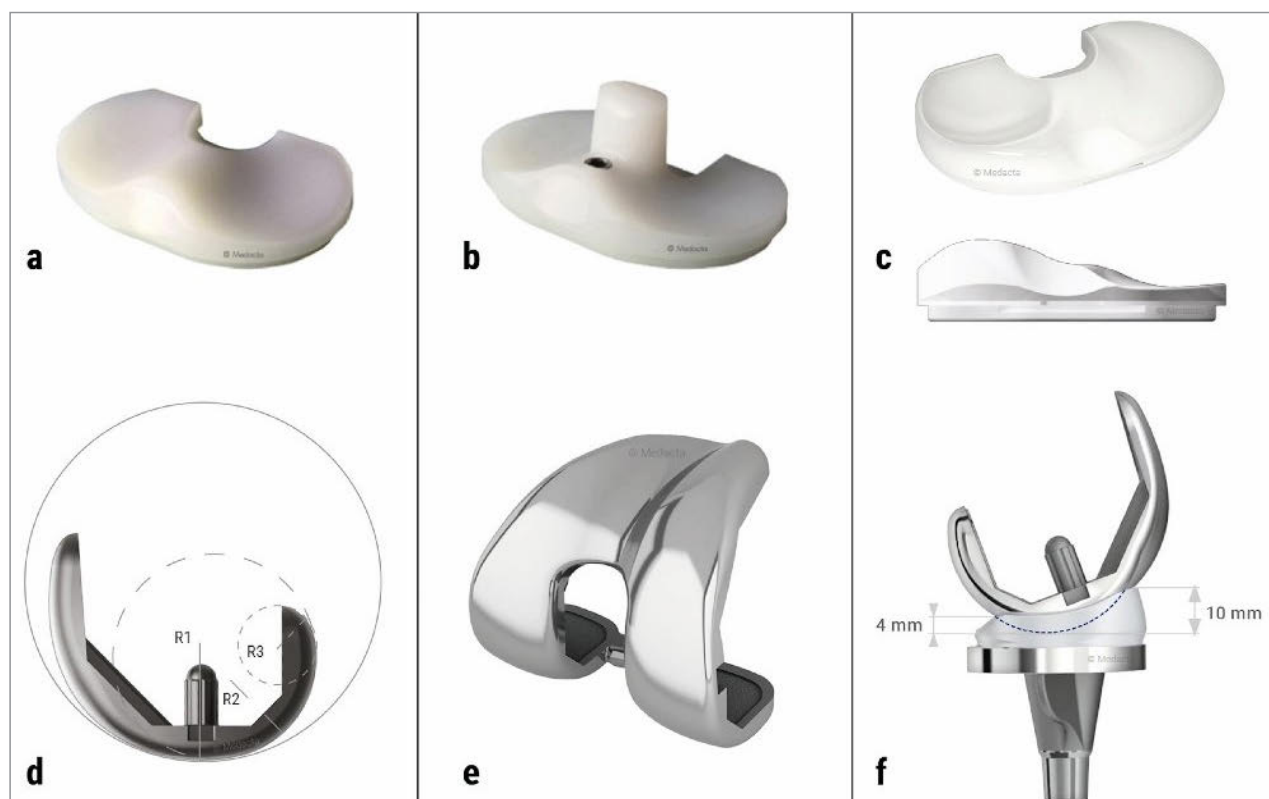
onszahlen in Australien von Jahr zu Jahr deutlich zunehmen [3]. In Deutschland sind sie hingegen nicht allzu bekannt; hier werden sie bis dato vglw. selten eingesetzt.

### CR, PS und medial pivotierend

Die Designs von Knieendoprothesen und Inlays unterscheiden sich hinsichtlich Kongruenz, Kinematik und dem Ausmaß der gegebenen Stabilisierung (Abb. 1). In Deutschland erfolgten im Jahr 2022 44,5 % der Primärversorgungen mit CR-Endoprothesen [19]. Hier finden sich femoral sowohl "single radius" als auch "multi-radius"-Konzepte (Abb. 1d). Die tibiale Komponente der CR-Implantate hat eine Aussparung im hinteren, mittleren Bereich, um hier das erhaltene hintere Kreuzband zu schonen (Abb. 1a). Ein wesentliches Problem dieser, das hintere Kreuzband erhaltende Modelle ist, dass der tibiale Ansatz in der Mehrheit der Fälle einer regulären Resektion des Kreuzbandes entfernt wird. Somit gelingt der für diese Implantate wichtige Erhalt der Funktion des hinteren Kreuzbandes nicht zuverlässig. Entsprechend häufig zeigt sich eine hintere Instabilität der CR-Endoprothesen [41, 66]. So-

mit gleitet das Femur bei der Beugung nicht wie üblich nach hinten, sondern nach vorne. Diese unphysiologische anteriore Translation wird auch als paradoxe Bewegung bezeichnet. Nachdem das vordere, paradoxe Abgleiten während der frühen Beugung auftritt, wird dieses Phänomen auch als Midflexion-Instabilität bezeichnet [6, 15, 69]. Entsprechend der Literatur ist dies mit Schmerzen, Instabilitätsgefühlen und einem reduzierten klinischen Outcome-Score assoziiert [40, 43, 62].

An zweiter Stelle, mit 24,3 %, werden in Deutschland posterior stabilisierte (PS) Prothesen verwendet, die das hintere Kreuzband ersetzen [19]. Hier findet sich am hinteren Inlay ein Zapfen (Abb. 1b), der in einem Kasten mit Steg in der Femurkomponente (Abb. 1e) einsitzt und so die Gelenkpartner gegeneinander stabilisiert. Diese, im englischen Sprachraum als "post-cam"-Mechanismus bezeichnete Kopplung, soll während der Kniebeugung die anteriore Translation des Femurs nach vorne bzw. der Tibia nach hinten verhindern [68]. Auch wurde bei den PS-Kniegelenken ein femorales Rollback beschrieben, dass die Möglichkeit der tiefen Beugung unterstützen soll [31].



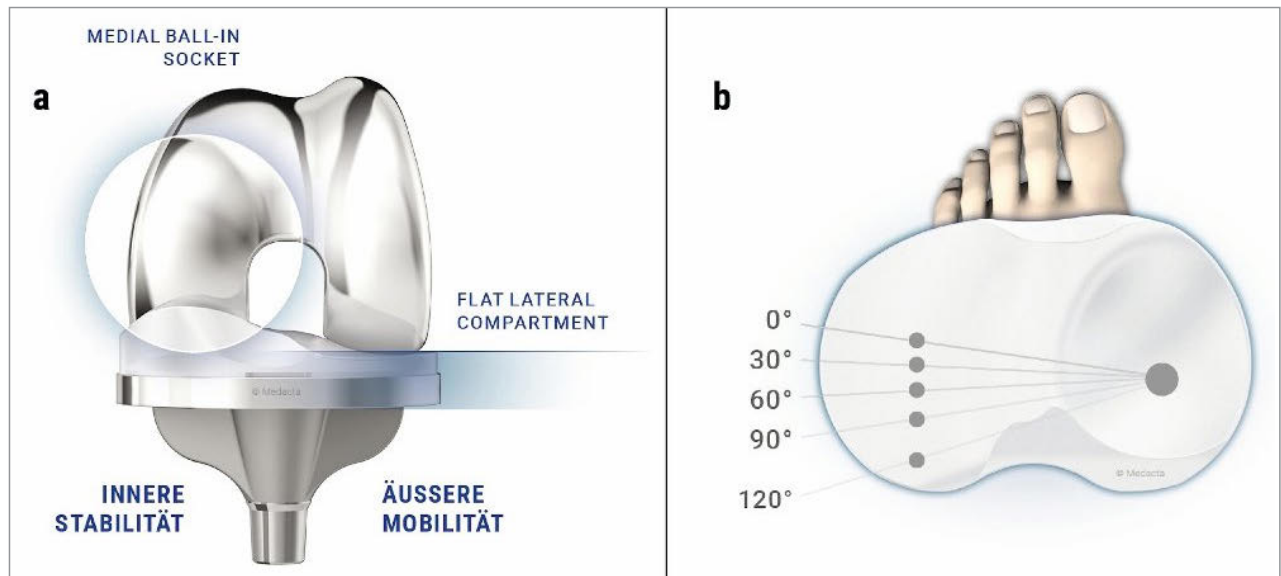
**Abbildung 1** Die große Mehrheit implantierter Knieendoprothesen sind kreuzbanderhaltende, engl. cruciate retaining (CR) (links) und posterior-stabilisierte (PS) Implantate (mittig). Seltener werden medial pivotierende Implantate verwendet (rechts). Das Inlay und die tibiale Komponente der CR-Implantate hat hinten in der Mitte eine Aussparung, um hier das hintere Kreuzband zu schonen **(a)**. Das Inlay der PS-Implantate hat dorsal einen Zapfen **(b)**, der in einem Kasten mit Steg in der Femurkomponente **(e)** einsteht und so die Gelenkpartner stabilisiert. Bei den femoralen CR- u. PS-Komponenten finden sich sowohl „single radius-“ als auch, wie hier abgebildet, „multi-radius“-Konzepte **(d)**. Das Inlay medial pivotierender Systeme ist innen hoch ausgezogen, um den inneren Femurkondylus hochkongruent zu führen und insb. vorne zu stabilisieren. Außen besteht, ähnlich wie beim gesunden Knie, eine reduzierte Kongruenz, so dass sich die Gelenkpartner unlimitiert vor- und zurückbewegen können **(c)**. Die Innenseite ist, wiederum ähnlich zum natürlichen Knie, ein Kugelgelenk mit einem fixen Krümmungsradius, wobei das konkave Inlay vorne höher ausgezogen ist als hinten. Dies soll eine zuverlässige a.p.-Stabilität sicherstellen **(f)**.

Aufgrund der hinteren Stabilisierung erlaubt dies eine vglw. tiefe Beugung [30, 36, 49]. Dies ist bei kontrakten Kniegelenken wertvoll, um im Rahmen der Operation zu einer guten Beweglichkeit zu kommen. Darüber hinaus ist auch eine eher tiefe tibiale Resektion problemlos möglich, was wiederum eine adäquate femuro-tibiale Distraction mit einer entsprechend guten Beweglichkeit erlaubt. Unabhängig von der Diskussion zu dem vermeintlichen Erhalt des hinteren Kreuzbandes bietet das femorale Rollback der PS-Endoprothesen gegenüber CR-Endoprothesen den Vorteil, überhöhte retropatellare Stressspitzen mit etwaigen Problemen im Retropatellargelenk zu vermeiden [8, 75]. Argumente gegen PS-Endoprothesen sind der erhöhte Knochen- und Blutverlust durch die Boxpräparation sowie der erhöhte Abrieb

und Schäden am Zapfen [16, 52]. So zeigte eine in-vivo-Studie anhand von Proben aus der Synovialflüssigkeit, dass die PS-Versorgungen gegenüber medial pivotierenden Implantaten signifikant vermehrt Abriebpartikel aufweisen [42]. Trotz der hinteren Stabilisierung bei den PS-Versorgungen ist anzumerken, dass sich auch hier gar nicht selten eine Instabilität des Kniegelenkes in mittleren Beugegraden findet [39, 54, 61].

Zusätzlich zu den PS- und CR-Konzepten sind noch Implantate mit mobilen, rotierenden Inlays sowie besonders stark geführte Prothesen, wie gekoppelte Designs und oder Varus-Valgus stabilisierenden Komponenten, die bspw. bei größeren Band- und Knochenschäden und/oder erheblichen Achskorrekturen verwendet werden, zu nennen [31].

Fortschritte im Verständnis der Kniebiomechanik haben zu andersartigen Ansätzen geführt, die die natürliche, dreidimensionale Kinematik gezielter nachahmen sollen. Neben Kadaverstudien, Studien im Röntgen sowie offenen Magnetresonanztomografien etc. haben v.a. die Arbeiten von Freeman und Pinskero-va aus dem Jahr 2005 zu dem Verständnis beigetragen, dass sich die tibiofemorale Beugeachse während der Kniebeugung auf der äußeren Seite erheblich nach hinten verlagert, wohingegen im inneren Gelenkkompartiment der tibiofemorale Kontakt nahezu punktgenau konstant bleibt [22, 32]. Hierbei gleitet der äußere Femurkondylus während der Kniebeugung von vorne nach hinten. Er dreht er sich dabei um das Zentrum im medialen Kompartiment. Das mediale Kompartiment



**Abbildung 2** Prinzip der medial pivotierenden Kniegelenke bzw. „ball-in-socket“-Systeme, die das Ziel haben, die physiologische Kinematik eines gesunden Kniegelenkes nachzubilden. **a** Der innere Gelenkanteil verhält sich wie ein stabil geführtes Kugelgelenk. 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, so dass sich das Knie auf dieser Seite unlimitiert vor- und zurückbewegen kann. **b** 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 er sich dabei um das Zentrum im medialen Kompartiment, das in seinem Drehpunkt stabil bleibt. Dies erlaubt die physiologische pivotierende Bewegung auf der Außenseite.

bleibt in seinem Drehpunkt stabil (Abb. 2b). Somit ähnelt das innere Kompartiment einem Kugelgelenk, das eine pivotierende Bewegung erlaubt [14]. Diese Kombination aus einem fix geführten Kugelgelenk innenseitig und einem sich frei vor- und zurückbewegenden Gelenk außen hat zu dem Begriff „ball-in-Socket“-Kinematik geführt.

Mit dem Ziel, die physiologische Kinematik eines gesunden Kniegelenkes nachzubilden, wurden Endoprothesen entwickelt, bei denen die mediale Seite als hochkongruentes Kugelgelenk mit einem fixen Krümmungsradius gestaltet ist (Abb. 1c, 3a–c). Dies erlaubt innenseitig eine konstante Spannung des Seitenbandkomplexes mit einer entsprechend hohen Stabilität (Abb. 2a). Die äußere Seite weist hingegen, ähnlich wie beim gesunden Knie, eine reduzierte Kongruenz auf, so dass sich diese Seite unlimitiert vor- und zurückbewegen kann (Abb. 2a) [28]. Letztlich pivotiert das Kniegelenk bei der Flexions-Extensionsbewegung um eine Achse durch den inneren Gelenkanteil, was zu dem Begriff der „medial pivotierenden“ Endoprothese ge-

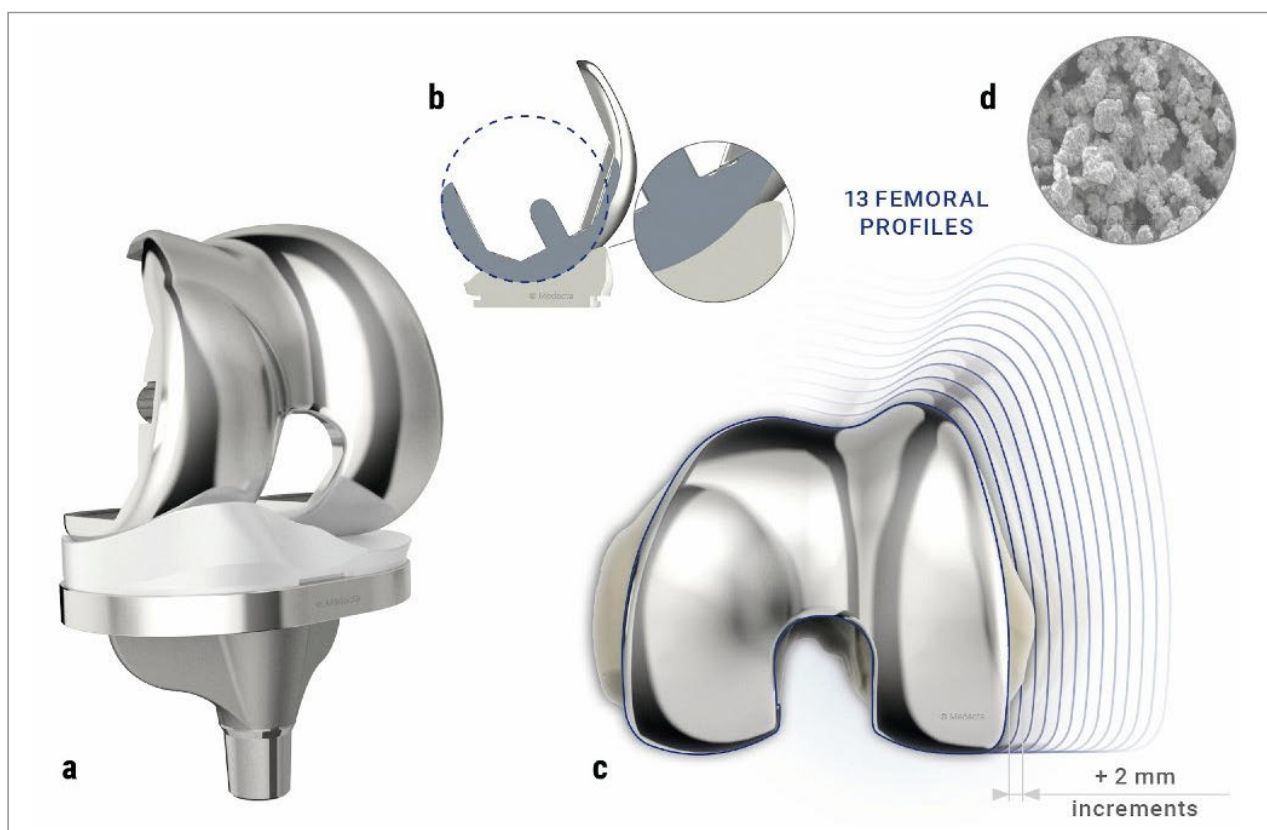
führt hat (Abb. 2b). Dieses ball-in-socket-Konzept, das im Vergleich zu anderen Endoprothesen am ehesten der physiologischen Kniegelenkskinematik entspricht, wurde im angloamerikanischen Bereich und in der Schweiz eingeführt und stetig weiterentwickelt. Diese Endoprothesen werden von wenigen Firmen mit steigender Nachfrage angeboten. Der Einkaufspreis liegt deutlich im oberen Preissegment. In Deutschland werden die Endoprothesen mit steigender Tendenz, bis dato in 4,5 % der Primärversorgungen, verwendet [19].

### Kinematik, Stabilität und Outcome

Eine aktuelle Studie verglich die Kinematik bei medial pivotierender Versorgung mit Knie-gesunden Probanden entsprechenden Alters. Die endoprothetisch versorgte Gruppe zeigte in den unterschiedlichen Beugegraden und unter Gewichtsbelastung, ebenso wie die Knie-gesunde Gruppe, keine paradoxe anteriore Translation. Innenseitig war die Stabilität sogar geringfügig höher als in der Kontrollgruppe [25]. Diese vglw. physiologische und sehr stabile Kinematik der

ball-in-socket-Systeme soll bei der Kniefunktion und hinsichtlich des klinischen Outcomes Vorteile bieten. Einige Autoren erhoffen, dass hiermit die bei den häufiger verwendeten CR- und PS-Systemen beobachtete Rate zu zufriedener Patientinnen und Patienten von etwa 80 % gesteigert wird [65].

Viele Patientinnen und Patienten mit konventionellen Endoprothesen beklagen eine reduzierte Stabilität, einen Verlust des natürlichen Kniegefühls, sowie eine verminderte Funktion mit einem reduzierten Bewegungsumfang [48]. Hinsichtlich Stabilität und einem physiologischen Kniegefühl ist v.a. die bereits genannte Midflexionstabilität von Bedeutung. Die Instabilitäten in mittlerer Beugung führen zu Alltagsbeeinträchtigungen bspw. beim Treppab- und -aufsteigen, dem Aufstehen aus dem Sitzen aber auch dem einfachen Gehen [69]. Weitere Symptome können ein Gefühl des Wegknickens, Schmerzen, Ergüsse, Missempfindungen des Weichgewebes etc. sein [44, 50, 58]. Ganguntersuchungen zu aktuellen PS-Endoprothesen zeigen, dass die physiologische Kinematik und Stabilität nicht ausreichend erzielt wird [29].



**Abbildung 3** Bei den medial-pivotierenden Knieprothesendesigns ist das innere Gelenk vollständig anders geformt als das laterale (a, c). Der mediale Gelenksanteil ist stabil geführt; das äußere Kompartiment ist wenig kongruent. Um das Knie innen in allen Beugegaden stabil zu halten, ähnelt die innere Seite einem hochkongruenten Kugelgelenk mit einem fixen Krümmungsradius (b, c). Um eine gute Passform sicherzustellen, bietet die femorale Komponente 13 Größen mit einer schrittweisen Zunahme um jeweils 2 mm (c). Feinstruktur einer schwammartigen, porösen Titanbeschichtung zur Verankerung der Endoprothese. Die Oberfläche ähnelt dem trabekulären Knochen, so dass sie neben einer hohen Primärstabilität das Einwachsen des Knochens sicherstellt (hier METAGRIP) (d).

So wurde nicht nur bei CR-Gelenken [6, 15, 20], sondern auch bei PS-Endoprothesen das Phänomen einer paradoxen Gleitbewegung nachgewiesen [2, 12, 14, 20, 26, 74]. Auch das Fehlen eines physiologischen Pivotierens um einen vglw. stabilen medialen Kontaktpunkt wurde gezeigt und als ursächlich für Beschwerden diskutiert [14, 28].

Eine geblindete, prospektiv randomisierte Studie aus dem Jahr 2023 verglich Patientinnen und Patienten mit einer PS-Versorgung (GMK PS, Medacta Int., Castel San Pietro, CH) mit einem medial pivotierenden Implantat (GMK Sphere, Medacta Int., Castel San Pietro, CH). Die anteroposteriore Stabilität wurde mit den hierfür geeigneten Stressradiografien quantifiziert [33]. In mittlerer Beugung bei 45° zeigten die medial pivotierenden Implantate eine deutlich bessere Stabilität als die PS-Endoprothesen. Die messbare, höhere Stabilität korrelierte signifi-

kant mit einem besseren Outcome-Scoring im Knee Society Score (KSS) sowie mit einer besseren Rückkehr in den Sport im Forgotten Joint-Score (FJS) [60]. Wiederum geblindete, randomisierte Studien verglichen die anteroposteriore Stabilität mit Arthrometermessungen. Hier zeigen die PS-Implantate gegenüber medial pivotierenden Versorgungen bei 30°-Beugung eine signifikant vermehrte, nahezu verdoppelte anteroposteriore Translation [13, 17]. Eine weitere, auch sehr aktuelle, vergleichende, prospektive Arthrometerstudie zeigte für medial pivotierende Implantate (Evolution, MicroPort Orthopedics Inc., Arlington, USA) gegenüber PS-Endoprothesen (Attune PS mobile-bearing, DePuy, Warsaw, Indiana, USA) nach 6 und 12 Monaten wiederum eine signifikant geringere anteriore Translation. Neben der besseren Stabilität bei einer 60°-Midflexion zeigen auch hier die klinischen Outcome-

Scores im KSS- und FJS-Score, sowie die visuellen Schmerzscorings, signifikant bessere Ergebnisse der medial pivotierenden Implantate [35]. Ähnliche vergleichende Ergebnisse zum klinischen Outcome und zur a.p.-Stabilität wurden von Wautier et al. [72], Samy et al. [56] und Batra et al. [7] nachgewiesen. Wiederum ähnliche Befunde fanden sich beim Vergleich medial pivotierender Endoprothesen mit CR-Implantaten. Auch hier ist die anteroposteriore Translation der medial pivotierenden Implantate bei der 45°-Beugung signifikant kleiner als bei den CR-Implantaten [67].

Inwieweit diese kinematischen Unterschiede, wie in den vorgenannten Studien beschrieben, am Ende auch wirklich ein überlegenes klinisches Outcome nach sich ziehen, ist aber letztlich unklar. So gibt es ebenso vergleichende Untersuchungen, in denen die medial pivotierenden Kniegelenke zwar wiederum sehr

gute Ergebnisse, allerdings keine signifikant besseren Ergebnisse gegenüber nichtpivotierenden Versorgungen zeigen. In diesen Studien wurden der KSS-Score, der Oxford Knee-Score (OKS) und der Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) ausgewertet [5, 9, 47, 71]. Eine interessante vergleichende Untersuchung war eine Studie, bei der > 400 Patientinnen und Patienten bilateral und zeitlich versetzt mit unterschiedlichen Endoprothesen versorgt wurden. Bei der 2-Jahres-Evaluierung wurden die Patientinnen und Patienten gefragt, welches Knie aus ihrer Sicht das Bessere sei. Beim Vergleich medial pivotierend vs. CR wurde bei 76 % der Patientinnen und Patienten das medial pivotierende Implantat als besser bewertet. 12 % sahen keinen Unterschied und 12 % empfanden das CR-Implantat als besser. Beim Vergleich zu den PS-Versorgungen wurde in 76,2 % der Fälle das medial pivotierende Implantat als besser bewertet. 14,3 % sahen keinen Unterschied und 9 % empfanden das PS-Implantat als besser [51].

Eine besondere, gelegentlich diskutierte Frage medial pivotierender Versorgungen ist, ob im Rahmen der Sicherung der natürlichen Kniekinematik das hintere Kreuzband, wenn intraoperativ sinnvoll und möglich, erhalten oder entfernt werden sollte [21]. Hierzu erfolgte aktuell eine prospektive, doppelt geblindete, randomisierte vergleichende Studie. In der Gruppe, bei der im Rahmen der medial pivotierenden Implantationen das hintere Kreuzband erhalten blieb, zeigte im Vergleich zur Resektion keine signifikanten Unterschiede. Hierbei wurden das Bewegungsausmaß, Schmerzen in der visuellen Analogskala, der OKS- und FJS-Score, sowie der Knee Injury and Osteoarthritis Outcome-Score for Symptoms und der Quality of Life-Score untersucht. Nach einem Minimum-Follow-up von 2 Jahren fanden sich in beiden Gruppen exzellente und gleichwertige Ergebnisse [10]. Ähnliche Ergebnisse zeigten weitere retrospektive, vergleichende Studien unter Erhalt bzw. Resektion des hinteren Kreuzbandes. Auch hier zeigten die Outcome-Scores wiederum keine signifikanten Unterschiede [5, 23, 73].

### Gangbild

Ein anderes Thema ist das Gangbild. Vergleichende Ganguntersuchungen anhand aufwendiger radiografischer Messungen zeigen bei CR- und PS-Endoprothesen gegenüber den medial pivotierenden Implantaten eine mehrfach und signifikant quantifizierbare paradoxe anteriore Translation. Die Kinematik medial pivotierender Implantate ähnelte im Unterschied zu den PS- und CR-Versorgungen am ehesten den charakteristischen Mustern eines normalen Ganges. Dies zeigte sich während des gesamten Gangzyklus. So konnten die Untersuchungen der medial pivotierenden Versorgungen bspw. das natürliche femorale roll-back bei der Kniebeugung und das ebenso physiologische mediale Pivotieren in der Transversalebene nachweisen (Abb. 2b) [24]. Ähnliche Befunde wurden sich mittels dynamischer Videofluoroskopie nachgewiesen. Auch hier zeigen medial pivotierende Implantate im Vergleich zu PS- und CR-Systemen eine höhere sagittale Stabilität bzw. reduzierte anteroposteriore Translation im inneren Kompartiment [57].

### Bewegungsausmaß, Outcome-Scoring und Drehmomente

Zum Bewegungsausmaß der Implantate erfolgten eine Vielzahl an Untersuchungen. Eine aktuelle, prospektiv randomisierte Studie mit 200 Patientinnen und Patienten verglich die mittlere Beugung bei medial pivotierenden Implantaten im Vergleich zu PS-Endoprothesen nach 1 und 2 Jahren. In der Gruppe medial pivotierender Kniegelenke betrug die Beugung von 132° und in der PS-Gruppe 124°. Neben der signifikant höheren Beugung zeigten die medial pivotierenden Kniegelenke signifikant bessere Outcome-Scores [59]. Ähnliche Daten zu Beugung und Scoring im klinischen Outcome zeigte eine weitere geblindete, randomisierte Studie, die eine Versorgung mit einer PS-Endoprothese (SigmaTM PS, PFC; DePuy, Warsaw, IN) mit einer medial pivotierenden Endoprothese (Medial Rotation KneeTM, MRK; Finsbury Orthopaedics, Leatherhead, Surrey, UK) verglich [27].

Zum klinischen Outcome wurden in den letzten 2 Jahren mehrere systematische Metaanalysen, die medial pivotierende und PS-Versorgungen verglichen, veröffentlicht. In diesen Metaanalysen wurden 3592 [63], 3837 [18] und 389 Versorgungen [53] einbezogen. In allen 3 Metaanalysen zeigten die medial pivotierenden Knieversorgungen ein besseres Scoring im KSS, OKS, FJS, und WOMAC-Score [18, 63, 53]. Die postoperative Beweglichkeit war in der ersten Metaanalyse in beiden Gruppen gleich [63] und in der zweiten Studie für die medial pivotierenden Knieversorgungen signifikant besser [18]. Die dritte dieser 3 Metaanalysen enthielt eine gezielte Auswertung zur aktiven Kinematik. Hier zeigten die medial pivotierenden Implantate ein höheres maximales Drehmoment für die Beugung und Rotation, wohingegen die PS-Implantate ein höheres Drehmoment für die Streckung aufwiesen. Bzgl. der anterioren Translation waren die medial pivotierenden Versorgungen etwas stabiler als die PS-Implantate [53].

### Langzeituntersuchungen

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 niedrigen Revisionsraten. Auch die anderen medial pivotierenden Implantate lagen bzgl. niedriger Revisionsraten im oberen Rang der Listung unterschiedlicher Implantatmodelle [46]. Studien zum Langzeit-Outcome und zum langfristigen Überleben medial pivotierender Kniegelenke zeigen wiederum positive Ergebnisse. Macheras et al. zeigten nach einer Standzeit von 17 Jahren eine kumulative Überlebensrate von 98,8 %. Das klinische Langzeit-Outcome im KSS, OKS und WOMAC-Score sowie im Short Form Fragebogen (SF-12) zeigte entsprechend exzellente bis sehr gute Ergebnisse [38].

Eine aktuelle Metaanalyse zu 1592 Kniegelenken mit einem Follow-up von 12,4 Jahren beschreibt 30 Versorgungen, die revidiert werden mussten. Somit liegt die Gesamtrevisionsrate nach 12,4 Jahren bei 1,88 % und die Gesamtüberlebensrate bei 98,2 %.

Die häufigste Ursache für die Wechseloperationen waren eine späte Protheseninfektion (13 der 30 Wechsel, 0,8 %) und periprotehetische Frakturen (8 der 30 Wechsel, 0,5 %). Diese Komplikationen sind nicht durch das Implantat bedingt. Die Rate von Implantatversagen in Form aseptischer Lockerungen lag hier bei 0,4 % [11]. Dies passt zu den Daten des UK-Registers. Von allen Implantationen, die hier im Laufe aufgezeichnet wurden, waren die aseptischen Lockerungen der tibialen Komponente im Vergleich zu den anderen Systemen signifikant seltener ( $p < 0,001$ ) [45]. Eine weitere, ebenso aktuelle Metaanalyse zu medial pivotierenden Kniegelenken schloss 3377 Versorgungen ein. Hier lag die Gesamtrevisionsrate nach 10 Jahren bei 1,9 % (51 von 3377 Implantationen). Wiederum fanden sich sehr gute Langzeitergebnisse für die Beweglichkeit und für den KSS-Score [1].

Interessant ist in diesem Zusammenhang eine 9-Jahres Langzeituntersuchung, bei der medial pivotierende Kniegelenke mit der üblichen Zementierung mit entsprechenden zementfreien Versorgungen mit schwammartigen, porösen Titanbeschichtungen (z.B. METAGRIP) verglichen wurden. Die Verankerungsflächen zeigen hier eine Oberfläche, die dem trabekulären Knochen sehr ähnlich ist und somit neben einer hohen Primärstabilität die Osteointegration sicherstellt (Abb. 3d) [34]. Beide Gruppen medial pivotierender Versorgungen zeigten nach 9 Jahren 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. Die Outcome-Scores im WOMAC, SF-12 und OKS-Score zeigten sehr gute Ergebnisse [34].

### Schlussfolgerung

Verglichen mit den konventionellen Designs gewährleisteten medial pivotierende Endoprothesen eine vglw. natürliche Kinematik des Kniegelenkes. Dabei sichert der ball-in-socket-Mechanismus die Stabilität an der inneren Seite und gleichzeitig die natürliche pivotierende Bewegung außenseitig. Neben der physiologischen Rotationsmöglichkeit erzielen diese Implantate eine sehr gute anteroposteriore Stabilität. Dies wirkt der unphysiologischen paradoxen anterioren Translation effektiv entgegen. Die Kombination aus einer natürlichen, nicht kompromittierten Kniebeweglichkeit und einer hohen Stabilität bieten gute Voraussetzungen für eine hochwertige Kniefunktion. Entsprechend positiv sind die Studien- und Registerdaten zu medial pivotierenden Versorgungen. Dies lässt vermuten, dass medial pivotierende Konzepte ein guter Schritt in der Weiterentwicklung der Endoprothetik darstellen. Es ist erfreulich, dass neben den im Bereich der medial pivotierenden Endoprothetik etablierten Hersteller auch andere Marken entsprechende Konzepte aufnehmen. Allerdings sind in Deutschland

entsprechende Versorgungen im Vergleich zu anderen Ländern selten zu finden.

### 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](http://www.online-oup.de)**



Foto: Klinikum Peine

### Korrespondierender Autor Prof. Dr. med.

**Lars Victor von Engelhardt**  
**Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie**  
**und Sportmedizin am Klinikum Peine**  
**Akademisches Lehrkrankenhaus der**  
**Medizinischen Hochschule Hannover**  
**Virchowstr. 8h**  
**31226 Peine**  
**Universität Witten/Herdecke**  
**Alfred-Herrhausen-Straße 50**  
**58455 Witten**  
**[larsvictor@hotmail.de](mailto:larsvictor@hotmail.de)**

Christian Manuel Sterneder, Kimi Spilo, Friedrich Boettner

# Sport nach Knieendoprothetik

## Was können wir unseren Patientinnen und Patienten sagen?

### Zusammenfassung:

Vor dem Hintergrund, dass die Zahl an jungen Menschen, die eine Knieprothese erhalten, immer weiter steigt, stellt sich immer häufiger die Frage, welche Sportarten und welche Intensität der Sportausübung mit einer Knieprothese möglich sind. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass nach einer Knieprothese, Sport auf hohem Niveau in den meisten Studien nicht erreicht wird. Dies scheint jedoch zunehmend nicht an der Prothese selbst zu liegen. Hier gibt es Entwicklungen, wie beispielsweise die zementfreie Verankerung oder konforme Gleitpaarungen, die die Schwelle für High Impact Sport immer weiter senken und die dem Operateur Optionen geben, bei Patientinnen und Patienten mit hohem sportlichen Anspruch, die Implantatwahl individuell anzupassen. Neben patientenspezifischen Faktoren wie Alter, Gewicht, Nebenerkrankungen, präoperative Aktivität, Motivation, gelingt es auch den Operateuren noch nicht reproduzierbar, Knieprothesen zu implantieren, die funktionell eine hohe sportliche Aktivität ermöglichen. Unabhängig davon spielt sicher auch eine Rolle, dass in der Vergangenheit die Fachgesellschaften stärkere sportliche Aktivitäten nach Knieprothesenimplantation abgelehnt haben. Gelingt es dem Operateur durch seine OP-Technik die funktionelle Fähigkeit für höhere Sportlevels zu erreichen, dann könnten durch zementfreie Verankerung, kongruente Gleitpaarungen wie bspw. medial pivotierend etc., eine Gelenkausrichtung innerhalb von 3 Grad und das Weglassen des Patellarrückflächenersatzes die Voraussetzungen für High Impact Sportarten erfüllt sein, ohne, dass dies negative Auswirkungen auf die Überlebensrate des Implantats hat. Wenn diese Ergebnisse auch durch Studien untermauert werden, könnten auch die Fachgesellschaften ihre Empfehlungen entsprechend anpassen.

### Schlüsselwörter:

Sport, Aktivität, Knie-Totalendoprothese, unikondylärer Ersatz, High Impact

### Zitierweise:

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

### Einleitung

Sport ist für viele Menschen, auch bis ins hohe Alter, ein wichtiger Lebensbestandteil und trägt zu einer guten Lebensqualität bei [1–3]. Vor dem Hintergrund, dass die Zahl an jungen Patientinnen und Patienten, die eine Knieprothese erhalten, immer weiter steigt [4], ist davon auszugehen, dass viele Patientinnen und Patienten auch nach Implantation einer Knieprothese sportlich aktiv sein wollen [3, 5]. Mit der Zunahme der jungen Patientinnen und Patienten nehmen auch die funktionellen Anforderun-

gen zu und die Patientinnen und Patienten haben hohe Erwartungen an das postoperative Aktivitätsniveau [2, 6, 7]. Daher wird der Erfolg der Knieendoprothetik zunehmend auch an der Fähigkeit zur Rückkehr zu Sport- und Freizeitaktivitäten gemessen [6]. Orthopäden und Unfallchirurgen werden folglich immer häufiger vor die Frage gestellt, ob und in welchem Umfang Patientinnen und Patienten nach der Operation sportlich aktiv sein können [2].

Bei der Frage nach sportlicher Aktivität mit Knieprothese muss beachtet

werden, dass aufgrund der Artikulation des runden Femurkondylus auf einem historisch eher flachen Polyethylenereinsatz aufgrund der geringen Kontaktflächen im Vergleich zur Hüfte, bei der Knieprothese deutlich höhere Belastungsspitzen auftreten können [2, 8]. Dies ist einer der Gründe, warum Sportempfehlungen für Hüftprothesen nicht ohne Weiteres auf die Knieendoprothetik übertragen werden können [2, 9].

In den letzten Jahren gab es zunehmend mehr wissenschaftliche Arbeiten zu Sport nach Knieendoprothe-

# Sport after knee arthroplasty

## What can we tell our patients?

**Summary:** In light of the fact, that the number of young people undergoing knee arthroplasty is increasing, the question of which types of sport and what intensity of sport is possible after knee arthroplasty is becoming increasingly important. According to the literature patients, especially those with a total knee arthroplasty, do still not achieve high level sports. However, this is not just a problem of the implant itself. There have been developments in implant design like uncemented fixation, medial pivoting bearings etc., that allow the surgeon to adjust their implant choice to the level of sport and physical activity. Beside patient-specific factors like age, weight, coexisting diseases, preoperative activity, and patient motivation it is the surgeon that struggles to implant the knee arthroplasty to accommodate the function level required for high level sport. In addition, most specialty societies have advised against high level sport after knee arthroplasty. However, should the surgeon find ways to implant a knee arthroplasty to accommodate the function level required for high level sports, then utilizing uncemented fixation, high congruency bearings like medial pivoting or ultracongruent etc., restricted alignment targets within 3 deg of neutral and avoiding patella resurfacing might allow for higher activity levels without compromising the long term survival of the implant. Once this has been confirmed by research studies it is likely that the specialty societies will adjust their recommendations.

**Keywords:** sport, activity, total knee arthroplasty, unicompartmental arthroplasty, high impact

**Citation:** Sterneder CM, Spilo K, Boettner F: Sport after knee arthroplasty. What can we tell our patients? OUP 2024; 13: 210–217. DOI 10.53180/oup.2024.0210-0217

tik. Auch Untersuchungen zu Sportarten mit hoher Belastung (High Impact Sportarten) wurden durchgeführt. Ziel dieses Artikels ist es, eine Übersicht zur aktuellen Literatur zu geben und daraus für Orthopäden und Unfallchirurgen Empfehlungen für Sport nach Knieendoprothetik abzuleiten.

### Empfehlung der Fachgesellschaften

Die Knee Society veröffentlichte im Jahr 1999, basierend auf einer Befragung von 112 Endoprothetikspezialisten, ihre Empfehlungen zur Sportausübung [3]. In den Folgejahren wurden die Empfehlungen angepasst und sind heute die Grundlage für die Sportempfehlung nach Knieendoprothese (KTEP) und unikondylärem Gelenkersatz (UKE) [10]. Diese Richtlinien empfehlen Sportarten wie leichtes Aerobic, Radfahren auf dem Ergometer, Bowling, Krocket, klassischer Tanz, Jazz- und Squaredance, Schwimmen, Gehen und Golf [3]. Sportarten wie Radfahren, Wandern, Rudern, Skifahren, Tennis im Doppel und Krafttraining mit Gewichten wurden mit entsprechender Vorerfahrung empfohlen [3]. Ballsportarten (z.B. Handball, Basketball, Fußball, Baseball, Softball etc.)

sowie Hockey, Joggen, Squash, Lacrosse, Turnen und Tennis wurden nicht empfohlen [3]. 2009 wurde eine Umfrage unter Mitgliedern der American Association for Hip and Knee Surgeons (AAHKS) durchgeführt: Mehr als 80 % der AAHKS-Chirurgen empfahlen Schwimmen, Gehen auf ebenem Boden, Golf, Radfahren, Treppensteigen und Gehen auf unebenem Boden uneingeschränkt [9]. Eine Umfrage aus 120 Mitgliedern der EKA (European Knee Associates) aus 2021 ergab einen Konsens von 5 Sportarten in den ersten 6 Wochen nach KTEP (Gehen, Treppengehen, Schwimmen, Wassergymnastik und stationäres Radfahren), 7 Sportarten nach 6–12 Wochen (zusätzlich Yoga, Fahrradfahren in der Ebene), 14 Sportarten nach 3–6 Monaten nach KTEP und 21 von 47 Aktivitäten nach 6 Monaten [11]. Ab 12 Monaten wurden empfohlen: Tennis (Doppel), Golf, Fitness/Gewichtheben, Aerobic, Wandern, Nordic Walking und Segeln [11]. Eine nicht empfohlene Sportart war Squash [11]. Teilweise Einigkeit wurde unter den Mitgliedern für den Verzicht auf Joggen, Laufen, Einzel-Tennis, Cross-Training, Klettern und Ski-Langlauf in den ersten 6 Wochen postoperativ erzielt [11]. Joggen

auf der Straße, Laufen auf dem Laufband, Handball, Fußball, Basketball, Vollkontaktsportarten und Kampfsport wurde die ersten 12 Wochen nicht empfohlen [11]. Allerdings für die Zeiträume danach gab es keinen Konsens mehr [11]. Badminton, Volleyball, Canyoning, Surfen, Windsurfen, Snowboarden und Rodeln wurden in den ersten 6 Monaten postoperativ nicht empfohlen, jedoch auch ohne Konsens für die Zeit danach [11].

Bei einer Umfrage unter 300 spezialisierten Endoprothetikern und Mitgliedern der Arbeitsgemeinschaft für Endoprothetik (AE) [12], sprach sich die Mehrheit dafür aus, nach einer KTEP innerhalb von 3–6 Monaten wieder Sport mit geringer Belastung zu treiben [12]. 53,5 % der Orthopäden empfahlen High Impact Sport nach KTEP nach adäquatem Training, 36,6 % empfahlen es nicht und 5,9 % empfahlen Sport ohne Einschränkungen [12]. Dabei wird in der Literatur und bei Umfragen im amerikanischen Raum häufig zwischen den Impactlevels (High Impact vs. Low Impact) anhand der Klassifikation von Clifford and Mallon unterschieden [13]. Diese Klassifikation basiert jedoch nicht auf sportart-spezifischen, biomechanischen in vivo

### Take Home Message 1

Sportempfehlungen der Fachgesellschaften:

- American Knee Society [3]:  
– Empfohlen: leichtes Aerobic, Radfahren auf dem Ergometer, klassischer Tanz, Schwimmen, Gehen und Golf
- European Knee Associates (EKA) [11]: Schwimmen, Wassergymnastik, Fahrradfahren, Yoga, Tennis (Doppel), Golf, Fitness/Gewichtheben, Aerobic, Wandern, Nordic Walking und Segeln
- Mitglieder der Arbeitsgemeinschaft für Endoprothetik (AE) [12]: 53,5 % der Orthopäden empfahlen High Impact Sport nach adäquatem Training

Daten [12]. Um jedoch valide Empfehlungen zu Sport nach Knieendoprothetik geben zu können, ist eine Kenntnis der biomechanischen Belastung der Knieprothese bzw. des Kniegelenkes bei verschiedenen Tätigkeiten/Sportarten von Bedeutung und sollen im Folgenden exemplarisch dargestellt werden (Take Home Message 1).

### Belastung der Knieprothese bei unterschiedlichen Sportarten

Die Belastungen beim Radfahren sind unter moderaten Bedingungen geringer als beim Gehen (119 % bzw.  $1,03 \pm 0,2$ -faches Körpergewicht (KG) [14, 15]. Eine Erhöhung der Trittfrequenz von 60 auf 90 rpm oder eine Erhöhung des Widerstands beeinflusste die Belastungswerte nicht wesentlich [15].

Die beim Gehen aufgezeichneten Belastungsspitzen nahmen bis zu 12 Monate postoperativ zu (2,8-faches KG) [16] und korrelierten mit der zunehmenden Geschwindigkeit beim Gehen auf dem Laufband [16]. Das Training auf dem Ellipsentrainer erzeugte Belastungswerte von 2,24-fachem KG, die mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad unverändert blieben [15]. Es ist wichtig zu betonen, dass bei der Betrachtung der medio-lateralen und tibio-femorale Belastung die Gelenkausrichtung von zentraler Bedeutung ist [17] und beim Gehen in der Ebene Belastungshöchstwerte von bis zu 201 % des KG am medialen Tibiaplateau verzeichnet werden [18]. Ist das Gelenk neutral ausgerichtet, wird das mediale Kompartiment mit 70 % der Last belastet [18]. Jede varische oder valgische Gelenkausrichtung von mehr als 3° führt jedoch dazu, dass das mediale bzw. laterale Kompartiment signifikant mehr belastet wird [17].

Ab einer Flexion von 40° steigt die Last am Knie auf das 3,5-fache des KG an [19]. Die Belastungswerte beim Treppaufsteigen sind im Bereich derer beim Gehen, beim Hinabsteigen werden dann Belastungsspitzen von bis zum 3,5-fachen des KG beobachtet [20]. Eine vermehrte Flexion beim Sport (z.B. Stairmaster) ist mit deutlich höheren Belastungsspitzen verbunden [15]. Die gemessenen Belastungswerte am Stairmaster waren bei niedrigen Intensitäten vergleichbar zu denen am Ellipsentrainer, stiegen dann aber unter zunehmender Intensität auf das bis zu 3-fache des KG an [15]. Die erhöhten Belastungen des Kniegelenks ab 40 Grad Beugung sollten bei Sportarten, die eine extreme Flexionsbewegung benötigen, berücksichtigt werden und sollte auch bei Übungen wie der Beinpresse oder Quadrizepsextensionsübungen beachtet werden [21]. Aus biomechanischer Sicht macht es Sinn, für diese Übungen die Flexion auf 40 Grad zu limitieren [21].

Beim Golfspielen wurden vergleichsweise hohe Belastungswerte (> 4-faches KG) gemessen [15]. Dies verdient besondere Beachtung, wird doch Golf meist als Low Impact Sport klassifiziert [10]. Beim Golf werden im führenden Knie wesentlich höhere Kräfte erzeugt als im kontralateralen Knie [15]. Jedoch ist die Frequenz der

Belastungsspitzen geringer als bei anderen High Impact Sportarten wie Joggen [15]. Bedenkt man, dass bei einem Handicap von 54, der Spieler nur etwa 126 Mal einen Golfschwung ausführt, jedoch beim Joggen für einen Kilometer bereits ca. 1500 Schritte notwendig sind, dann ist klar, dass die Frequenz der Belastung auch in die Beurteilung Low- versus High Impact Sport eingehen muss.

Jogging zeichnet sich durch repetitive Spitzenbelastungen aus [15] und in Abhängigkeit von der Laufgeschwindigkeit zeigen sich Belastungen der Knieprothese von 7-fachem KG bis 22-fachem KG [22, 23].

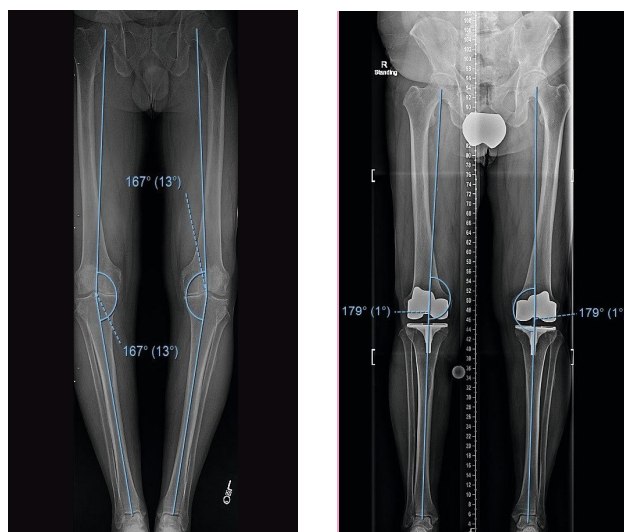
Tennis führt ebenfalls zu einer starken Belastung des Kniegelenks ( $\geq 4$ -faches KG) [15]. Wichtig ist zu beachten, dass beim Tennis das Kniegelenk abrupten Richtungswechseln ausgesetzt ist und damit eine besondere Stabilität erforderlich ist [15]. Darüber hinaus wird die Belastung des Kniegelenks auch durch den Belag (Hardcourt versus Sandplatz) beeinflusst.

Die Belastungswerte beim Skifahren zeigten einen bemerkenswerten Unterschied zwischen Anfängern (10-faches KG) und erfahrenen Skifahrern (3,5-faches KG) [24, 25]. Auch zeigte der klassische Langlauf geringere Belastungen als der Skating-Stil (Take Home Message 2) [25, 26].

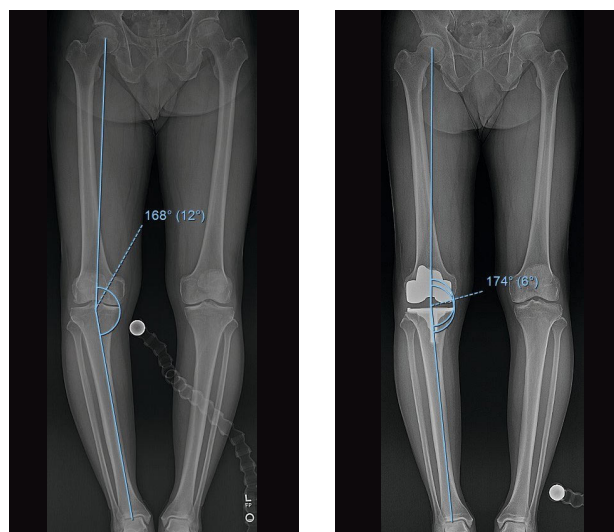
### Take Home Message 2

Belastung des Kniegelenks bei unterschiedlichen Sportarten:

- Gehen: 1–2-faches Körpergewicht
- Ellipsentrainer, Fahrrad: bis 2,2-faches Körpergewicht
- Stairmaster: 2–3-faches Körpergewicht
- Treppabsteigen: 3,5-faches Körpergewicht
- Kniebeuge bis 40 Grad: < 3,5-faches Körpergewicht, mit zunehmender Beugung ansteigend
- Tennis & Golf: 4-faches Körpergewicht
- Alpines Skifahren 4-faches Körpergewicht
- Joggen: > 7-faches Körpergewicht



**Abbildung 1** Beispiel für mechanisches Alignment einer Knie-Totalendoprothese (KTEP); **links** präoperative Ganzbeinstandaufnahme, **rechts** postoperative Ganzbeinstandaufnahme



**Abbildung 2** Beispiel für kinematisches Alignment einer Knie-Totalendoprothese (KTEP) **links** präoperative Ganzbeinstandaufnahme, **rechts** postoperative Ganzbeinstandaufnahme

### High Impact Sports

Immer jüngere und aktive Patientinnen und Patienten stellen den Operateur zunehmend vor die Frage, ob die Ausübung von High Impact Sportarten mit Knieprothese möglich ist. Generell wird in Studien beobachtet, dass die Teilnahme an High Impact Sportarten wie Joggen oder Tennis nach Implantation einer Knieprothese zurück ging [27–30] und dass der Anteil der Patientinnen und Patienten, die High Impact Sportarten ausüben, gering ist [30–33]. Dennoch zeigen Studien, dass es möglich ist, dass Patientinnen und Patienten mit entsprechender Vorerfahrung auch mit einer Knieprothese diese Sportarten ausüben [21]. In einer Studie mit 236 Patientinnen und Patienten und einer mittleren Nachbeobachtungszeit von  $14,9 \pm 3$  Jahren übten 16,7 % aller Patientinnen und Patienten High Impact Sportarten wie Ballsport, Jogging und Squash aus [34]. Dabei traten 3 (1,3 %) aseptische Lockerungen, ein Implantatversagen und ein Polyethylenverschleiß auf [34]. Eine Studie von Mont et al. untersuchte Patientinnen und Patienten, die High Impact Sportarten (Jogging, Skifahren, Tennis, Racquetball, Squash und Basketball) auf intensivem Niveau (4 ×/Woche bzw. 3,5 h) betrieben und fand in einem 4-Jahres-Follow-up keinen negativen Einfluss auf das Langzeitüberleben nach Knieprothese [35]. Hofs-

taedter et al. untersuchten 16 Patientinnen und Patienten nach KTEP, die im Durchschnitt 80 Tage über 3 Winter Ski fuhren und nach einem mittleren Nachbeobachtungszeit von 5 Jahren keine Lockerungssäume oder Osteolysen im Röntgen-Follow-up zeigten [36]. Bercovy et al berichten von 500 Patientinnen und Patienten nach KTEP [37]. 133 Patientinnen und Patienten (26 %) konnten sportliche Aktivitäten auf einem Niveau von 8/10 oder mehr auf dem University of California, Los Angeles (UCLA)-Rating-Score durchführen. Acht von 10 entspricht dabei der regelmäßigen Teilnahme an sehr aktiven Sportarten wie Bowling und Golf [37]. Bei 96 dieser 133 Knie (72 %) übte der Patient mehr als eine sportliche Aktivität aus [37]. In 103 dieser 133 Patientinnen und Patienten lag das UCLA-Rating bei 9/10 (Jogging, Skiing, Ballett, schwere Arbeit) und in 30 Fällen bei 10/10 (regelmäßig Impact Sport: Tennis, Langstreckenlaufen, Skifahren, alpine Gletscherwanderungen) [37]. Kleinere Studien haben zudem gezeigt, dass Patientinnen und Patienten

in der Lage waren, erfolgreich an High Impact Sportarten wie Judo und Tennis teilzunehmen und auch das erfolgreiche Absolvieren eines Ultra-Trail ist dokumentiert (Take Home Message 3) [38–40].

### Einfluss hoher Aktivität und High Impact Sport auf das Implantatüberleben

Frühere Studien legen den Schluss nahe, dass die physische Aktivität einer Patientin/eines Patienten einen starken Einfluss auf das Abriebverhalten der Prothesen hat [41]. Ponzio fand eine erhöhte Revisionsrate bei aktiven Patientinnen und Patienten (3,2 %) im Vergleich zu inaktiven Patientinnen und Patienten (1,6 %) 5–10 Jahre postoperativ [42]. Neuere Studien zeigen jedoch, dass Implantate auch ein höheres Aktivitätslevel tolerieren und sportliche Aktivität nicht unbedingt eine erhöhte Ausfallwahrscheinlichkeit der Knieprothese zur Folge hat [33, 34, 43–49]. Kornuijt et al. fanden in ihrem systematischen Review von 4811 KTEP in 4263 Patientinnen und Patienten

### Take Home Message 3

Bei entsprechender Vorerfahrung scheint die Teilnahme an High Impact Sportarten und Aktivitäten mit hoher körperlicher Aktivität möglich [21]. Jedoch ist die Auswirkung dieser hohen Belastungen und Aktivitätslevels auf das Implantatüberleben Gegenstand der aktuellen Forschung.

(mittleres Follow-up 4–12 Jahre), dass in den ersten 12 postoperativen Jahren nach einer TKA kein erhöhtes Risiko für Revisionsoperationen für Patientinnen und Patienten mit hoher körperlicher Aktivität im Vergleich zu Patientinnen und Patienten mit niedriger körperlicher Aktivität bestand [50].

Eine kürzlich veröffentlichte Übersichtsarbeit untersuchte den Einfluss von körperlicher Aktivität auf das Implantatüberleben in 20 Studien (unikondyläre Knieendoprothese (UKE): 6 Studien  $n = 2387$ , KTEP: 14 Studien,  $n = 7114$ ) [51]. Für UKE konnte keine Studie einen Zusammenhang zwischen einem höheren Maß an körperlicher Aktivität und sportlicher Betätigung und einem erhöhten Implantatverschleiß oder Implantatversagen bis zu 10 Jahren nach der Operation zeigen [51]. Für die KTEP fand die Studie keinen konsistenten Zusammenhang zwischen einem höheren Maß an körperlicher Aktivität und einem Implantatversagen bis zu 11 Jahren nach Operation [51]. Crawford et al. verglichen Patientinnen und Patienten mit einem UCLA-Score  $\geq 6$  mit weniger aktiven Patientinnen und Patienten [33, 52]. Die Revisionsraten für UKE waren nach einem Follow-up von mindestens 5 Jahren in beiden Aktivitätsgruppen gleich hoch [52]. Höher aktive Patientinnen und Patienten hatten bei einer mittleren Nachbeobachtungszeit von 11,4 Jahren nach KTEP ein besseres Implantatüberleben als weniger aktive Patientinnen und Patienten [33]. Auch Meftah et al. fanden bei 55 jungen ( $\leq 60$  Jahre), aktiven Knie-TEP Patientinnen und Patienten bei einer mittleren Nachbeobachtungszeit von  $12,3 \pm 0,5$  Jahren (11–13) keine Revisionen wegen Osteolysen oder Lockerungen [53]. Ennis et al. verglichen in einer 1:1 gemachten, retrospektiven Kohortenstudie (149 Knie und 48 Hüften) mit einer Nachbeobachtungszeit von min. 5 Jahren, hochaktive Patientinnen und Patienten (UCLA  $\geq 8$ ) mit Patientinnen und Patienten mit niedriger Aktivität [54]. In der Kohorte mit hoher Aktivität kam es im Vergleich zur Kohorte mit niedriger Aktivität nicht häufiger zu Reoperationen und Revisionen. Es gab keine Unterschiede in der 5-Jahres-Überlebensrate [54]. Auch Mont et al haben 2007 den Ein-

#### Take Home Message 4

Die Literatur zu den Auswirkungen höherer Aktivitätslevels und High Impact Sportarten auf das Implantatüberleben hat in den letzten Jahren zugenommen und zeigt ermutigende Ergebnisse. Jedoch fehlen Langzeitergebnisse, um die vollkommene Unbedenklichkeit zu beweisen.

fluss der Aktivität auf das Ergebnis von Knieendoprothesen bei 22 Männern und 35 Frauen (72 Knie) untersucht [47]. Nach einer Nachbeobachtungszeit von mindestens 4 Jahren (4–14 Jahre, im Mittel: 7 Jahre) fanden sich keine Unterschiede in den klinischen Ergebnissen und auch die röntgenologischen Ergebnisse der beiden Gruppen waren vergleichbar [47]. Bercovy et al. zeigte in der oben bereits erwähnten Studie, dass die 13-Jahres-Überlebensrate nach Kaplan-Meier mit Revision wegen aseptischer Lockerung als Endpunkt 99,4 % betrug [37]. Von den 3 Lockerungen, trat keine bei Patientinnen und Patienten mit intensiver körperlicher Aktivität auf. Alle 3 betrafen Patientinnen und Patienten mit mäßiger Aktivität [37]. Eine weitere Studie mit 1906 Knieprothesen (1745 KTEP, 161 UKE, Alter 45–75 Jahren) fand ein prognostiziertes Implantatüberleben für UKE von 100,0 % nach 2 Jahren und 98,1 % nach 5 Jahren [55]. Die prognostizierte Implantatüberlebensrate für Knie-TEP betrug 99,8 % nach 2 Jahren und 98,1 % nach 5 Jahren [55]. Bei Patientinnen und Patienten mit hoher Aktivität waren die Revisionsraten geringer als bei Patientinnen und Patienten mit geringer/mittlerer Aktivität [55]. Ein höherer LEAS-Wert 2 Jahre postoperativ war mit einem geringeren Revisionsrisiko verbunden und ein LEAS-Anstieg um 1 Punkt 2 Jahre postoperativ verringerte die Wahrscheinlichkeit einer Revisionsoperation um 19 % [55].

Es ist jedoch nach wie vor unklar, in welchem Umfang High Impact Sport in den Studien tatsächlich High Impact Sportarten wie Langstreckenlaufen oder Fußball entsprechen, denn auch ein UCLA-Score von 10 besagt lediglich, dass regelmäßig High Impact Sport ausgeübt wird und auch beim LEAS-Score besteht ein erheblicher Unterschied zwischen dem Cut off für High Activity: 14 (Tanzen, Schwimmen, leichtes Joggen 2–3/Woche) versus 18 (täglich High Level,

kompetitiver Sport). Beide werden in den Studien gleichgesetzt und es ist nicht klar, ob High Activity Level in der Mehrzahl der Patientinnen und Patienten den niedrigeren oder höheren Punktwert betreffen (Take Home Message 4).

#### Implantatdesign

Bei der Betrachtung der Frage, welche Auswirkungen hohe Aktivitätslevel und High Impact Aktivitäten auf das Implantatüberleben haben, muss auch das Implantatdesign berücksichtigt werden. Hier gab es in den letzten Jahren einige Entwicklungen, welche die Schwelle für High Impact Sport nach KTEP weiter senken können und es erlauben, die Implantatwahl der physischen Aktivität der Patientin/des Patienten anzupassen.

#### Kontaktfläche

Durch die Artikulation des runden Femurcondylus mit der eher flachen Tibiaoberfläche eines Standard Cruciate Retaining CR oder posterior stabilized PS Polyethyleinsätze können wegen der relativ geringen Kontaktflächen erhebliche Belastungsspitzen im Polyethylen auftreten [2]. Ultrakongruente Polyethyleinsätze bieten den Vorteil, die Kongruenz der tibiofemorale Kontaktfläche zu vergrößern und damit die Stabilität zu erhöhen und die Kontaktfläche zu vergrößern. Die damit verbundenen geringeren Belastungsspitzen machen diese Implantate deshalb besonders für Patientinnen und Patienten mit hohem sportlichem Anspruch interessant [21, 56]. So können z.B. durch die Verwendung von medial pivotierenden Designs Belastungsspitzen im Polyethylen vermieden werden [2]. Eine kürzlich durchgeführte Studie des American Joint Replacement Registry hat gezeigt, dass die Zahl der KTEPs mit einem ultrakongruenten Polyethyleinsatz von 2012–2019 zugenommen hat und die Zahl der ultrakongruenten Polyethyleinsätze 2019 erstmals

die Zahl der konventionellen CR-Designs überstiegen hat [57].

Eine weitere wichtige Entwicklung ist die Verbesserung der Abriebeigenschaften des Polyethylens. So wird in der Literatur über die zunehmende Verwendung von Highly Crosslinked Polyethylen (HXLPE) bei Knie-TEP berichtet, da biomechanische Abriebstudien deutliche bessere Eigenschaften zeigen als herkömmliches Polyethylen [58]. Gkias et al. zeigten, dass HXLPE bei Knie-TEP im Vergleich zu konventionellem PE mit einer geringeren Revisionsrate für aseptische Lockerungen verbunden war [59]. Interessanterweise zeigte zudem eine Studie, dass für jüngere Patientinnen und Patienten (< 60 Jahre) und für übergewichtige Patientinnen und Patienten (BMI > 35), HXLPE der „2. Generation“ ein signifikant besseres Überleben zeigt als konventionelles Polyethylen [60]. Diese Ergebnisse legen nahe, dass HXLPE insbesondere in Kombination mit einer konformer Gelenkfläche bei bestimmten anspruchsvolleren Patientengruppen Vorteile bieten kann [60].

### Fixierung

In Deutschland wurden laut Jahresbericht 2023 des ERPD über 95 % der primären Knieendoprothesen komplett zementiert verankert [61]. Für jüngere und sportlich aktivere Patientinnen und Patienten können jedoch auch zementfreie Implantate eine zunehmende Rolle spielen, wobei sich im Allgemeinen gute Ergebnisse und eine gute Überlebensdauer zeigen [21]. Aktuelle Studien konnten zudem zeigen, dass die zementfreie KTEP insbesondere bei Männern unter 65 Jahren und bei adipösen Patientinnen und Patienten im Vergleich zu den zementierten Optionen gleichwertig oder überlegen ist [62, 63]. Dabei ermöglicht eine zementfreie Fixierung eine biologische und somit dauerhaftere und widerstandsfähigere Verankerung zwischen Knochen und Implantat [63–68]. Und so berichten auch internationale Registerdaten von einer Zunahme der zementfreien Verankerungen in der Knieendoprothetik [69–72].

### Patellarersatz

Ein weiterer implantatspezifischer Faktor, der für die Belastung bei High Impact Sportarten mit tiefer Flexion be-

### Take Home Message 5

Anpassungen des Implantatdesigns und der Implantationstechnik, um eine höhere Belastung zu ermöglichen:

- zementfreie Verankerung
- kongruente Gleitpaarungen (medial pivoting, ultracongruent, lateral pivoting)
- Verzicht auf den Patellarückflächenersatz oder unzementierter Rückflächenersatz
- Gelenkausrichtung innerhalb von 3 Grad Achsenabweichung

rücksichtigt werden sollte, ist der Retropatellarersatz. Laut dem Jahresbericht 2023 des EPRD erhielten 10,5 % aller KTEP-Patientinnen und -Patienten einen Retropatellarersatz in Deutschland [61]. Starke Flexionsbewegungen können zu hohen Belastungsspitzen am Retropatellarersatz führen [21]. Deshalb sollte man vorsichtig und zurückhaltend bei Fitnessübungen wie tiefen Kniebeugen, tiefer Beinpresse, Curls oder Anheben schwerer Lasten sein und für diese Patientinnen und Patienten den Verzicht auf einen Patellarersatz erwägen [21].

Es ist davon auszugehen, dass die beschriebenen Entwicklungen im Implantatdesign die Schwelle für High Impact Sport nach KTEP weiter senken werden, jedoch müssen dabei auch patientenspezifische Faktoren wie die präoperativen Sportgewohnheiten und Aktivitätslevel beachtet werden [3].

### Alignement

Biomechanische Studien haben deutlich höhere Belastungen am medialen Tibiaplateau varischer Gelenkausrichtung gezeigt [17]. Diese ist insbesondere problematisch, da im Rahmen einer uneingeschränkten kinematischen Ausrichtung (unrestricted kinematic alignment) und inverser kinematischer Ausrichtung (inverse kinematic alignment) die Tendenz zu Achsausrichtung jenseits von 3–5 Grad varus besteht. Da dies ein jüngerer Trend ist, ist der Einfluss dieser Operationstechniken auf die Möglichkeit, High Level Sport zu treiben nicht untersucht. Es erscheint zumindest aus biomechanischer Sicht problematisch, im Rahmen einer unrestricted alignment-Philosophie auch erhebliche Abweichungen der Beinachse zuzulassen. Hier sind weitere Studien notwendig, um zu untersuchen, ob

die Rekonstruktion des Phänotypen ggf. bessere Sportausübung ermöglicht und ob dies zu einem höheren Lockerungsrisiko führt (Abb. 1–2; Take Home Message 5).

### Prä- und postoperative Aktivitätslevel und Rückkehr zum Sport

Patientinnen und Patienten, die sich regelmäßig und auf gutem Niveau körperlich betätigen, können in der Regel nach der Operation leichter zum Sport zurückkehren [73]. Bei bestimmten Sportarten ist es erforderlich, dass die Patientin/der Patient die Sportart präoperativ ausgeführt hat, um sie postoperativ wieder aufzunehmen [74]. Insbesondere das Erlernen motorisch anspruchsvoller Sportarten ist nach einer KTEP nicht anzuraten [2]. Patientinnen und Patienten, die präoperativ keine sportlichen Aktivitäten ausgeübt haben, sind hingegen mit einer hohen Wahrscheinlichkeit nicht in der Lage, nach der Operation mit dem Sport zu beginnen [29, 75, 76]. Im Allgemeinen konnten Hanreich et al. in ihrer Metaanalyse eine Return to Sport (RTS)-Rate in einem Bereich von 12–100 %, im Median von 71,2 %, feststellen [30]. Waldstein konnte nach UKE eine Return to Activity-Rate zwischen 87 und 98 % feststellen [77].

Was die Prädiktoren für die Teilnahme am Sport nach KTEP betrifft, zeigte eine Studie, dass ein erhöhter präoperative UCLA-Aktivitätswert, ein niedriges Alter, das männliche Geschlecht und ein niedriger BMI mit höheren Aktivitätswerten vergesellschaftet sind [78]. In einer weiteren Studie bei KTEP-Patientinnen und -Patienten waren jüngeres Alter, niedriger BMI und höhere postoperative Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score Junior, 12-Item Short

Form Physical Component-Score und 12-Item Short Form Mental Component-Score unabhängige Prädiktoren für postoperativen Sport und körperlicher Aktivität [79]. Eine retrospektiven Studie mit 1907 Knieprothesen (1746 KTEP, 161 UKE), Alter 45–75) konnte zeigen, dass männliches Geschlecht, junges Alter, niedriger BMI und hohes präoperatives Aktivitätsniveau die Fähigkeit zur Rückkehr zum Sport voraussagen [80]. Metaanalysen zeigen einen starken Zusammenhang zwischen prä- und postoperativem Aktivitätslevel [30, 46]. Präoperativ lag der Anteil an sportlich aktiven Patientinnen und Patienten mit KTEP zwischen 29,3 % und 100 % und postoperativ bei 21,3 % und 100 % [28, 29, 32, 34, 38, 48, 75, 81–86]. Patientinnen und Patienten betreiben präoperativ größtenteils Low Impact Sportarten und der Anteil an hochaktiven Patientinnen und Patienten ist gering [30, 46]. Eine Metaanalyse zeigte bei allen K-TEP-Patientinnen und -Patienten ein Aktivitätslevel  $UCLA \leq 8$  [30]. Die am häufigsten ausgeführten präoperativen Sportarten von K-TEP-Patientinnen und -Patienten sind Gehen, Radfahren und Schwimmen [30, 33, 46, 87]. Die Metaanalyse zeigte zudem ein gleichbleibendes bzw. eine geringgradige Verbesserung des Aktivitätslevels [30], wobei bei Patientinnen und Patienten < 55 Jahren ein größerer Anstieg ihres Aktivitätslevels zu verzeichnen war [30]. In einer weiteren Metanalyse wirkte sich die Implantation einer Knieprothese generell positiv auf das Aktivitätsniveau und die Teilnahme an sportlichen Aktivitäten aus [88]. Die meisten Patientinnen und Patienten, die im Jahr vor der Operation ihre sportlichen Aktivitäten eingestellt haben, scheinen jedoch nach der Operation, insbesondere nach einer K-TEP, ihre sportlichen Aktivitäten nicht wieder aufzunehmen [88]. Nach UKE waren Wandern, Radfahren und Schwimmen die häufigsten Aktivitäten [77], wobei anzumerken ist, dass Patientinnen und Patienten mit UKE ihr Aktivitätslevel nicht stärker steigern als Patientinnen und Patienten mit K-TEP [32, 46, 89]. Eine bereits im Eingang erwähnte, retrospektiven Studie mit 1907 Knieprothesen (1746

### Take Home Message 6

Faktoren, die die postoperative Aktivität nach Implantation einer Knieprothese positiv beeinflussen:

- hohes präoperatives Aktivitätsniveau
- niedriger BMI
- jüngeres Alter
- männliches Geschlecht

TKA, 161 UKE) bewertete die Aktivität anhand des LEAS 2 Jahre postoperativ [80]. Nach Adjustierung für präoperative LEAS, Alter, Geschlecht, BMI, CCI und ASA betrug der geschätzte Unterschied zwischen den Gruppen 0,3 Punkte auf dem LEAS-Score. 34,7 % der Patientinnen und Patienten mit KTEP und 44,7 % der Patientinnen und Patienten mit UKE waren hoch aktiv ( $LEAS \geq 14$ ) [80]. Innerhalb der hochaktiven Untergruppe unterschied sich die LEAS nicht zwischen UKE und KTEP (Take Home Message 6) [80].

### Patientenspezifische Faktoren

Interessanterweise werden unter den Faktoren, welche die körperliche Aktivität und die Rückkehr zum Sport nach einer K-TEP beeinflussen und limitieren, häufig Punkte aufgezählt, die nicht mit dem operierten Kniegelenk in Zusammenhang stehen [84, 90–92]. Dies rückt neben der präoperativen Aktivität weitere patientenspezifische Faktoren wie das Geschlecht, Alter, Gewicht, Motivation, das allgemeine Fitnesslevel, die körperliche Konstitution und Begleiterkrankungen [3, 74] in den Fokus der Betrachtung. Neben dem Alter ist v.a. das Gewicht der Patientin/des Patienten ein wichtiger Prädiktor für die postoperative Aktivität [78–80]. Zudem hat das Gewicht einen großen Einfluss auf den Polyethylenverschleiß und die Überlebensdauer der Knieprothese [61, 93, 94]. Daher sollten Übergewichtige High Impact Sportarten eher meiden und das Hauptaugenmerk auf Low Impact Sportarten zur Verbesserung der allgemeinen Fitness und die Gewichtsabnahme legen [21]. Und auch das Geschlecht ist ein wichtiger Einflussfaktor für die sportliche Aktivität nach Kniepro-

these, wobei Männer nach der Operation eher zum Sport zurückkehren als Frauen [28, 78, 82, 86].

Begleiterkrankungen spielen ebenfalls eine wichtige Rolle in der sportlichen Aktivität nach Implantation einer Knieprothese. Generell stellen Komorbiditäten einen Faktor für eine verkürzte Lebensdauer der Prothese dar [61]. Bradbury et al. fanden in ihrem Studienkollektiv 55 Patientinnen und Patienten mit Komorbiditäten, die ihre Aktivität einschränkten und ihre Teilnahme am Sport vor der Operation verhinderten. Keiner dieser Patientinnen und Patienten kehrte zum Sport zurück. Von 66 Patientinnen und Patienten ohne vorbestehende Begleiterkrankungen, die präoperativ sportlich aktiv waren, kehrten 77 % zum Sport zurück [75]. Eine retrospektive Studie mit 443 K-TEP konnte zeigen, dass jeder Anstieg des ASA-Scores um 1 Punkt mit einer um 52 % verringerten Wahrscheinlichkeit für RTS verbunden war [95].

Ein weiterer wichtiger patientenspezifischer Faktor ist die Motivation, welche Einfluss auf mehrere Bereiche der Rückkehr zum Sport hat (z.B. Genesungszeit, Häufigkeit der Teilnahme, Leistungsniveau) [96]. Bonnin et al. stellten eine starke Korrelation zwischen der Teilnahme an sportlichen Aktivitäten und der Motivation fest [92].

Aber nicht nur patientenbezogene Faktoren, sondern auch externe Faktoren wie die geografische Lage [30] und vor allem auch der Rat des behandelnden Arztes spielen eine erhebliche Rolle [30, 46, 74, 82]. Einige Orthopäden neigen dabei dazu, die Patientin/den Patienten von High Impact Sportarten abzuhalten und Low Impact Sportarten zu empfehlen [2, 74]. So ist die Empfehlung des behandelnden Arztes einer der Hauptgründe für eine zurückhaltende, re-

duzierte Sportteilnahme postoperativ [82]. Bemerkenswert ist, dass High-Volume-Chirurgen grundsätzlich liberalere Empfehlungen zur Sportausübung geben [2].

### **Zusammenfassung und Schlussfolgerung**

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass vor allem Patientinnen und Patienten nach K-TEP, Sport auf hohem Niveau immer noch nicht vorhersehbar erreichen. Dies scheint jedoch zunehmend nicht an dem Prothesendesign und -material selbst zu liegen. Hier gab es in den letzten Jahren Entwicklungen, welche die Schwelle für High Impact Sport immer weiter senken werden und es erlauben werden, für Patientinnen und Patienten mit hohem sportlichem Anspruch die Implantatwahl individuell anzupassen. Neben patientenspezifischen Faktoren wie Alter, Gewicht, Neben Erkrankungen, präoperative Aktivität, Motivation, gelingt es auch den Operateuren noch nicht reproduzierbar, Knieprothesen zu implantieren, die funktionell eine hohe sportliche Akti-

vität ermöglichen. Unabhängig davon spielt sicher auch eine Rolle, dass in der Vergangenheit die Fachgesellschaften stärkere sportliche Aktivitäten nach Knieprothesenimplantation abgelehnt haben.

Gelingt es dem Operateur durch seine OP-Technik, die funktionelle Fähigkeit für höhere Sportlevels zu erreichen, dann könnten durch zementfreie Verankerung, kongruente Gleitpaarungen wie beispielsweise medial pivotierend etc., eine Gelenk- ausrichtung innerhalb von 3 Grad und das Weglassen des Patellarückflächenersatzes die Voraussetzungen für High Impact Sportarten erfüllt sein, ohne, dass dies negative Auswirkungen auf die Überlebensrate des Implantats hat. Wenn diese Möglichkeiten auch durch Studien untermauert werden, könnten auch die Fachgesellschaften ihre Empfehlungen entsprechend anpassen.

### **Interessenkonflikte:**

Friedrich Boettner erhält Royalties von Smith and Nephew, Beraterhonorare und Royalties von der Ortho Development

Corporation und besitzt Aktien und Aktienoptionen von AccuPredict Inc. Kimi Spilo, Christian Manuel Sterneder: Keine angegeben.

**Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie auf:**  
**[www.online-oup.de](http://www.online-oup.de).**



Foto: privat

### **Korrespondenzadresse**

**Friedrich Boettner, MD**  
**Adult Reconstruction and**  
**Joint Replacement Service**  
**Hospital for Special Surgery**  
**535 East 70th**  
**New York, NY 10021, United States**  
**[doc@drboettner.com](mailto:doc@drboettner.com)**

# OUP



OUP online

## Wussten Sie, dass Sie die OUP auch im Internet lesen können?

Ab dem ersten Erscheinungstag steht die jeweilige aktuelle OUP-Ausgabe unter [www.online-oup.de](http://www.online-oup.de) im Netz. Nach einmaliger Registrierung können Sie sich jederzeit einloggen.

### **Ein besonderer Vorteil:**

Nach Registrierung stehen Ihnen unsere CME-Artikel direkt zur Verfügung und Sie können wertvolle Punkte erwerben.

**[www.online-oup.de](http://www.online-oup.de)**

Christoph von Schulze-Pellengahr, Wolfram Teske

# Moderne Fast-Track-Konzepte in der Knieendoprothetik

## Wie kommen wir zu guten Ergebnissen?

### Zusammenfassung:

Moderne Fast-Track-Konzepte in der Knieendoprothetik haben in den letzten Jahren erheblich an Bedeutung gewonnen. Diese Konzepte zielen darauf ab, die postoperative Erholung zu beschleunigen, die Krankenhausaufenthaltsdauer zu verkürzen und die Patientenzufriedenheit zu erhöhen. Doch wie erreichen wir gute Ergebnisse mit diesen Ansätzen?

Ein zentraler Aspekt der Fast-Track-Konzepte ist die präoperative Vorbereitung. Hierzu gehört die umfassende Aufklärung der Patientinnen und Patienten über den gesamten Behandlungsprozess, einschließlich realistischer Erwartungen an die postoperative Phase. Eine gute prähabilitative Betreuung, die physiotherapeutische Übungen und Ernährungsberatung umfasst, kann die körperliche Verfassung der Patientinnen und Patienten vor der Operation verbessern und somit die postoperative Erholung beschleunigen.

Intraoperativ spielen minimalinvasive Techniken und die Verwendung von modernen Anästhesieverfahren eine entscheidende Rolle. Diese Techniken reduzieren das Gewebetrauma und minimieren postoperative Schmerzen, was zu einer schnelleren Mobilisierung der Patientinnen und Patienten führt. Der Einsatz von Tranexamsäure zur Reduktion von Blutverlust und die Anwendung von Lokalanästhetika tragen ebenfalls zur Verbesserung der postoperativen Ergebnisse bei. Postoperativ ist ein multimodales Schmerzmanagement essenziell. Durch die Kombination verschiedener Analgetika und die frühzeitige Mobilisation können Schmerzen effektiv kontrolliert und die Funktionalität des Kniegelenks schnell wieder hergestellt werden. Die enge Zusammenarbeit zwischen Chirurgen, Anästhesisten, Physiotherapeuten und Pflegepersonal ist hierbei unerlässlich. Ein weiterer wichtiger Faktor ist die strukturierte Nachsorge. Regelmäßige physiotherapeutische Sitzungen und die kontinuierliche Überwachung des Heilungsverlaufs tragen dazu bei, Komplikationen frühzeitig zu erkennen und zu behandeln. Die Einbindung der Patientinnen und Patienten in den Rehabilitationsprozess und die Förderung der Eigenverantwortung sind ebenfalls entscheidend für den langfristigen Erfolg.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass moderne Fast-Track-Konzepte in der Knieendoprothetik durch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, eine umfassende präoperative Vorbereitung, minimalinvasive Operationstechniken und ein effektives Schmerzmanagement zu guten Ergebnissen führen. Die kontinuierliche Weiterentwicklung dieser Konzepte und die Anpassung an individuelle Patientenbedürfnisse sind der Schlüssel zu einer erfolgreichen Behandlung.

### Schlüsselwörter:

Knieendoprothese, Fast-Track-Konzepte, integriertes Behandlungskonzept, Rehabilitation, Gesundheitsökonomie, funktionelle Verbesserung

### Zitierweise:

von Schulze Pellengahr C, Teske W: Moderne Fast-Track-Konzepte in der Knieendoprothetik.

Wie kommen wir zu guten Ergebnissen?

OUP 2024; 13: 218–224

DOI 10.53180/oup.2024.0218-0224

# Modern fast-track concepts in knee joint replacement

## How do we get good results?

**Summary:** Modern fast-track concepts in knee arthroplasty have gained significant importance in recent years. These concepts aim to accelerate postoperative recovery, reduce hospital stay duration, and increase patient satisfaction. But how do we achieve good results with these approaches?

A central aspect of fast-track concepts is preoperative preparation. This includes comprehensive patient education about the entire treatment process, including realistic expectations for the postoperative phase. Good prehabilitation care, which includes physiotherapy exercises and nutritional counseling, can improve patients' physical condition before surgery and thus speed up postoperative recovery. Intraoperatively, minimally invasive techniques and the use of modern anesthesia methods play a crucial role. These techniques reduce tissue trauma and minimize postoperative pain, leading to faster patient mobilization. The use of tranexamic acid to reduce blood loss and the application of local anesthetics also contribute to improved postoperative outcomes. Postoperatively, multimodal pain management is essential. By combining different analgesics and early mobilization, pain can be effectively controlled, and knee joint functionality can be quickly restored. Close collaboration between surgeons, anesthesiologists, physiotherapists, and nursing staff is crucial in this regard. Another important factor is structured follow-up care. Regular physiotherapy sessions and continuous monitoring of the healing process help to detect and treat complications early. Involving patients in the rehabilitation process and promoting self-responsibility are also key to long-term success.

In conclusion, modern fast-track concepts in knee arthroplasty lead to good results through interdisciplinary collaboration, comprehensive preoperative preparation, minimally invasive surgical techniques, and effective pain management. The continuous development of these concepts and their adaptation to individual patient needs are the keys to successful treatment.

**Keywords:** knee joint replacement, fast track surgery, integrated treatment concept, fast rehabilitation, short inpatient care, clinical outcome

**Citation:** von Schulze Pellengahr C, Teske W: Modern fast-track concepts in knee joint replacement. How do we get good results?

OUP 2024; 13: 218–224. DOI 10.53180/oup.2024.0218-0224

## Einleitung

Die Knieendoprothetik hat in den letzten Jahrzehnten erhebliche Fortschritte gemacht, insbesondere durch die Einführung von Fast-Track-Konzepten. Diese Konzepte zielen darauf ab, die postoperative Erholung zu beschleunigen, die Krankenhausaufenthaltsdauer zu verkürzen und die Patientenzufriedenheit zu erhöhen [1]. In diesem Paper werden die aktuellen Fast-Track-Konzepte in der Knieendoprothetik untersucht und bewertet, wie diese zu besseren Ergebnissen führen können.

Alle Fast-Track-Konzepte bestehen im zeitlichen Ablauf aus den 3 Phasen der Vorbereitung, dem chirurgischen Eingriff im stationären Aufenthalt und der Rehabilitation. Für den Erfolg entscheidend ist der individuelle patientenzentrierte Ansatz von der Operationsindikation bis zur Heilung [2]. Der Gesamtprozess umfasst zeitlich 3 Monate, in Einzelfällen auch länger [2].

## Präoperative Phase

Die präoperative und gleichzeitig prästationäre Phase ist entscheidend für den Erfolg von Fast-Track-Konzepten. Hansen zeigte, dass ca. 45 % aller elektiven Hüft- und Knieprothesen für Patientinnen und Patienten präoperative Risiken aufwiesen, die mit einer erhöhten Komplikationsrate und möglicherweise verlängerten Aufenthalten assoziiert waren [3]. Eine gründliche Patientenaufklärung und -vorbereitung ist essenziell. Studien zeigen, dass präoperative Schulungen und Optimierungen des Gesundheitszustands, wie die Kontrolle von Komorbiditäten, die postoperative Erholung signifikant verbessern können [4, 5].

Relevante präoperative Risikofaktoren der Fast-Track-Endoprothetik sind Mangelernährung/Übergewicht, präoperative Anämie, Diabetes mellitus, präoperative Opioidaufnahme und endogene Depression [5]. Husted et al.

konnten in einem großen Kollektiv zeigen, dass der Einfluss der Adipositas im Rahmen der Fast-Track-Knieendoprothetik geringer war als angenommen [6]. Die präoperative Anämie, die Jans et al. in 12,8 % der Fälle sahen, führte neben der erhöhten Transfusionsrate dagegen zu einer Verlängerung der Liegedauer über 5 Tage [7].

Zu den wichtigsten präoperativen Maßnahmen gehören damit das Patient Blood Management (PBM), die Bestimmung des HbA1c, der MRSA-Abstrich, präoperative Schulungen und die präoperative Krankengymnastik mit Gangschulung an Unterarmgehstützen.

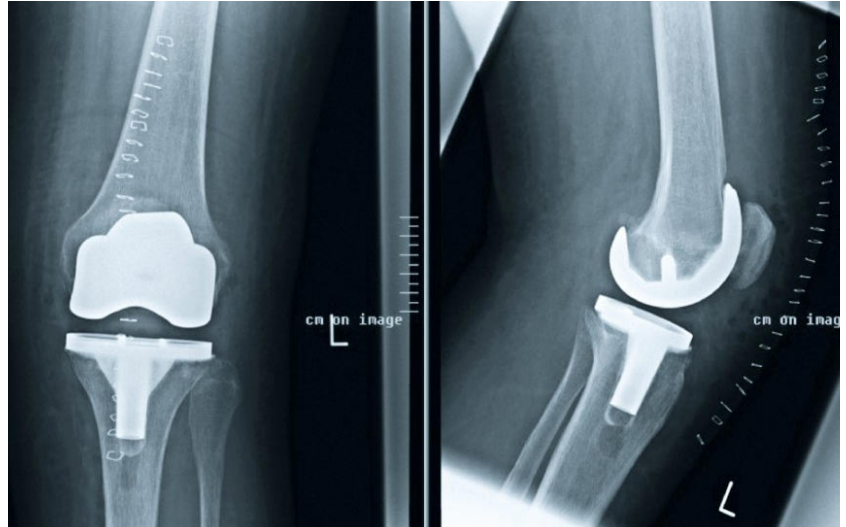
## Patient Blood Management (PBM)

Das PBM ist ein umfassendes Konzept zur Optimierung des Blutmanagements vor, während und nach der Operation. Es zielt darauf ab, die Not-

Abb. 1–4 W. Teske, C. von Schulze-Pellengahr



**Abbildung 1** Die Patientin wurde im Fast-Track-Verfahren operiert und zeigt am 2. postoperativen Tag ein raumgreifendes flüssiges Gangbild auf dem Stationsflur



**Abbildung 2** Röntgenbild in 2 Ebenen bei Oberflächenersatz mit HKB-Erhalt des linken Kniegelenks bei einem 62-jährigen männlichen Patienten

wendigkeit von Bluttransfusionen zu minimieren und die postoperative Erholung zu verbessern. Die wichtigsten Komponenten des PBM in der präoperativen Phase sind:

### 1. Anämie-Management

Präoperative Anämie ist ein häufiger Risikofaktor für postoperative Komplikationen [7]. Die häufigste Ursache der präoperativen Anämie ist Eisenmangel [7, 8]. Die frühzeitige Erkennung und Behandlung von Anämie durch die Gabe von Eisenpräparaten und Erythropoetin kann die Hämoglobinwerte verbessern und die Notwendigkeit von Bluttransfusionen reduzieren [9, 10, 49]. Die Substitution von Vitamin B12 ist bei veganer Ernährung und nach bariatrischer Chirurgie essentiell [11, 12]. Ein präoperativer Hämoglobinmindestwert von 12,5 g/l für Frauen und 13,5 g/l für Männer ist anzustreben, da in vielen Studien diese Werte als cut-off für den postoperativen Transfusionsbedarf ermittelt werden konnten [13–15].

### 2. Optimierung der Blutgerinnung

Die präoperative Bewertung und Normalisierung der Blutgerinnung ist entscheidend, um das Risiko von Blutungen während der Operation zu minimieren. Dies kann durch die Wahl des richtigen Operationszeitpunkts, die

Anpassung von Medikamenten, die die Blutgerinnung beeinflussen und durch die Verwendung von Gerinnungsfaktoren erreicht werden [16]. Patientinnen und Patienten unter Cumarin-Therapie erhalten ein zeitgerechtes Bridging, während Patientinnen und Patienten unter DOAK-Therapie im Rahmen der Fast-Track-Knieendoprothetik entsprechend den Empfehlungen der PAUSE-Studie bei einer Kreatinin Clearance von > 50 ml/min das jeweilige Präparat 48 Stunden präoperativ und bei einer beeinträchtigten Kreatinin Clearance < 50 ml/min das Präparat 4 Tage vor dem Eingriff absetzen sollen [16, 17]. Koronarpatientinnen und -patienten mit kürzlich implantierten Metallstents sollten elektiv nicht vor Ablauf von 6 Wochen operiert werden. Die Verwendung eines Medikament freisetzenden Stents verlängert die Frist auf 6 Monate [18–20].

### 3. Blutsparende Techniken

Die Anwendung von chirurgischen blutsparenden Techniken mit sorgfältiger Blutstillung ist essentiell. Migliorini et al. fanden in ihrer Metaanalyse für die Nutzung eines Tourniquets widersprüchliche Ergebnisse. Ein länger angelegtes Tourniquet war mit einer kürzeren Operationsdauer, einem geringeren intraoperativen Blutverlust und einem geringeren Transfusionsbedarf as-

soziiert, während die mittlere durchschnittliche Zeit des Krankenhausaufenthalts mit dem Nichtgebrauch des Tourniquets korrelierte [21].

### Bestimmung des HbA1c

Die Bestimmung des HbA1c-Wertes ist ein wichtiger Bestandteil der präoperativen Vorbereitung, insbesondere bei Patientinnen und Patienten mit Diabetes mellitus. Viens et al. zeigten für Personen mit Diabetes Typ I sowohl eine längere Krankenhausaufenthaltsdauer als auch eine erhöhte Infektionsrate [22]. Für Personen mit Diabetes Typ II zeigten Jorgensen zwar mit 11,3 % gegenüber 8,1 % bei Personen ohne Diabetes einen stationären Krankenhausaufenthalt von mehr als 4 Tagen auf, die Einbeziehung von Kofaktoren zeigte jedoch keine kausale Beziehung zwischen Verweildauer und Diabetes Typ II [23]. Ein gut kontrollierter Blutzuckerspiegel ist entscheidend für die Wundheilung und die Vermeidung von postoperativen Komplikationen. Ein HbA1c-Wert von unter 7 % wird allgemein als Zielwert angesehen, um das Risiko von Infektionen und anderen Komplikationen zu minimieren [5].

### MRSA-Abstrich

Der präoperative MRSA-Abstrich dient der Identifikation von Patientinnen und Patienten, die mit Methi-



**Abbildung 3** Der 62-jährige Patient am 1. postoperativen Tag nach Mobilisation nach dem Fast-Track-Konzept



**Abbildung 4** Bereits am 2. postoperativen Tag ist Treppensteigen möglich

cillin-resistenten *Staphylococcus aureus* (MRSA) kolonisiert sind. Eine MRSA-Kolonisation erhöht das Risiko für postoperative Infektionen erheblich. Bei positivem Befund wird eine Dekolonisationstherapie durchgeführt, um das Infektionsrisiko zu senken [24].

### Präoperative Schulungen

Präoperative Schulungen sind ein weiterer wichtiger Bestandteil der Fast-Track-Konzepte. Sie zielen darauf ab, die Patientin/den Patienten umfassend über den bevorstehenden Eingriff, die postoperative Phase und die Rehabilitation zu informieren. Hansen und MacDonald zeigten, dass dieses Konzept einen wesentlichen Beitrag zur Verkürzung der stationären Verweildauer darstellt [25, 26]. Im Rahmen der Aufklärung sollte auf die Erhöhung des Komplikationsrisikos durch Tabakkonsum hingewiesen werden und die Empfehlung einer präoperativen Nikotinkarenz ausgesprochen werden [27]. Die wichtigsten Elemente der präoperativen Schulungen sind:

#### 1. Patientenaufklärung

Eine umfassende Aufklärung der Patientinnen und Patienten über den Ablauf der Operation, die zu erwartenden Ergebnisse und mögliche Komplikationen ist entscheidend. Dies kann durch Informationsbroschüren, Videos oder

persönliche Gespräche mit dem medizinischen Team erfolgen.

#### 2. Schulung zur Schmerzbewältigung

Die Patientinnen und Patienten werden über die verschiedenen Methoden der Schmerzbewältigung informiert, einschließlich der Verwendung von Schmerzmitteln, physikalischer Therapie und Entspannungstechniken. Dies hilft, die Angst vor postoperativen Schmerzen zu reduzieren und die Schmerzbewältigung zu verbessern.

#### 3. Rehabilitationsplanung

Die Planung der postoperativen Rehabilitation beginnt bereits in der präoperativen Phase. Die Patientinnen und Patienten werden über die Bedeutung der Frühmobilisation und die verschiedenen Übungen informiert, die sie nach der Operation durchführen müssen. Dies fördert eine schnellere Genesung und eine bessere funktionelle Erholung.

#### 4. Ernährungsberatung

Eine ausgewogene Ernährung spielt eine wichtige Rolle bei der Wundheilung und der allgemeinen Genesung. Die Patientinnen und Patienten erhalten Empfehlungen zur Optimierung ihrer Ernährung vor und nach der Operation, um die Heilung zu unterstützen auch wenn randomisierte wis-

senschaftliche Untersuchungen im Rahmen der Fast-Track-Knieendoprothetik bisher nicht vorliegen [28, 29].

### 5. Präoperative Krankengymnastik mit Gangschulung an Unterarmgehstützen

Die präoperative Krankengymnastik zielt darauf ab, die Muskulatur zu stärken und die Beweglichkeit des Kniegelenks zu verbessern. Eine spezielle Gangschulung an Unterarmgehstützen hilft den Patientinnen und Patienten, den Umgang mit den Gehhilfen zu erlernen und sich sicherer zu bewegen. Dies ist besonders wichtig, um die Mobilität unmittelbar nach der Operation zu gewährleisten und das Sturzrisiko zu minimieren.

### Anästhesie und Schmerzmanagement

Ein wesentlicher Bestandteil der Fast-Track-Konzepte ist die Wahl der Anästhesie und das Schmerzmanagement. Regionalanästhesieverfahren wie die spinale oder epidurale Anästhesie, haben sich als vorteilhaft erwiesen, da sie mit einer geringeren Rate an postoperativen Komplikationen und einer schnelleren Mobilisation verbunden sind [30, 31], auch wenn die Evidenz hierfür nicht ganz sicher ist. Multimodale Schmerztherapien, die eine Kombination aus verschiedenen Analgetika und Techniken verwenden, sind ebenfalls effektiv [32].

Hier sind die wichtigsten Aspekte und eine detaillierte Darstellung der verwendeten Schmerzmittel mit genauen Dosierungen im zeitlichen Verlauf:

#### Regionalanästhesie: Spinalanästhesie

- häufig verwendet, da sie eine gute intraoperative Anästhesie und postoperative Analgesie bietet; Periphere Nervenblockaden
- Femoral- und Adduktorenkanalblockaden sind gängige Techniken, die eine effektive Schmerzlinderung bieten und die Mobilisation fördern.

#### Allgemeinanästhesie

Wird seltener verwendet, kann aber in Kombination mit regionalen Techniken eingesetzt werden, um eine optimale Schmerzkontrolle zu gewährleisten.

| Präoperative Phase |                |                     |
|--------------------|----------------|---------------------|
| Medikament         | Dosierung      | Zeitpunkt           |
| Paracetamol        | 1 g oral       | 1 Stunde vor der OP |
| Celecoxib          | 200 mg oral    | 1 Stunde vor der OP |
| Pregabalin         | 75–150 mg oral | 1 Stunde vor der OP |

Tabelle 1 Beispiel für Schmerzmedikation in der präoperativen Phase

| Intraoperative Phase                         |                |               |
|----------------------------------------------|----------------|---------------|
| Medikament                                   | Dosierung      | Zeitpunkt     |
| Spinalanästhesie<br>Bupivacain 0,5 %         | 10–15 mg       | intraoperativ |
| Periphere Nervenblockade<br>Ropivacain 0,5 % | 20–30 ml       | intraoperativ |
| Ketamin                                      | 0,5 mg/kg i.v. | intraoperativ |
| Dexamethason                                 | 8 mg i.v.      | intraoperativ |

Tabelle 2 Beispiel für Schmerzmedikation in der intraoperativen Phase

Ein multimodales Schmerzmanagement kombiniert verschiedene Analgetika und Techniken, um die Schmerzintensität zu reduzieren und Nebenwirkungen zu minimieren. Eine präoperative Therapie mit Opioiden erhöht den postoperativen individuellen Bedarf signifikant, und muss bei der Verordnung berücksichtigt werden, wie Aasvang et al. für die Fast-Track-Knieendoprothetik zeigen [33].

Hier ist ein typisches Schema für das Schmerzmanagement bei Knieendoprothetik:

Chirurgische Techniken

Minimalinvasive chirurgische Techniken und der Einsatz von computergestützter Navigation können die postoperative Erholung beschleunigen und die Genauigkeit der Implantation verbessern [34, 35]. Insbesondere minimalinvasive Zugänge reduzieren das Weichteiltrauma und es ergeben sich Hinweise auf eine schnellere Mobilisation [36]. Auf Redondrainagen sollte, wenn möglich, verzichtet werden.

Eine wesentliche Rolle für einen optimalen Erfolg der Operation spielt auch die Operation begleitende Medikation:

Lokale Infiltrationsanalgesie (LIA) LIA beinhaltet die perioperative Injektion einer Mischung von Analgetika direkt in die Gewebe um das Kniegelenk. Eine übliche LIA-Mischung könnte umfassen:

- Ropivacain oder Bupivacain: 150–200 mg
- Epinephrin: 0,5 mg (zur Verlängerung der Wirkung und Reduzierung der Blutung)
- Ketorolac: 30 mg (wegen seiner entzündungshemmenden Eigenschaften)
- Clonidin: 150 µg (optional, wegen seiner analgetischen Eigenschaften); die genaue Zusammensetzung und das Volumen können je nach institutionellen Protokollen und Patientenfaktoren variieren.
- Tranexamsäure (TXA): TXA wird verwendet, um den perioperativen Blutverlust zu reduzieren. Das Dosierungsschema kann variieren, aber übliche Protokolle umfassen:

- Intravenöse (IV) Verabreichung: 1 g präoperativ und 1 g intraoperativ.
- Topische Verabreichung: 1–3 g, verdünnt in 100 ml physiologische Kochsalzlösung, direkt auf die Operationsstelle vor dem Wundverschluss aufgetragen.

Postoperative Phase

Die postoperative Phase umfasst die frühzeitige Mobilisation und Rehabilitation. Studien zeigen, dass eine frühzeitige Mobilisation, oft am Tag der Operation, die Erholungszeit verkürzt und die Funktionalität verbessert [37, 38]. Ein strukturiertes Rehabilitationsprogramm, das auf die individuellen Bedürfnisse der Patientin/des Patienten abgestimmt ist, ist ebenfalls entscheidend [38, 39].

Ein typisches Nachbehandlungsschema wird nachfolgend dargestellt:

Postoperative Phase (Tag 0–3)

1. Frühmobilisation:
  - Mobilisation am Tag der Operation oder spätestens am ersten postoperativen Tag
  - Unterstützung durch Physiotherapeuten bei den ersten Gehversuchen mit Gehhilfen
2. Bewegungsübungen:
  - Passive und aktive Bewegungsübungen zur Verbesserung der Kniestreckung und -beugung
  - Einsatz einer kontinuierlichen passiven Bewegungsschiene (CPM) zur Unterstützung der Beweglichkeit
3. Schwellungsreduktion:
  - Hochlagern des Beins
  - Kälteanwendungen zur Reduktion von Schwellungen und Schmerzen

Frührehabilitationsphase (Tag 4–14)

1. Tägliche Physiotherapie:
  - Tägliche Sitzungen zur Verbesserung der Beweglichkeit und Stärkung der Muskulatur
  - Übungen zur Verbesserung der Kniestreckung und -beugung (z.B. Fersenrutschen, Quadrizeps-Anspannungen)
2. Gangtraining:
  - Gehübungen mit Gehhilfen zur Verbesserung des Gangbildes
  - Treppensteigen unter Anleitung

### 3. Krafttraining:

- Übungen zur Kräftigung der Oberschenkel- und Hüftmuskulatur (z.B. Beinheben, Mini-Kniebeugen)
- Einsatz von Widerstandsbändern oder leichten Gewichten

Rehabilitation und Schmerzmanagement können zunehmend über individuell gestaltbare Patienten-Apps mit differenzierten Programmen unterstützt werden [40, 41].

### Entlassungsmanagement

Ein effektives Entlassungsmanagement ist ein weiterer Schlüssel zum Erfolg von Fast-Track-Konzepten. Die frühzeitige Entlassung erfordert eine sorgfältige Planung und Nachsorge, um sicherzustellen, dass die Patientin/der Patient zu Hause die notwendige Unterstützung erhält [42, 43]. Telemedizinische Ansätze und regelmäßige Nachsorgetermine können hierbei hilfreich sein [44].

Die Entlassung nach einer Fast-Track-Knieendoprothetik erfolgt in der Regel zwischen dem 3. und 5. postoperativen Tag, abhängig von der Erfüllung bestimmter Entlassungskriterien. Diese Kriterien umfassen:

1. Schmerzmanagement: Effektive Schmerztherapie, die es der Patientin/dem Patienten ermöglicht, sich zu mobilisieren und alltägliche Aktivitäten durchzuführen.
2. Mobilität: Die Patientin/der Patient sollte in der Lage sein, mit Gehhilfen sicher zu gehen, Treppen zu steigen und sich selbstständig zu bewegen.
3. Wundheilung: Die Operationswunde sollte ohne Anzeichen einer Infektion heilen und die Drainagen sollten entfernt sein.
4. Funktionelle Beweglichkeit: Angemessene Beweglichkeit des Kniegelenks, typischerweise eine Beugung von mindestens 90 Grad und vollständige Streckung.
5. Selbstständigkeit: Die Patientin/der Patient sollte in der Lage sein, grundlegende Aktivitäten des täglichen Lebens (ADLs) wie Anziehen, Waschen und Toilettengang selbstständig durchzuführen.
6. Thromboseprophylaxe: Die Patientin/der Patient sollte in der Lage sein, die Anweisungen zur Thromboseprophylaxe zu befolgen, ein-

| Postoperative Phase – Akutphase (0–24 Stunden nach der OP) |                          |                                           |
|------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|
| Medikament                                                 | Dosierung                | Zeitpunkt                                 |
| Paracetamol                                                | 1 g alle 6 Stunden       |                                           |
| Celecoxib                                                  | 200 mg alle 12 Stunden   | postoperativ                              |
| Oxycodon                                                   | 5–10 mg alle 4–6 Stunden | bei Bedarf                                |
| Lokalanästhetikum                                          | Ropivacain 0,2 %         | kontinuierlich über Katheter (48 Stunden) |

**Tabelle 3** Beispiel für Schmerzmedikation in der postoperativen Akutphase (0–24 Stunden nach der OP)

| Subakutphase (24–72 Stunden nach der OP) |                          |              |
|------------------------------------------|--------------------------|--------------|
| Medikament                               | Dosierung                | Zeitpunkt    |
| Paracetamol                              | 1 g alle 6 Stunden       |              |
| Paracetamol                              | 1 g alle 6 Stunden       | postoperativ |
| Celecoxib                                | 200 mg alle 12 Stunden   | postoperativ |
| Oxycodon                                 | 5–10 mg alle 4–6 Stunden | bei Bedarf   |

**Tabelle 4** Beispiel für Schmerzmedikation in der Subakutphase (24–72 Stunden nach der OP)

| Rehabilitationsphase (ab 72 Stunden nach der OP) |                          |              |
|--------------------------------------------------|--------------------------|--------------|
| Medikament                                       | Dosierung                | Zeitpunkt    |
| Paracetamol                                      | 1 g alle 6 Stunden       | postoperativ |
| Celecoxib                                        | 200 mg alle 12 Stunden   | postoperativ |
| Oxycodon                                         | 5–10 mg alle 4–6 Stunden | bei Bedarf   |
| Gabapentin                                       | 300 mg alle 8 Stunden    | postoperativ |

**Tabelle 5** Beispiel für Schmerzmedikation in der Rehabilitationsphase (ab 72 Stunden nach der OP)

- schließlich der Einnahme von Antikoagulanzen und dem Tragen von Kompressionsstrümpfen.
7. Soziale Unterstützung: Sicherstellung, dass die Patientin/der Patient zu Hause die notwendige Unterstützung durch Familie oder Pflegepersonal erhält.
8. Patientenaufklärung: Die Patientin/der Patient und seine Angehörigen sollten über die postoperativen Pflegeanforderungen, Physiotherapieübungen und die Notwen-

digkeit von Nachsorgeterminen informiert sein. Die genaue Entlassung erfolgt nach einer individuellen Beurteilung durch das behandelnde Team, um sicherzustellen, dass die Patientin/der Patient sicher und gut versorgt nach Hause gehen kann.

### Ergebnisse und Diskussion

Die Implementierung von Fast-Track-Konzepten in der Knieendoprothetik hat zu signifikanten Verbesserungen

in Bezug auf die postoperative Erholung, die Reduktion der Krankenhausaufenthaltsdauer und die Patientenzufriedenheit geführt [45, 46]. Studien zeigen, dass Patientinnen und Patienten, die nach Fast-Track-Konzepten behandelt werden, schneller ihre normale Funktionalität wiedererlangen und weniger postoperative Komplikationen aufweisen [47, 48].

### **Vorteile der Fast-Track-Knieendoprothetik**

#### **1. Schnellere Mobilisation**

Frühzeitige Mobilisation führt zu einer schnelleren Wiederherstellung der Funktion und einer kürzeren Krankenhausaufenthaltsdauer.

#### **2. Reduzierte Krankenhausaufenthaltsdauer**

Patientinnen und Patienten können oft bereits nach 3–5 Tagen entlassen werden, was die Krankenhausressourcen schont und die Kosten senkt.

#### **3. Weniger postoperative Komplikationen**

Durch die frühzeitige Mobilisation und die optimierte Schmerztherapie werden Komplikationen wie Thrombosen und Pneumonien reduziert.

#### **4. Bessere Schmerztherapie**

Multimodale Schmerztherapieansätze verbessern das Schmerzmanagement und reduzieren den Bedarf an Opioiden.

#### **5. Schnellere Rückkehr zu Alltagsaktivitäten**

Patientinnen und Patienten können schneller zu ihren normalen Aktivitäten und ggf. beruflichen Tätigkeiten zurückkehren.

#### **6. Ökonomische Vorteile**

Kürzere Aufenthaltsdauer und weniger postoperative Komplikationen führen zu einer Kostenreduktion für das Gesundheitssystem.

### **Nachteile der Fast-Track-Knieendoprothetik**

#### **1. Höhere Anforderungen an das Personal**

Erfordert eine enge interdisziplinäre Zusammenarbeit und Schulung des

gesamten Teams, um die Protokolle effektiv umzusetzen.

#### **2. Nicht für alle Patientinnen und Patienten geeignet**

Patientinnen und Patienten mit schweren Komorbiditäten oder komplexen medizinischen Bedingungen sind möglicherweise nicht für das Fast-Track-Protokoll geeignet.

#### **3. Erhöhte Belastung für Patientinnen und Patienten**

Die schnelle Mobilisation und Rehabilitation können für einige Patientinnen und Patienten körperlich und psychisch belastend sein.

#### **4. Risiko der unzureichenden Nachsorge**

Bei einer frühen Entlassung besteht das Risiko, dass Patientinnen und Patienten nicht ausreichend nachbetreut werden, was zu Komplikationen führen kann.

#### **5. Initiale Kosten für Implementierung**

Die Einführung von Fast-Track-Protokollen erfordert Investitionen in Schulungen und möglicherweise in zusätzliche Ressourcen.

#### **6. Potenzielle Überlastung der ambulanten Versorgung**

Eine frühere Entlassung kann zu einer erhöhten Nachfrage nach ambulanter Physiotherapie und Nachsorge führen, was die ambulanten Dienste belasten kann. Insgesamt bietet die Fast-Track-Knieendoprothetik viele Vorteile, insbesondere in Bezug auf die schnellere Genesung und die Reduktion der Krankenhausaufenthaltsdauer. Allerdings müssen die potenziellen Nachteile und Herausforderungen sorgfältig abgewogen und durch eine gute Planung und interdisziplinäre Zusammenarbeit adressiert werden.

### **Fazit**

Moderne Fast-Track-Konzepte in der Knieendoprothetik bieten zahlreiche Vorteile und tragen zu besseren Ergebnissen bei. Eine sorgfältige präoperative Vorbereitung, optimierte Anästhesie- und Schmerzmanagementstrategien, minimalinvasive chirurgische Techniken, frühzeitige

Mobilisation und ein effektives Entlassungsmanagement sind entscheidend für den Erfolg dieser Konzepte. Zukünftige Forschungen sollten sich auf die weitere Optimierung und Individualisierung dieser Ansätze konzentrieren, um die Ergebnisse für alle Patientinnen und Patienten weiter zu verbessern.

#### **Interessenkonflikte:**

Keine angegeben.

**Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie auf:**  
[www.online-oup.de](http://www.online-oup.de).



Foto: privat

#### **Korrespondenzadresse**

Priv.-Doz. Dr. med. Wolfram Teske  
 Ruhr-Universität Bochum  
 Medizinische Fakultät  
 Universitätsstraße 150  
 44801 Bochum  
[wolfram.teske@ruhr-uni-bochum.de](mailto:wolfram.teske@ruhr-uni-bochum.de)



Foto: privat

#### **Korrespondenzadresse**

Prof. Dr. med. Christoph von Schulze-Pellengahr  
 Agaplesion Ev. Bathildis-Krankenhaus  
 Zentrum für Orthopädie, Wirbelsäulenchirurgie und Unfallchirurgie  
 Maulbeerallee 4  
 31812 Bad Pyrmont  
[Christoph.Schulze-Pellengahr@agaplesion.de](mailto:Christoph.Schulze-Pellengahr@agaplesion.de)

UV-GOÄ

# Immer aktuell in der neuen Datenbank-Version

Mit verständlichen Erläuterungen der vertraglichen Regelungen vermittelt Ihnen das Autorenteam unter der Leitung von Barbara Berner wichtige Hintergrundinformationen über das System der gesetzlichen Unfallversicherung.

Kombiniert mit praxisnahen Kommentaren aktiver Durchgangsarzte und Fachärzte zur Gebührenordnung sowie Ergebnissen und Erfahrungen aus der Clearingstelle auf Bundesebene finden Sie alles zur sicheren Abrechnung mit Berufsgenossenschaften und Unfallkassen.

Die Datenbank zur UV-GOÄ ist Bestandteil unseres Portals [abrechnung-medizin.de](http://abrechnung-medizin.de) mit vielen weiteren Inhalten zu Abrechnung und Kodierung.

**Expertenwissen aus erster Hand!**



Bearbeiterin des Werkes ist  
Rechtsanwältin Barbara Berner,  
Rechtsabteilung der  
Kassenärztlichen Bundesvereinigung.



Stand:  
01.01.2024

Einzelplatz-Lizenz mit 12-monatigem Zugang:  
€ 69,99 inkl. MwSt.



Mehrplatzlizenzen zu attraktiven Staffelpreisen – sprechen Sie uns gerne an:

- telefonisch unter Tel. 02234-7011-335
- per E-Mail an [kundenservice@aerzteverlag.de](mailto:kundenservice@aerzteverlag.de)



Mehr Infos, die Bestellmöglichkeit und den Weg zum kostenlosen Test-Zugang finden Sie unter:

[shop.aerzteverlag.de/  
abrechnung-medizin](http://shop.aerzteverlag.de/abrechnung-medizin)

Jetzt 30 Tage  
gratis testen!

Athanasios Karras, Markus Peyerl, Hans-Georg Palm

# Aktuelle Metastudien zur computerassistierten Chirurgie in der Knieendoprothetik

## Was bringt sie wirklich?

### Zusammenfassung:

Der Einsatz computerassistierter Chirurgie, im Rahmen der Kniegelenksnavigation oder roboterassistierten Knieendoprothetik, gewinnt in der orthopädischen Kniegelenkschirurgie zunehmend an Bedeutung. Ziel ist die präzise Implantation der Knieprothesenkomponenten, um bessere Operationsergebnisse mit langen Prothesenstandzeiten, niedrigen Revisionsraten und besseren funktionellen Ergebnissen zu erreichen. Fraglich ist, ob die hohen Anschaffungskosten, verlängerte Operationszeiten und der erhöhte organisatorische Aufwand durch den Einsatz computerassoziierter Operationshilfen gerechtfertigt sind und tatsächlich dazu beitragen, bessere radiologische und klinisch-funktionelle Ergebnisse zu erzielen. In unserer Literaturrecherche haben wir die in den letzten 5 Jahren veröffentlichten Review- und Multi-Center-Studien ausgewertet und sind zu dem Schluss gekommen, dass die konventionelle Operationsmethodik in erfahrenen Händen auch heute nicht entscheidend an Bedeutung verloren hat.

### Schlüsselwörter:

Computerassistierte Chirurgie, Navigation, Knieendoprothetik

### Zitierweise:

Karras A, Peyerl M, Palm H-G: Aktuelle Metastudien zur computerassistierten Chirurgie in der Knieendoprothetik. Was bringt sie wirklich?  
OUP 2024; 13: 226–229  
DOI 10.53180/oup.2024.0226-0229

### Einleitung

Die klinische und wissenschaftliche Bedeutung der Navigation in der Knieendoprothetik wird deutlich anhand einer aktuellen Recherche in PubMed® unter den Suchbegriffen: „navigation knee arthroplasty“ (Abrufdatum: 22.06.2024). Allein in den vergangenen 10 Jahren seit 2014 finden sich dazu 1052 Ergebnisse (Abb. 1).

Grund hierfür mögen die steigenden Ansprüche einer körperlich aktiv alternden Gesellschaft sein: Unsere Patientinnen und Patienten sind sich häufig nach eigener Recherche im Bekanntenkreis und Internet dessen bewusst, dass in der Endoprothetik in relevantem Ausmaß Komplikationen wie Lockerungen, Implantatfehlpositionierungen und Infektionen eintreten

können und wählen daher bei planbarem Eingriff gezielt Kliniken mit offenbar besten Resultaten und Nutzung moderner technischer Methoden wie Navigation oder gar Robotik aus. Dabei haben diese enormen technischen Entwicklungen der computerassistierten Chirurgie der letzten Jahrzehnte sicherlich Vorteile mit sich gebracht. In der Literatur wird allen voran die Bedeutung der exakteren Ausrichtung der Prothesenkomponenten an der Beinachse genannt. Diese soll – neben einem besseren klinischen Outcome – zur längeren Standzeit der Knieprothese beitragen [1].

Andererseits weisen zahlreiche Kliniken nach wie vor hervorragende Er-

gebnisse unter Nutzung konventioneller Operationstechniken auf. Dabei werden sie z.T. auch durch Literaturergebnisse gestützt, die zuletzt eine klare Überlegenheit der Navigation nicht bestätigen konnten [2]. Hinzu kommt, dass inzwischen mit der Navigation, Robotik und patientenspezifischen Instrumentierung (PSI) verschiedene Optionen neben der konventionellen Operationsmethode zur Wiederherstellung des korrekten Alignments entlang der mechanischen Beinachse existieren.

Ziel unserer aktuellen Arbeit ist es daher, aufgrund der zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten der letzten Jahre und unter Berücksichtigung des enormen technischen Fortschritts, die

# A current meta analysis of computer assisted surgery in knee arthroplasty

## What is its actually contribution?

**Summary:** The use of computer-assisted surgery, in the context of knee joint navigation or robot-assisted knee arthroplasty, is becoming increasingly significant in orthopedic knee joint surgery. The goal is the precise implantation of knee prosthesis components to achieve better surgical outcomes with long prosthesis lifespans, low revision rates, and improved functional results. It is questionable whether the high acquisition costs, prolonged operation times, and increased organizational effort associated with computer-assisted surgical aids are justified and actually contribute to better radiological and clinically functional outcomes. In our literature review, we evaluated review and multi-center studies published in the last 5 years and concluded that conventional surgical methods, in experienced hands, have not significantly lost their relevance even today.

**Keywords:** computer assisted surgery; navigation; knee arthroplasty

**Citation:** Karras A, Peyerl M, Palm H-G: A current meta analysis of computer assisted surgery in knee arthroplasty. What is its actually contribution?  
OUP 2024; 13: 226–229. DOI 10.53180/oup.2024.0226-0229

jüngsten Entwicklungen im Bereich der computerassistierten Chirurgie, basierend auf einer PubMed®-Recherche, zu erheben und ihre Ergebnisse vorzustellen.

### Material und Methoden

Es wurde eine PubMed®-Recherche (Abrufdatum: 22.06.2024) mit Fokus auf Metanalysen und Reviewarbeiten der vergangenen 5 Jahre durchgeführt. Dabei konnten 69 Arbeiten bzw. 13 Metaanalysen recherchiert werden; zusätzlich wurden im Schneeballprinzip weitere Arbeiten betrachtet, sofern sie weitere Erkenntnisse gezeigt haben.

### Ergebnisse und Diskussion

Die aktuellen Studien fokussieren sich erwartungsgemäß vor allem auf die radiologischen Ergebnisse und das klinische Outcome, weswegen hierauf im Folgenden besonders eingegangen werden soll. Dabei differenzieren wir zwischen der unikompartimentellen und Total-Knieendoprothetik.

#### Unikompartimentelle Knieendoprothetik

Bouché et al. [3] analysierten die Wirksamkeit der verschiedenen Schnittführungen bei der unikompartimentellen Knieendoprothetik bei 18 randomisierten kontrollierten Studien

mit 1562 Patientinnen und Patienten (1.564 Gelenke). Eingeschlossen wurden dabei die konventionelle, die navigierte, die patientenspezifisch-instrumentierte und roboterassistierte Technik. Am präzisesten wurde dabei der Roboter gewertet, wobei sich jedoch kein Unterschied im funktionellen oder klinischen Ergebnis zeigte. Außerdem sahen die Autoren die hohen technologischen Kosten kritisch.

Gestützt werden die Erkenntnisse beim unikompartimentellen Knieersatz durch Xu et al. [4], die 14 Artikel mit 852 Kniegelenken untersucht haben. Auch wenn die Navigation bessere radiologische Ergebnisse als die konventionelle Technik erbrachte, so zeigte sich kein signifikanter Unterschied bezüglich der Komplikationsrate bei um 10,63 min längerer Operationszeit als mit konventioneller Technik. Bei den funktionellen Ergebnissen wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

#### Knie-Totalendoprothetik

Sheridan et al. [5] haben auch für navigierte Knie-Totalendoprothesen (K-TKP) längere Operationszeiten (97,6 min) im Vergleich zur konventionellen K-TKP (87 min) beobachtet, d.h. ebenfalls um etwa 10 min länger. Radiologisch waren femorale und tibiale Komponenten, sowohl in der koronaren als auch in der sagittalen Ebene

nach Navigation exakter ausgerichtet. Die funktionellen Ergebnisse sind zwischen der navigierten und konventionellen Gruppe ähnlich, wobei es sich hier aber um eine kurzzeitige Nachbeobachtung gehandelt hat.

Eine aktuelle Metaanalyse [6] konnte 73 randomisierten kontrollierten Studien mit insgesamt 4209 Knie-Totalendoprothesen einschließen. Auch hier wurden die Gruppen konventioneller, navigierter, patientenspezifisch-instrumentierter und roboterassistierter Technik verglichen, aber mit Fokus auf den totalen Kniegelenkersatz. Navigation und Roboter konnten dabei das Auftreten von Malalignment und Malpositionierung im Vergleich zu PSI und konventioneller Technik erheblich reduzieren. Hinzu kommt, dass bei der Navigation mittel- und langfristig höhere Werte im Knee Society Score (KSS) erzielt werden konnten als mit konventioneller Technik. Verhalten zeigten sich die Autoren aber hinsichtlich der klinischen Signifikanz für die postoperativen Ergebnisse im Vergleich aller 4 Techniken.

Die Gruppe um Bouché et al. [7] hat anhand von 90 randomisierten kontrollierten Studien mit 9389 Patientinnen und Patienten bzw. 10336 Kniegelenken (Durchschnittsalter 68,8 Jahre) ebenfalls die Gruppen konven-

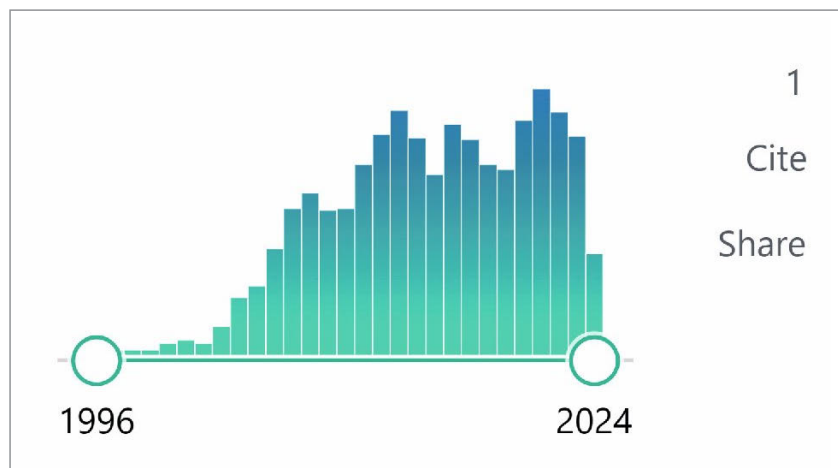
tioneller, navigierter, patientenspezifisch-instrumentierter und roboterassistierter Technik beim totalen Kniegelenkersatz verglichen. Der Outcome-Fokus lag bei den Patientinnen und Patienten mit einem Malalignment des HKA-Winkels (Hip-Knee-Ankle, Hüfte-Knie-Sprunggelenk; definiert  $> 3^\circ$  vom neutralen Winkel) sowie im KSS und im Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) 6 Monate nach der Operation. Die Navigation führte dabei zwar zu etwa 10 % weniger Patientinnen und Patienten mit HKA-Ausreißern von mehr als  $3^\circ$ , jedoch resultierte dies nicht in einer Verbesserung der Outcomeparameter. Daher hat die Arbeitsgruppe hinterfragt, ob die mit der Navigation verbundenen erhöhten Kosten und lernkurvenbedingten längeren Operationszeiten gerechtfertigt sind – bis bessere Überlebensraten bzw. Outcomeparameter nachweislich zu verzeichnen sind.

Ihre Erkenntnisse werden ebenfalls durch eine ähnliche Analyse von Shihab et al. [8] gestützt, wonach die Navigation in der Knieendoprothetik als erfolgreiche Methode zur Erhöhung der Präzision und Genauigkeit zur Wiederherstellung der mechanischen Achse betrachtet wird. Darüber hinaus wurde aber keine Verbesserung des Outcomes belegt.

Lee et al. [9] richteten ihre Metaanalyse diesbezüglich auf das mittel- und langfristige Outcome hinsichtlich des Vergleiches von konventioneller und navigierter Knieendoprothetik aus. Sieben randomisierte kontrollierte Studien wurden eingeschlossen. Bezüglich KSS und WOMAC-Score, Schmerzen, Bewegungsumfang und radiologischer Parameter gab es keine signifikanten Unterschiede in den klinischen Ergebnissen zwischen den beiden Techniken.

In der Datenerhebung von Chin et al. [10] bei 24 prospektiv-randomisierten kontrollierten Studien mit 3778 Kniegelenken wurde hingegen eine gewisse Überlegenheit der Navigation im Vergleich zur konventionellen Prothetik anhand der Knee Society Knee Score (KSKS)  $> 5$  Jahre angedeutet.

Hingegen beschreiben Rhee et al. [11] bei 9 randomisierten kontrollierten Studien mit einem mittleren Follow-up von über 8 Jahren, dass die na-



**Abbildung 1** Es zeigt sich eine deutliche Zunahme der PubMed®-Artikel zum Jahrtausendwechsel. Somit blicken wir auf über 2 Jahrzehnte Erfahrung mit der Navigation in der Knieendoprothetik zurück

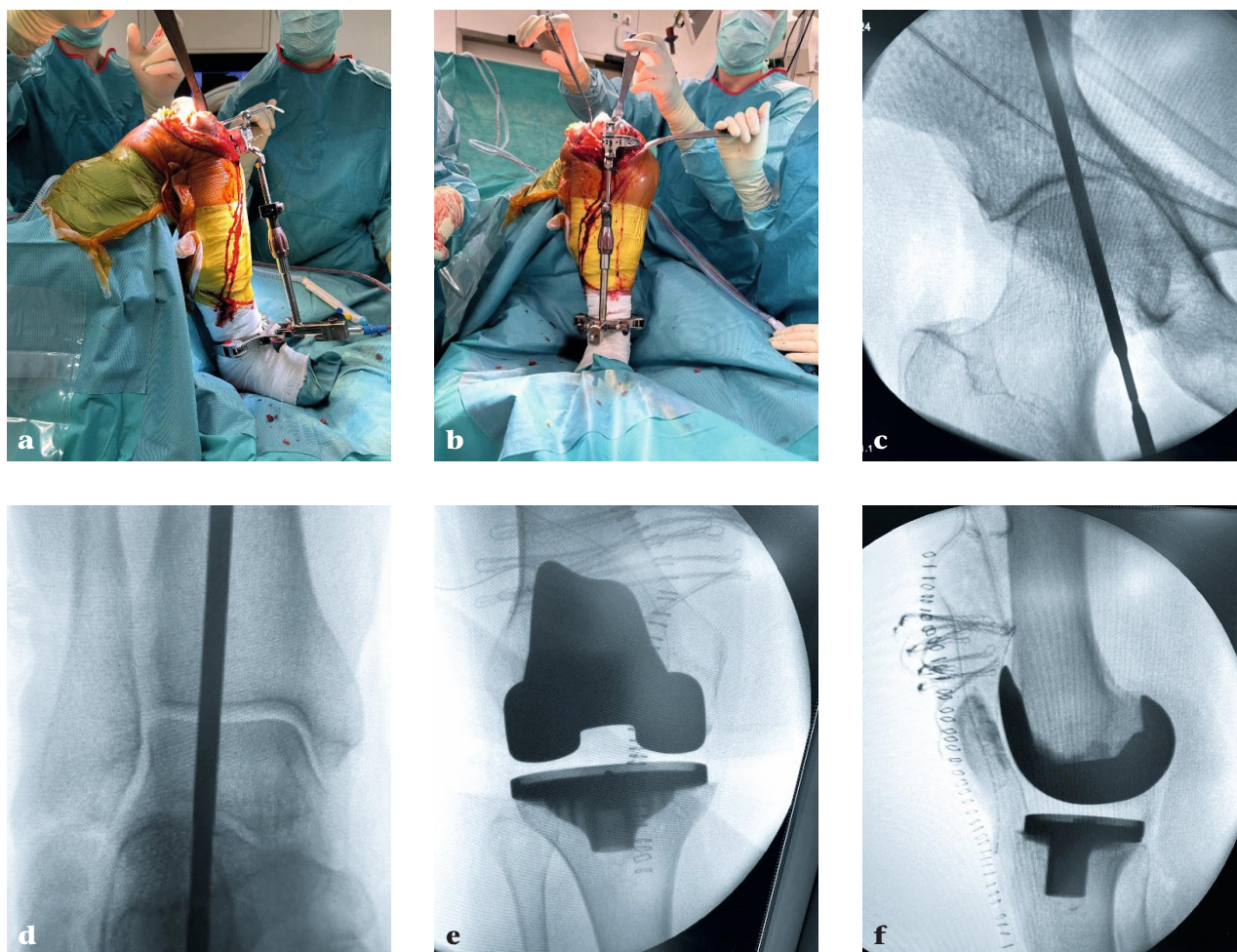
vigierte Knie-Totalendoprothetik zu besseren Ergebnissen bei der postoperativen Komponentenausrichtung führt als die konventionelle Knie-Totalendoprothetik: Sowohl das sagittale Alignment der femoralen Komponente (Risikoverhältnis [RR] 0,69; [95 %-Konfidenzintervall (KI), 0,51–0,93];  $p = 0,02$ ) als auch die koronare Ausrichtung der tibialen Komponente (RR 0,75 [95 %-KI, 0,60–0,95];  $p = 0,02$ ) waren der konventionellen Technik überlegen. Jedoch unterscheiden sich die funktionellen Ergebnisse zwischen beiden Methoden nicht signifikant: Sowohl hinsichtlich der Revisionsrate als auch der Häufigkeit aseptischer Lockerungen gab es keine Unterschiede.

Entgegen der o.g. Ergebnisse verweisen Bähis et al. [12] u.a. auf das Australische Endoprothesenregister, das auf Daten von rund 17 Jahren zurückgreifen kann. Die Revisionsrate hinsichtlich aseptischer Lockerung ist in der computerassistierten Gruppe signifikant niedriger, was man schon nach 6 Monaten postoperativ belegen könne. Auch wenn die Autoren die navigierte Endoprothetik daher als Goldstandard zur Vermeidung von Fehlpositionierung der Prothesenkomponenten sehen und den Einfluss auf das Outcome aufzeigen, so stellen sie hinsichtlich der roboterassistierten Chirurgie fest, dass diesbezüglich die enormen Mehrkosten noch gerechtfertigt werden müssten und etwaigen Vorteile zu belegen wären.

Die Gruppe um Kim et al. [13] gelangte zur Erkenntnis, dass der Einsatz intraoperativer Technologie bei der Knieendoprothetik nicht mit einer Verringerung der postoperativen Schmerzen verbunden ist. Dabei beleuchteten sie 31 Studien mit insgesamt 761.300 Knieendoprothesen, davon manuell  $n = 753.554$ , navigiert  $n = 1.309$  und roboterassistiert  $n = 6437$ .

Schließlich muss in dieser Arbeit auch die Studie um Matar et al. genannt werden [14]. Diese gibt eine Übersicht zu 403 randomisierten kontrollierten Studien zur Knieendoprothetik ( $n = 47.675$ ). Dabei ließen sich die Studien gliedern in Themen des chirurgischen Vorgehens ( $n = 34$ ), Tourniquet ( $n = 31$ ), minimalinvasive Chirurgie ( $n = 13$ ), patientenspezifische Instrumentierung ( $n = 30$ ), Kniendesign ( $n = 37$ ), Fixierung ( $n = 27$ ), mobile Bearing ( $n = 47$ ), Navigation ( $n = 50$ ), Polyethylene ( $n = 19$ ), Technik ( $n = 27$ ), Patellaresurfacing ( $n = 26$ ), Drainage ( $n = 19$ ), Verschluss ( $n = 16$ ) sowie 27 andere RCTs. Ihre zusammenfassende und für die computerassistierte Chirurgie ernüchternde Erkenntnis lautet, dass bei der überwiegenden Mehrheit der Patientinnen und Patienten eine standardmäßige konventionelle Knieendoprothese mit einem der Chirurgen oder dem Chirurgen vertrauten chirurgischen Vorgehen unter Verwendung bewährter Standardkomponenten, mit oder ohne Tourniquet, ohne chirurgische Drainage, zu zufriedenstellenden langfristigen klinischen Ergebnissen führt.

Abb. 1 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/> (Suchbegriffe: „navigation knee arthroplasty“; (Abrufdatum: 22.06.2024)



**Abbildung 2** Konventionelle Implantation einer Knie-Totalendoprothese mit intraoperativer, klinisch und radiologisch kontrollierter Ausrichtung der Schnittrichtung

### Zusammenfassung

Bei der navigierten Knieendoprothetik wird im Vergleich zur konventionellen Technik in einigen Studien eine exaktere Komponentenausrichtung beschrieben, insbesondere Ausreißer werden reduziert. Obgleich es auf der Hand läge, dass eine exaktere Komponentenausrichtung entlang einer rekonstruierten Beinachse zu einem verbesserten klinischen Outcome und zur längeren Standzeit der Prothese führt, so werden diesbezüglich selbst in den jüngsten Metaanalysen der letzten 5 Jahre keine Unterschiede gefunden und somit kontroverse Diskussionen geführt [15] – gar Lanzen für die konventionelle Methodik in geübter Hand gebrochen (Abb. 2) [14]. So hat auch eine aktuelle Studie gezeigt, dass die intrameduläre Ausrichtung ebenso genaue Ergebnisse liefert; Ausreißer sind hingegen bei patientenspezifischen Ausrichtehil-

fen zu finden [16]. Schließlich sind auch Aspekte der erforderlichen Lernkurve und der verlängerten Operationszeiten sowie des erhöhten organisatorischen Aufwands unabhängig vom unikompartimentellen oder Total-Kniegelenkersatz zu berücksichtigen. Neben Pin-Komplikationen, auf die wir in vorliegender Arbeit nicht eingegangen sind, schrecken auch die hohen Anschaffungskosten von der Einführung der Navigation ab. Ökonomisch noch teurer und damit im besonderen Maße an einen entsprechenden Hersteller bindend, ist die Robotik, welche den nächsten Evolutionsschritt darstellt – abgesehen davon, dass sich auch diese erst hinsichtlich ihres Benefits wissenschaftlich beweisen muss.

**Interessenkonflikte:**  
Keine angegeben.

**Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie auf:**  
[www.online-oup.de](http://www.online-oup.de).



Foto: Klinikum Ingolstadt

**Korrespondenzadresse**  
Athanasios Karras, M. Sc.  
Klinikum Ingolstadt  
Zentrum für Orthopädie und  
Unfallchirurgie  
Krumenauerstraße 25  
85049 Ingolstadt  
[athanasios.karras@klinikum-ingolstadt.de](mailto:athanasios.karras@klinikum-ingolstadt.de)

Marcel Betsch, Mario Perl, Joshua Kubach, Mario Pasurka

# Roboterassistierte Knieendoprothetik

## Aktueller Stand, klinische Ergebnisse und Zukunftsaussichten

### Zusammenfassung:

Der roboterassistierte Oberflächenersatz des Kniegelenkes (R-TKA) hat sich als transformative Technologie in der Orthopädie etabliert und bietet möglicherweise im Vergleich zu herkömmlichen Methoden eine verbesserte Präzision, bessere klinische Ergebnisse und höhere chirurgische Effizienz. Diese Arbeit gibt einen detaillierten Überblick über die technologischen Grundlagen, klinischen Vorteile und zukünftigen Entwicklungen der R-TKA. Die aktuelle Evidenz zeigt, dass R-TKA zu einer überlegenen Implantatpositionierung, reduzierten postoperativen Schmerzen und verbesserten funktionellen Ergebnissen führt. Dennoch müssen Herausforderungen wie Kosten, Lernkurve und technologische Abhängigkeit bewältigt werden, um eine breitere Akzeptanz zu erreichen.

### Schlüsselwörter:

Knieendoprothetik, robotergestützte Knieendoprothetik, computergestützte Chirurgie, Arthrose

### Zitierweise:

Betsch M, Perl M, Kubach J, Pasurka M: Roboterassistierte Knieendoprothetik. Aktueller Stand, klinische Ergebnisse und Zukunftsaussichten  
OUP 2024; 13: 230–235  
DOI 10.53180/oup.2024.0230-0235

### Einleitung

Die Implantation eines bikondylären Oberflächenersatzes (TKA) zählt zu den erfolgreichsten operativen Eingriffen in der Medizin, da sie zu einer Schmerzlinderung und Wiederherstellung der Kniegelenksfunktion führt. Trotz Weiterentwicklungen des Prothesendesigns und der Implantationstechniken berichten zwischen 15 und 25 % der Patientinnen und Patienten über persistierende Schmerzen nach einem endoprothetischen Ersatz des Kniegelenks oder sind mit den Ergebnissen der konventionellen totalen Kniearthroplastik (C-TKA) unzufrieden [1].

Um die Langlebigkeit der Prothese und die Funktion des Kniegelenks zu verbessern, ist vor allem eine neutrale Ausrichtung der Beinachse von entscheidender Bedeutung [2]. Nach

C-TKA treten in bis zu 30 % der Fälle Achsfehlstellungen in der Frontalebene von mehr als 3° auf. Diese Abweichungen können ein entscheidender Faktor für anhaltende Beschwerden und Patientenunzufriedenheit sein [2]. Um eine höhere Präzision bei der Ausrichtung und Platzierung der Prothesenkomponenten zu erzielen, haben sich zunehmend computergestützte Verfahren etabliert. Bei der navigierten Implantation einer Knieendoprothese erhält die Operateurin/der Operateur durch Infrarot- (IR) oder elektromagnetische (EM) Signale Rückmeldung über die geplante Knochenresektion und die Implantatpositionierung. Verglichen mit der C-TKA zeigten sich jedoch für diese navigierten Techniken keine signifikante Verbesserung der Prothesenstandzeit und der Patientenzufriedenheit [3].

Die Implementierung von roboterassistierten Systemen soll die Inzidenz von persistierenden Knieschmerzen nach der Implantation einer TKA reduzieren, die funktionellen Ergebnisse der Patientinnen und Patienten weiter verbessern und die Standzeiten der Prothesen verlängern (Abb. 1).

Neben aktiven autonomen Systemen existieren semi-aktive Systeme mit haptischem Feedback sowie passive Systeme, die kontinuierlich von der Operateurin/dem Operateur gesteuert werden [4]. Dadurch sollen fehlerhafte Planungen, ungenaue Knochenschnitte, mangelnde Balancierung der Weichteile und eine Fehlpositionierung der Implantate vermieden werden [4]. In der aktuellen Literatur zeigen sich hierzu jedoch noch uneinheitliche und widersprüchliche Daten. Trotz einer Verbesserung der Kom-

# Robotic-assisted total knee arthroplasty

## Current status, clinical results and future prospects

**Summary:** Robotic-assisted total knee arthroplasty (R-TKA) has emerged as a transformative technology in orthopedic surgery, potentially offering improved precision, better clinical outcomes and higher surgical efficiency compared to traditional methods. This work provides a detailed overview of the technological basis, clinical advantages and future developments of R-TKA. Current evidence suggests that R-TKA results in superior implant positioning, reduced postoperative pain and better functional outcomes. However, challenges such as high costs, associated learning curve and technological dependency need to be addressed to achieve wider adoption.

**Keywords:** knee arthroplasty, robotic-assisted knee arthroplasty, computer-assisted surgery, osteoarthritis

**Citation:** Betsch M, Perl M, Kubach J, Pasurka M Robotic-assisted total knee arthroplasty. Current status, clinical results and future prospects  
OUP 2024; 13: 230–235. DOI 10.53180/oup.2024.0230-0235

ponentenausrichtung [5] und einer Reduktion von Fehlern bei der mechanischen Achsausrichtung [6, 7], wurden bisher keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des langfristigen klinischen Outcomes festgestellt [5–7]. Ziel dieser Studie ist es, den aktuellen Stand der verschiedenen robotischen Systeme, die derzeit in der klinischen Praxis verwendet werden, zusammenzufassen, deren klinischen Nutzen und potenziellen Vorteile zu analysieren und zukünftige Perspektiven im Bereich der Robotik darzustellen.

### Methoden

Diese Studie präsentiert eine Übersichtsarbeit über die Anwendung der roboterassistierten Knieendoprothetik (R-TKA). Im Juli 2024 wurde eine systematische Literaturrecherche in 4 bedeutenden Datenbanken (PubMed, Web of Science, Google Scholar und Embase) unter Verwendung spezifischer Schlüsselbegriffe wie „Total knee arthroplasty“, „TKA“, „robotic surgery“, „computer-assisted orthopedic surgery“, „robotic-assisted total knee arthroplasty“, „surgical navigation system“ und „conventional“ durchgeführt. Die eingeschlossenen Artikel wurden auf englisch- und deutschsprachige Publikationen der letzten 10 Jahre begrenzt, was zu insgesamt 266 identifizierten Studien führte. Für unsere Analyse wurden ausschließlich vergleichende kli-

nische Studien zwischen primärer roboterassistierter TKA (R-TKA) und konventioneller TKA (C-TKA) berücksichtigt. Diese Studien untersuchten radiologische und klinische Ergebnisse sowie Überlebens- und Komplikationsraten (18 Studien). Nicht eingeschlossen wurden Fallserien und Case-Reports. Ebenfalls ausgeschlossen wurden Studien zur unikompartimentellen und zur Revisions-Kniearthroplastik.

### Arten von Robotersystemen

Die in der Knieendoprothetik verwendeten Robotersysteme können in 2 Hauptkategorien unterteilt werden: aktive und semi-aktive Systeme. Aktive Systeme führen die chirurgischen Schritte autonom aus, basierend auf präoperativen Planungsdaten. Semi-aktive Systeme hingegen unterstützen die Chirurgin/den Chirurgen durch präzise geführte Bewegungen, wobei die Chirurgin/der Chirurg die Kontrolle behält. Die präoperative Bildgebung, präzise intraoperative Planung und roboterassistierte Ausführung sind dabei in den chirurgischen Workflow integriert. Die verschiedenen Systeme bieten unterschiedliche Ansätze zur Verbesserung der chirurgischen Genauigkeit und Anpassungsfähigkeit (Abb. 2).

Zu den führenden Systemen gehören das Mako Surgical System (Stryker, Kalamazoo, MI, USA) (Abb.

2), der Omnicot (Corin, Tampa, FL, USA), das Cori Surgical System (Smith and Nephew, London, UK), Velys (DePuy Synthes, Warsaw, IN, USA) und das ROSA Knee System (ZimmerBiomet, Warsaw, IN, USA). Beim Mako Surgical System wird eine CT-basierte Planung und haptisches Feedback zur geführten Knochenresektion verwendet, während beim Cori Surgical System die handgeführte Robotik mit bildfreier Registrierung abläuft. Letzteres erlaubt hierbei eine höhere Flexibilität während der Operation. Das ROSA Knee System kombiniert 3D-präoperative Planung mittels Röntgenbildern mit Echtzeit-intraoperativen Daten, um eine optimale Implantatpositionierung und -ausrichtung zu gewährleisten. Beim Velys System handelt es sich um ein bettgestütztes, relativ schmales, bildfreies Gerät, das intraoperative knöcherne Orientierungspunkte erkennt und endgültige Schätzungen der Knochenschnitte und der Bandspannung liefert. Dies stellt sicher, dass das erwartete Weichteilgleichgewicht vor den Knochenschnitten bestimmt wird. Der Omnicot erfordert keine präoperative Bildgebung. Führungsschablonen werden nach dem tibialen Schnitt angebracht. Durch einen Laminarspalter war er der erste Roboter, der Schätzungen zur Weichteilbalancierung lieferte und die femoralen Schnitte entsprechend anpasste.

Abb. 1–5 M. Betsch


**Abbildung 1a, b** Aufbau und Kalibrierung des OP-Roboters

### Präoperative Planung und intraoperative Ausführung

Der Einsatz von computergestützten Algorithmen zur präoperativen Planung ermöglicht es, Operationen individuell und patientenspezifisch zu planen und durchzuführen. Ein wesentlicher Bestandteil der roboterassistierten Knieendoprothetik sind bildgebende Verfahren wie CT, Röntgenaufnahmen oder MRT, die eine detaillierte präoperative Planung ermöglichen. Mit Hilfe der erhobenen Daten wird ein 3D-Modell des Kniegelenks erstellt, wodurch eine sorgfältige Kartierung anatomischer Landmarken sowie eine umfassende Operationsimulation ermöglicht wird (Abb. 3).

Dieser Schritt erleichtert präzise Knochenschnitte und verbessert die optimale Implantatpositionierung. Es ist jedoch anzumerken, dass nicht alle derzeit verfügbaren Systeme eine präoperative Bildgebung erfordern. Durch Echtzeit-Feedback während der Operation gewährleisten Robotersysteme eine präzise Einhaltung des erstellten präoperativen Plans. Der Roboterarm oder das handgeführte Gerät leiten den Operateur bei den Knochenschnitten und der genauen Implantatausrichtung (Abb. 4). Dies soll helfen, menschliche Fehler zu reduzieren und somit zu konsistenteren Ergebnissen zu führen. Durch die intraoperative Navigation erfolgt zudem eine dynamische Anpassung an die individuellen anatomischen Gegebenheiten der Patientin/des Patienten,

wodurch die Gesamtgenauigkeit und Effizienz des Verfahrens erhöht werden (Abb. 5).

### Klinische Ergebnisse

#### Klinische Scores (PROMs)

Das klinische Outcome, gemessen an verschiedenen klinischen Scores, zeigt sich postoperativ nach Implantation einer TKA sowohl für R-TKA, als auch für C-TKA im Vergleich zu den präoperativen Scores deutlich verbessert. Die in der aktuellen Literatur am häufigsten verwendeten klinischen Scores oder „patient reported outcome measurements“ (PROMs) zur Erhebung von Schmerzen sowie klinischen und funktionellen Daten sind der Visual Analogue Score (VAS), der Knee Society Score (KSS, Subcore Schmerz und Funktion), der Hospital for Special Surgery (HSS) Score, und der Western Ontario und McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC). Durch die erhöhte Präzision bei der Platzierung der Prothese werden bei der R-TKA Weichteilverletzungen minimiert und eine schnellere Regeneration erleichtert. Einige Studien zeigen eine Überlegenheit der R-TKA gegenüber der C-TKA im kurzzeitigen postoperativen Verlauf (1–2 Monate nach der Operation) [8, 9]. Dies führt zu einer schnelleren Wiederaufnahme alltäglicher Aktivitäten und einer insgesamt verbesserten Lebensqualität für die Patientinnen und Patienten. In einer Metaanalyse aus 2022 zeigten

sich höhere, jedoch nicht signifikante Kurzzeitergebnisse der R-TKA im Vergleich zur C-TKA bei gleichzeitig höherer Genauigkeit der Implantatpositionierung [10]. Jedoch existieren ebenso Studien, welche vergleichend keine verbesserten kurzzeitigen klinischen Ergebnisse der R-TKA zeigen [5–7]. Qualitativ hochwertige randomisierte kontrollierte Studien berichteten zudem sowohl im kurzfristigen, als auch langfristigen Nachbeobachtungszeitraum über 10 Jahre über keine signifikanten Unterschiede in den klinischen Ergebnissen zwischen R-TKA und C-TKA [11–15].

#### Bewegungsumfang Kniegelenk

Im Vergleich zu C-TKA führt die R-TKA zu einem geringeren Verlust des Bewegungsumfanges (ROM) unmittelbar nach der Operation und einer schnelleren Wiederherstellung des Bewegungsumfanges nach der Operation [9, 16, 17]. Ali et al. berichteten über einen signifikanten Unterschied im prä- versus postoperativen Bewegungsumfang 3, 6 und 12 Monate nach R-TKA im Vergleich zu C-TKA [17]. Es existieren jedoch auch vergleichende Studien, welche keine Vorteile der R-TKA im Vergleich zur C-TKA bezüglich postoperativer ROM beschreiben [6]. Im Langzeit-Follow-up bis zu 10 Jahren ist die postoperative Beweglichkeit des Kniegelenkes sowohl bei robotischer, als auch bei konventioneller TKA im Vergleich zum präoperativen Status deutlich verbessert, es wurden

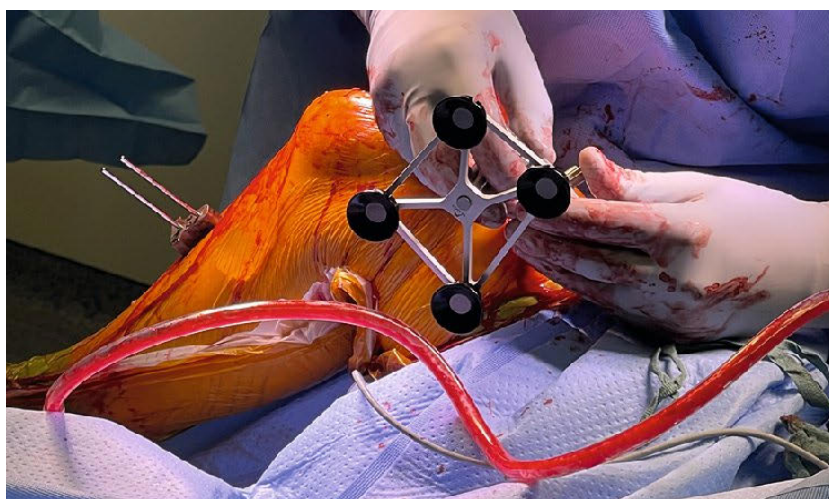
jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Verfahren beschrieben [11, 18].

### Radiologische Ergebnisse (Implantatpositionierung und -ausrichtung)

Die korrekte Ausrichtung der Implantate ist entscheidend für die Langlebigkeit und Funktion einer Prothese. R-TKA verbessert die Genauigkeit der Implantatpositionierung und -ausrichtung und ist der C-TKA bei der Wiederherstellung der tibiofemorale und mechanischen Achse überlegen [5–7]. Die verbesserte Präzision bei der Implantatplatzierung trägt maßgeblich dazu bei, die biomechanische Funktion des Kniegelenks zu optimieren und dadurch die langfristige Haltbarkeit des Implantats zu gewährleisten. Die Datenlage ist hier jedoch zum Teil sehr heterogen. Mehrere Studien zeigen, dass roboterassistierte Verfahren zu konsistenteren und präziseren Ergebnissen führen, jedoch zeigte sich der Unterschied oft nicht signifikant und es gibt keinen Unterschied in der Rotationsausrichtung der femoralen Komponente gegenüber der transepi-kondylären Achse oder der Rotation der tibialen Komponente [5–7, 12, 15, 19, 20].

### Komplikationsraten

In Bezug auf die Komplikationsraten zwischen R-TKA und C-TKA zeigen sich größtenteils keine signifikanten Unterschiede. Eine vermutete erhöhte Rate an R-TKA-spezifischen Komplikationen wie Pin-Frakturen und Pin-Infektionen konnte in der Literatur nicht bestätigt werden [7]. Einige Studien berichteten über eine niedrigere Rate an allgemeinen Komplikationen wie Anämie, tiefe Venenthrombose und Lungenembolie nach R-TKA im Vergleich zu C-TKA, jedoch zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Bezug auf aseptische Lockerung oder postoperative Wundinfektionen [5, 6, 12, 19]. Langzeit-Follow-up-Studien berichteten über eine periimplantäre Osteolyse von 5–7 % ohne signifikanten Unterschied zwischen R-TKA und C-TKA über einen Zeitraum von bis zu 12 Jahren [12, 20]. Ebenso gibt es keine Unterschiede bezüglich der Revisionsrate bei aseptischer Lockerung. Die kumulative



**Abbildung 2** Einbringen von Steinmann-Pins zur Fixierung der Referenzantennen mit reflektierenden Markern

Überlebensrate ohne septische Revisionen liegt zwischen 97,4 % und 96,6 %, ohne statistisch signifikanten Unterschiede im 10-Jahres-Follow-up [11, 12, 21].

### Operationsdauer

Durch zusätzlich benötigte Schritte zu Beginn der R-TKA liegt die Operationsdauer, vor allem bei noch unerfahrenen Operateurinnen und Operateuren, womöglich über der Dauer der C-TKA. So werden vereinzelt in der Literatur auch längere Zeiten mit durchschnittlich 25 Minuten mehr angegeben [6]. Durch eine steile Lernkurve mit den R-TKA-Systemen gleicht sich diese im Verlauf jedoch an. Nur wenige Level-I-Studien berichteten über Unterschiede in der Operationszeit zwischen R-TKA und C-TKA. Die durchschnittliche Operationsdauer für R-TKA betrug  $74,50 \pm 22,08$  min, was der Operationszeit der C-TKA-Gruppe entsprach ( $71,74 \pm 20,63$  min) [19].

### Kostenanalyse

Die Anschaffung und der Betrieb von Robotersystemen sind mit hohen Kosten verbunden. Dies stellt eine bedeutende Hürde für viele Krankenhäuser dar, insbesondere für kleinere Einrichtungen und Gesundheitssysteme mit begrenzten Ressourcen in weniger entwickelten Ländern. Durch die Verwendung von R-TKA können jedoch auch Kosten gesenkt werden. Innerklinisch zeigt sich dies durch kürzere Krankenhausaufenthalte und geringe-

re Wiederaufnahmeraten. Außerhalb der Klinik können zudem Kosten durch eine geringere Notwendigkeit der Inanspruchnahme von Pflegeeinrichtungen reduziert werden [22]. Auch wenn die langfristigen Kosten durch potenziell reduzierte Revisionsraten und bessere Patientenergebnisse gesenkt werden könnten, bleibt die initiale Investition eine Herausforderung. Die aktuelle Literatur liefert jedoch erste Hinweise, dass die R-TKA durch verbesserte PROMs, kürzere Krankenhausaufenthalte, geringeren Schmerzmittelverbrauch sowie höheren Raten an Entlassungen nach Hause, kombiniert mit reduzierten Wiederaufnahmeraten, das Potenzial hat, die initial hohen Kosten im Verlauf wieder auszugleichen [22–24].

### Diskussion

Es stehen auf dem Markt mittlerweile einige Robotersysteme für die Knieendoprothetik zur Verfügung. Dadurch steigt deren klinischer Einsatz und zunehmend nimmt auch das Forschungsinteresse an der R-TKA zu [25]. Trotz vieler berichteter Vorteile der R-TKA ist die Datenlage insgesamt heterogen. Sowohl die C-TKA, als auch die R-TKA bieten bei konservativ behandelter Gonarthrose ein effektives Verfahren zur Schmerzlinderung und zum Funktionsgewinn. Da nach C-TKA weiterhin bis zu 20 % der Patientinnen und Patienten über oft unklare Kniebeschwerden klagen [1, 26], besteht weiterhin großes Interesse an



**Abbildung 3 a** Abtasten der knöchernen Oberfläche mittels Taster zur Verifizierung des radiologischen 3D-Modells; **b** 3D-Planung der Prothesenposition und der geplanten Schnittebenen

einer Optimierung der Operation. Es wird angenommen, dass ein Grund dieser Beschwerden in Abweichungen und Ungenauigkeiten der Implantatpositionierung und Ausrichtung bei C-TKA besteht [2]. Durch Optimierung dieser Faktoren könnte die R-TKA die Häufigkeit anhaltender postoperativer Beschwerden lindern. Die potenziellen Vorteile der R-TKA liegen vor allem in der höheren Präzision und Reproduzierbarkeit des Verfahrens und der dadurch verbundenen Minimierung der Fehlerquellen und Weichteilverletzungen [8]. Dies kann zu geringeren postoperativen Schmerzen, einem erhöhten Bewegungsausmaß sowie reduzierten Krankenhausaufenthalten führen [8, 9, 27]. Insbesondere die Schmerzreduktion, das reduzierte Weichteiltrauma und ein erhöhtes Bewegungsausmaß sind wahrscheinlich auf die exaktere Komponentenpositionierung der R-TKA zurückzuführen und verbessern so die Patientenzufriedenheit nach dem Eingriff [16, 28]. Während viele Studien eine Überlegenheit der R-TKA gegenüber der C-TKA, vor allem hinsichtlich der Implantatpositionierung und Ausrichtung sowie der kurzfristigen klinischen Parameter berichten, zeigen Langzeitergebnisse in der aktuellen Literatur klinisch keinen signifikanten Vorteil der R-TKA gegenüber der C-TKA [11–15]. Da die robotergestützten Verfahren jedoch einem stetigen Fortschritt unterliegen und Langzeit-

studien nicht die aktuellsten Technologien beinhalten, bieten neuere Entwicklungen das Potenzial, ein verbessertes Outcome zu erreichen. Neue Langzeitstudien mit den aktuellsten Systemen der R-TKA sind notwendig, um deren tatsächlichen Nutzen über einen längeren Zeitraum hinweg zu beurteilen und die langfristige Wirksamkeit und Patientenzufriedenheit umfassend bewerten zu können.

Trotz der Vorteile in bestimmten Bereichen, bestehen auch Herausforderungen in der Nutzung robotergestützter Verfahren. Insbesondere in der praktischen Anwendung können technische Probleme mit den Systemen zu zeitlichen Verzögerungen führen. Zudem können anatomische Varianten die präoperative Planung komplizieren. Um diesen Herausforderungen gewachsen zu sein, bedarf es eines erfahrenen chirurgischen Teams mit Anpassungsfähigkeit während der Operation. Zudem werden z.T. spezielle Komplikationen der R-TKA, wie Pin-Frakturen und Pin-Infektionen berichtet [29], welche in anderen Studien jedoch bisher nicht bestätigt werden konnten [7].

Ein häufig diskutiertes Thema ist eine möglich verlängerte Operationszeit der R-TKA, welche von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Neben zusätzlichen Schritten bei der Operation (erste Einrichtung, Einsetzen der Pins und Kalibrieren der Systeme) ist hier vor allem die Lernkurve entschei-

dend. Die vereinzelt berichtete längere Operationsdauer der R-TKA [6] kann womöglich durch eine steile Lernkurve im Verlauf an die Dauer der C-TKA angeglichen werden [19]. Um eine steile Lernkurve zu erreichen und mit den technologischen Fortschritten Schritt zu halten, benötigen Chirurgen und Chirurgen jedoch umfassende Schulungen, um die Robotersysteme effektiv zu nutzen.

Obwohl die Verwendung von roboterassistierten Systemen potenziell Kosteneinsparungen ermöglicht [22–24] stellen hohe Anschaffungskosten weiterhin eine Herausforderung für viele Kliniken dar. Um den weltweiten Zugang zur roboterassistierten Knieendoprothetik zu erweitern, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Kosten zu reduzieren und die Technologie in verschiedene Gesundheitssysteme integrieren zu können. Dies könnte durch technologische Fortschritte, Skaleneffekte und gezielte Schulungsprogramme realisiert werden.

Die Technologie der roboterassistierten Chirurgie entwickelt sich kontinuierlich weiter. Neue Systeme und Software-Updates verbessern die Präzision der Implantatpositionierung und Ausrichtung, Benutzerfreundlichkeit sowie auch die Sicherheit der Verfahren. Die Abhängigkeit von fortschrittlicher Technologie lässt allerdings Bedenken hinsichtlich Gerätestörungen und des Bedarfs



**Abbildung 4 a, b** Nach Kalibrierung und Anpassung der Prothesenposition an die anatomischen Gegebenheiten kann mit den roboterassistierten Sägeschnitten begonnen werden.

an technischer Unterstützung aufkommen. Potenzielle technische Probleme müssen hierbei auch durch Chirurginnen und Chirurgen gelöst werden. Zusätzlich müssen Krankenhäuser und chirurgische Teams über die notwendige Infrastruktur und technische Unterstützung verfügen, um technologische Probleme schnell und effektiv lösen zu können.

Die Zukunft der R-TKA liegt in fortlaufenden technologischen Fortschritten und der Integration mit Künstlicher Intelligenz (KI) und maschinellem Lernen. Potenzielle Entwicklungen liegen hier vor allem in

der KI-unterstützten Planung, Nutzung von Big Data zur erweiterten Datenanalyse und Schaffung von intuitiveren und benutzerfreundlicheren Robotersysteme zur Reduzierung der Lernkurve. Eine Ausweitung der Robotik mit deren Grundprinzipien von Präzision und individualisierter Planung auf andere Bereiche der orthopädischen Chirurgie ist zu erwarten.

### Schlussfolgerung

Der roboterassistierten Knieendoprothetik (R-TKA) kommt in der Endoprothetik eine immer größere Bedeutung zu. Sie hat das Potenzial, die Positionierung der Implantate, die kurzfristigen Ergebnisse für die Patientinnen und Patienten sowie möglicherweise die Lebensdauer der Prothesen zu verbessern. Obwohl Herausforderungen und hohe Kosten bestehen, zeigen aktuelle Studien vielversprechende Ergebnisse. Die kontinuierliche technologische Entwicklung dürfte die Verbreitung und Effektivität dieser Technologie weiter vorantreiben. Weitere Studien und technologische Fortschritte sind erforderlich, um die Vorteile dieses innovativen Ansatzes in der Kniearthroplastik vollständig auszuschöpfen. Die Integration neuer Technologien und die kontinuierliche Verbesserung chirurgischer Techniken werden entscheidend sein für die breite Akzeptanz und den Erfolg der R-TKA. Langfristig könnte die roboterassistierte Chirurgie

einen neuen Standard in der orthopädischen Versorgung setzen und die Lebensqualität zahlreicher Patientinnen und Patienten weltweit verbessern.

### Interessenkonflikte:

Keine angegeben.

**Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie auf:**  
**[www.online-oup.de](http://www.online-oup.de)**



**Abbildung 5** Durch den Roboterarm kann nur innerhalb von Safe-Zones gesägt werden. Hierdurch wird das Risiko einer Weichteilverletzung minimiert.



Foto: privat

**Korrespondenzadresse**  
Univ.-Prof. Dr. med. Marcel Betsch,  
MHBA  
Fachbereich Orthopädie und  
Orthopädische Chirurgie  
Unfallchirurgische und  
Orthopädische Klinik  
Universitätsklinikum Erlangen  
Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg  
Krankenhausstr.12  
91054 Erlangen  
[marcel.betsch@uk-erlangen.de](mailto:marcel.betsch@uk-erlangen.de)

Philipp Traut

# Arthrofibrose und ihre Differenzialdiagnosen, Pathogenese- und Stadienmodell

## Konservative Therapie und Prävention

### Zusammenfassung:

Die Arthrofibrose (AF) gehört zu den häufigsten Komplikationen nach Verletzungen und operativen Eingriffen an Gelenken, vor allem nach Gelenk- und Kreuzbandersatz. Alle großen Gelenke können betroffen sein, am häufigsten jedoch das Kniegelenk. Es kommt zu einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung durch Vermehrung von fibrotischem Gewebe innerhalb und teilweise auch außerhalb des Gelenkes. Der normale Heilungsprozess ist durch mechanische und emotionale Stressoren sowie starke Schmerzreize gestört. Die AF tritt zu 90 % schon wenige Tage nach Verletzung oder Operation auf, sodass die Qualitätsstandards nicht erreicht werden können. Durch die übliche Physiotherapie und Rehabilitation kann oft keine wesentliche Verbesserung der Funktion erreicht werden, sodass die Aktivitäten des täglichen Lebens (ADL) stark eingeschränkt sind. Klinische Diagnostik, Differenzialdiagnostik und ein neues Pathogenese- und Stadienmodell der primären Arthrofibrose mit den daraus abgeleiteten therapeutischen Prinzipien und Möglichkeiten der Prävention werden vorgestellt.

### Schlüsselwörter:

Arthrofibrose, Endoprothetik, Kreuzbandersatz, Gelenksteifheit, Vernarbung, Verklebung

### Zitierweise:

Traut P: Arthrofibrose und ihre Differenzialdiagnosen, Pathogenese- und Stadienmodell. Konservative Therapie und Prävention  
OUP 2024; 13: 236–245  
DOI 10.53180/oup.2024.0236-0245

### Einleitung

Obwohl die Arthrofibrose nach jedem operativen Eingriff oder auch nach jeder Verletzung an großen und kleinen Gelenken schon unmittelbar nach dem Eingriff, vor allem nach Endoprothetik [4] und Kreuzbandchirurgie [2] oder einer Gelenkverletzung auftreten kann, vergeht aktuell im eigenen Patientengut im Mittel noch ein Zeitraum von etwa 9 Monaten bis zur Erstdiagnose, obwohl diese Heilungsstörung schon in der operierenden Klinik aufgrund der typischen Symptome und Beschwerden diagnostiziert werden könnte [28].

Problematisch ist weiterhin, dass die betroffenen Patientinnen und Pa-

tienten erstmals die Diagnose etwa zur Hälfte durch eigene Internetrecherche erfahren, zu 40 Prozent bei der Zweitmeinung und zum geringsten Teil vom Operateur selbst. Diese Tatsache erklärt die große Lücke zwischen Beginn der Erkrankung und der ersten kausalen konservativen Therapie. Die effektivste Behandlungszeit unmittelbar nach Beginn der Erkrankung, in der diese Heilungsstörung wieder in relativ kurzer Zeit normalisiert werden könnte, bleibt ungenutzt.

Häufig eingesetzte Narkosemobilisationen und Arthrolysen führen meist nicht zu einer langfristigen Besserung der Funktion. Oft führt dies so-

gar zu einer weiteren Verschlechterung im Sinne eines komplexen regionalen Schmerzsyndroms, (Complex Regional Pain Syndrome, CRPS), durch das die Normalisierung der Gelenkfunktion zusätzlich reduziert wird. Zunehmend werden diese chirurgischen Maßnahmen aufgrund der hohen Rezidivrate und der vorhandenen konservativen Alternativtherapien kritisch gesehen.

Auch der aktuell noch angestrebte Bundeseinheitliche Qualitätsstandard (BQS) einer Extension/Flexion von 0–0–90 Grad begünstigt ein mechanisch orientiertes Krankheitsverständnis ohne Berücksichtigung der individuellen biologischen Heilungsprozesse.

# Arthrofibrosis and its differential diagnoses, pathogenesis and staging model

## Conservative therapy and prevention

**Summary:** The development of an arthrofibrosis (AF) is reported as one of the most common complications of orthopedic operations with special emphasis on total knee replacement and anterior cruciate ligament reconstructions. Even though all joints may be involved, most cases involve the knee joint. Patients feel a painful decrease in the range of motion caused by fibrotic tissue formation within and outside the joint. The healing process is disturbed by mechanical and emotional stress and strong pain. Most AF cases show the typical symptoms of pain and decreased range of motion within the first days after surgery, causing failure to pass the quality standards. Physiotherapy and rehabilitation do not ameliorate symptoms, limiting activities of daily living (ADL). Clinical diagnosis, differential diagnosis and a novel pathogenetic- and staging model of primary arthrofibrosis with therapeutic principles and preventive measures are introduced in this article.

**Keywords:** Arthrofibrosis, total knee replacement, anterior cruciate reconstruction, stiffness, scar

**Citation:** Traut P: Arthrofibrosis and its differential diagnoses, pathogenesis and staging model.

Conservative therapy and prevention

OUP 2024; 13: 236–245. DOI 10.53180/oup.2024.0236-0245

se, sodass die postoperative Regeneration zusätzlich gestört wird. Durch schmerzhafte Dehnübungen wird die überschießende intraartikuläre fibrotische Gewebsvermehrung sogar noch durch Zytokin-Freisetzung gefördert.

Es werden aber auch Wege aufgezeigt, wie der Qualitätsstandard positiv genutzt werden kann, um vor Beginn der ambulanten und stationären Rehabilitation oder postoperativen Physiotherapie nach Entlassung aus der operierenden Klinik präventive Maßnahmen und frühe therapeutische Aktivitäten zur Verhinderung oder zur schnellen Besserung der Arthrofibrose einzuleiten. Dies könnte auch dem bisher ungelösten Problem der hohen Patientenunzufriedenheit nach Knieendoprothetik von etwa 20% zugutekommen [3].

### Aktuelles Krankheitsmodell

Im ärztlichen und physiotherapeutischen Bereich wird die Arthrofibrose üblicherweise als „Verklebung“ bezeichnet. Deshalb werden hauptsächlich mechanisch orientierte therapeutische Maßnahmen durchgeführt. Nicht immer bestehen ausreichende Kenntnisse über die biochemischen und biologischen Zusammenhänge dieser Heilungsstörung. Es wird durch intensive Physiotherapie mit postiso-

metrischen Dehnübungen und CPM-Schienen versucht, die nach einem operativen Eingriff eingetretene Bewegungseinschränkung mechanisch zu verbessern. Dies führt meist nicht zum erhofften Erfolg, sondern in vielen Fällen sogar zu einer Verschlechterung der Funktion mit starken Schmerzen trotz monatelanger Therapie. Dieses weit verbreitete „Verklebungsmodell“ sollte deshalb infrage gestellt werden.

Zusätzlich bestehen einige Mythen über den postoperativen Verlauf nach einer Knieoperation, die revidiert werden sollten. Auch nach einer erfolglosen Rehabilitation wird der/dem betroffenen Patientin/Patienten mitgeteilt, dass eine Heilung bis zu einem Jahr Zeit benötige, ohne die Ursache für den verzögerten Heilverlauf zu klären. Es wird zu Geduld und weiterem Üben geraten. Diese fehlende Diagnostik führt verständlicherweise zu einer hohen Unzufriedenheit der betroffenen Patientinnen und Patienten. Wenn nämlich keine Heilungsstörung und kein operatives Defizit vorliegen, ist die Funktion des operierten Gelenkes nach 6–8 Wochen zufriedenstellend, so dass die Aktivitäten des täglichen Lebens nicht mehr wesentlich eingeschränkt sind.

### Häufigkeit und Vorkommen

In der Literatur werden nach Knieoperationen Häufigkeiten von 1–13% angegeben [4]. Für die anderen Gelenke liegen keine Zahlen vor. Allgemein anerkannt ist in der deutschen Gesellschaft für Endoprothetik (AE) eine Rate von etwa 4–5% nach primären Kniegelenkersatz. Die jährlichen Neuerkrankungen der Arthrofibrose können in Deutschland somit auf etwa 30.000 geschätzt werden, allein 12.000 nach Implantationen von KnieTEPs. Frauen sind bei dieser Erkrankung deutlich häufiger betroffen als Männer, etwa im Verhältnis 3:2. Es sind 2 Häufigkeitsgipfel zu beobachten, zwischen 20 und 30 sowie 55 und 65 Jahren. Bei den jüngeren Patientinnen und Patienten handelt es sich im eigenen Kollektiv meist um Sportverletzungen mit Kreuzbandsatz und bei der älteren Gruppe um degenerative Veränderungen nach Einsatz einer Endoprothese.

### Zelluläres, zytokinbasiertes Krankheitsmodell

2015 ist ein neues Pathogenese-Modell der Arthrofibrose veröffentlicht worden, dass sich auf Ergebnisse aus der Fibroseforschung stützt (Abb. 1) [1, 6, 9, 10, 29]. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse können weitgehend

auf die Arthrofibrose übertragen werden. Dieses Krankheitsmodell berücksichtigt die zellulären und biochemischen Vorgänge während des Heilungsprozesses [29]. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Fibroblasten mechanisch sensibel sind und mechanischer Stress diese Zellen aktiviert sowie den natürlichen Zelltod (Apoptose) verhindert [10]. Dadurch kommt es zu einer starken Zell- und Bindegewebevermehrung. Dieses Gewebe wird bei der überwiegenden Mehrzahl der Betroffenen in sehr kurzer Zeit mit Schmerznerven versorgt. Dies erklärt die meist hohe Schmerzintensität bei der Mobilisation [14].

Neben dem mechanischen Stress konnte auch der emotionale Stress als Ursache für die Arthrofibrose erkannt werden. Stresshormone haben in der Zellkultur zu einer Vermehrung von kardialen Fibroblasten geführt [27]. Dies deckt sich mit einer amerikanischen-ungarischen Studie, in der man Veränderungen des Stoffwechsels und des Apoptoseverhaltens der Fibroblasten bei Patientinnen und Patienten mit Depression festgestellt hat [7]. Bei der Herzfibrose (Tako-Tsubo-Kardiomyopathie) ist bekannt, dass allein emotionaler Stress diese schwere oft sogar tödliche Erkrankung auslösen kann [22]. Auch bei Arthrofibrosepatientinnen und -patienten ist häufig eine emotionale Belastungssituation nachweisbar, die vielfache Ursachen haben kann. In seltenen Fällen kann auch mehrere Monate nach einem Gelenkersatz allein durch eine außerordentliche emotionale Belastung die Fibrosierung des Gelenkes ausgelöst werden (bspw. Suizidversuch im eigenen Patientengut).

Bei der schmerzhaften Dehnung des betroffenen Gelenkes wird auch der Neurotransmitter „Substanz P“ freigesetzt, der durch Aktivierung der Wachstumsfaktoren die Arthrofibrose verstärkt [13, 17].

Aufgrund der Fibroseforschung können somit 3 Faktoren mechanischer und emotionaler Stress sowie Schmerzen benannt werden, die zu einer möglichen Ausbildung der Arthrofibrose beitragen können. Auf dem Boden dieses Krankheitsmodells ist ein Therapiekonzept entwickelt worden, das die genannten Ursachen dieser Erkrankung berücksichtigt.

### Hypothetisches Stadienmodell der primären Arthrofibrose

Ähnlich wie beim CRPS-Syndrom ist ein Stadienverlauf der Arthrofibrose zu beobachten, der in dem hypothetischen Modell mit den klinischen, laborchemischen, histologischen und therapeutischen Besonderheiten beschrieben wird (Abb. 2). Es lassen sich ein Stadium der Proliferation (I), der Apoptose (II) und der Adhäsion (III) abgrenzen, das unterschiedliche therapeutische Maßnahmen erfordert.

#### Stadium I (Proliferation)

Im Stadium I kommt es durch die Zytokine TGF- $\beta$ 1 und PDGF zu einer Vermehrung der Fibroblasten und der extrazellulären Matrix, die im physiologischen Verlauf wieder in wenigen Tagen rückläufig ist. Bei Persistenz ist therapeutisch eine Reduktion der Zytokine und der Freisetzung der „Substanz P“ durch Verzicht auf schmerzhafte Dehnungsreize anzustreben, um die Apoptose der Myofibroblasten und den Abbau der fibrotischen extrazellulären Matrix durch MMPs zu fördern. Die Aktivität der Myofibroblasten kann zusätzlich off-label medikamentös durch Prednisolon und den nichtselektiven Betablocker Propanolol gedämpft werden [28].

In diesem Stadium sind chirurgische Maßnahmen wie Arthrolysen und Narkosemobilisationen mit einer hohen Rezidivrate belastet, da sie mit einem deutlichen mechanischen Stress und einer extremen Zytokin-Freisetzung verbunden sind [4, 5]. Nach einer kurzfristigen postoperativen Besserung der Funktion des betroffenen Gelenkes kommt es im weiteren Verlauf oft zu einer erneuten Verschlechterung.

#### Stadium II (Apoptose)

Durch eine konservative antifibrotische Therapie kann das Stadium II der Apoptose erreicht werden, in dem die Myofibroblasten absterben und das extrazelluläre, fibrotische Gewebe durch MMPs (Metalloproteinasen) wieder degradiert und abgebaut wird. Wenn das Stadium I nur wenige Monate angedauert hat, verbessert sich das Funktionsdefizit mit zunehmendem Abbau der ECM und Apoptose der Myofibroblasten. Dies zeigt sich

klinisch auch am Rückgang der Überwärmung und der Schmerzen, histologisch vermutlich in der Verringerung der Zellzahl. Laborchemisch wird eine Reduktion der XT-Aktivität angenommen.

#### Stadium III (Adhäsion)

Wenn das Proliferationsstadium jedoch durch ineffiziente physiotherapeutische und chirurgische Maßnahmen über 1 Jahr zeitlich verlängert wird, kann es durch die lange andauernde fehlende Entfaltung der Recessus zu einer Adhäsion der Synovialblätter kommen. Dadurch resultiert ein Funktionsdefizit, obwohl sich die reparative Störung gebessert hat. Eine niedrige Aktivität der Xylosyltransferase wird auch in diesem Stadium erwartet.

Im Stadium III der Adhäsion erscheint eine konservative antifibrotische Therapie nicht mehr zielführend, sondern eine arthroskopische Arthrolyse mit Lösen der synovialen Gleitflächen. Die Rezidivgefahr dürfte wegen fehlendem oder gering aktiven fibrotischen Gewebe deutlich geringer sein als in den Stadien I und II. Jedem chirurgischen Eingriff sollte zur Rezidivprophylaxe eine konservative antifibrotische Nachbehandlung folgen. Intensive schmerzhafte Dehnübungen und repetitive zyklische Mobilisationen (CPM) sollten unterbleiben [11, 15, 18–21, 24, 34].

### Vorsorge und Prävention

Um das Risiko dieser Erkrankung zu mindern, sollten nach Möglichkeit keine Patientinnen und Patienten operiert werden, die sich in einer schwierigen emotionalen Situation befinden. Eine bestehende Depression sollte zuerst fachärztlich und psychotherapeutisch behandelt werden. Auch extreme private und berufliche Belastungsfaktoren sollten vom Operateur angesprochen und, falls möglich, eine Besserung abgewartet werden. Negativ wirken sich auch postoperative Komplikationen und klinische Versorgungsdefizite aus. Ein fehlplatzierter Schmerzkatheter ohne genügende alternative Schmerzlinde rung kann in den ersten postoperativen Tagen zur Ausschüttung von „Substanz P“ führen, durch die die Arthrofibrose mit verursacht werden kann [13, 17].

Auch die aktuell praktizierte postoperative Nachbehandlung, z.B. nach Knie-TEP-Implantation, begünstigt die Entwicklung einer Heilungsstörung, Arthrofibrose oder auch CRPS. Im Focus steht das Erreichen des BQS-Standards von E/F 0–0–90° ohne Rücksicht auf die individuelle biologische Situation der/des Operierten. Nur wenn das Behandlungsziel von 90 Grad-Beugung und einer freien Streckung erreicht wird, das auch in etwa 80 % der Fälle gelingt, sind die Behandler und die Patientin/der Patient zufrieden.

Da sich die Arthrofibrose in den allermeisten Fällen jedoch unmittelbar nach dem Eingriff entwickelt, passen diese Patientinnen und Patienten dann nicht mehr in das BQS-Schema. Obwohl eine schmerzhafte Bewegungseinschränkung und beim CRPS noch ein Ruheschmerz mit Berührungsempfindlichkeit der Haut auftritt, werden diese Krankheitssignale in der Regel nicht wahrgenommen und nur mit dem operativen Eingriff erklärt.

Die geforderte Beugung und Streckung werden erzwungen, anstatt die Nachbehandlung an die individuelle Situation anzupassen. In den meisten Kliniken liegt ein vornehmlich mechanistisches Krankheitsverständnis vor, dass noch mit dem Mythos begründet wird, dass nur bei 90 Grad-Beugung eine Rehabilitation möglich wäre. Die betroffenen Patientinnen und Patienten werden auch häufig noch mit einem weiteren Mythos unter Druck gesetzt, dass bei nicht erreichter Beugefähigkeit von mindestens 90 Grad innerhalb der ersten Woche das Knie „steif“ werden könnte.

In der ersten postoperativen Woche sind die betroffenen Patientinnen und Patienten somit einem erheblichen emotionalen und mechanischen Stress mit Schmerzen bei der Mobilisation ausgesetzt, sodass die Heilungsstörung noch verstärkt wird, besonders wenn auch noch eine Narbosemobilisation vorgeschlagen und oft auch durchgeführt wird.

Auch der Einsatz von Schmerzmitteln der WHO-Stufe III nach der unmittelbaren postoperativen Phase muss kritisch gesehen werden, da die Warnfunktion des Schmerzes ausgeschaltet wird. Das fibrotische Gewebe wird

dann noch einem höheren mechanischen Stress ausgesetzt mit Verstärkung der Arthrofibrose.

Eine Normalisierung der Regeneration kann eingeleitet werden, wenn möglichst sofort nach Beginn der typischen Beschwerdesymptomatik, also schon in der ersten postoperativen Woche, von allen Behandlern an die Möglichkeit einer Heilungsstörung gedacht wird, wenn auf dem üblichen Behandlungspfad der angestrebte BQS-Standard nicht erreicht wird.

Auf jegliche weitere schmerzhafte Mobilisation mit Dehnübungen sollte verzichtet werden. Statt manueller Mobilisation sollten von den Physiotherapeuten manuelle Lymphdrainagen durchgeführt werden, die neben einer Verbesserung der Mikrozirkulation auch noch eine Senkung des Sympathikustonus begünstigen, sodass das vegetative System, das die Heilungsprozesse steuert, ähnlich einer Computer-Software, wieder balanciert und funktionstüchtig wird.

Das Verfehlen des angestrebten BQS-Standards könnte als Hinweis für das Vorliegen einer Arthrofibrose angesehen werden, da mechanische oder infektiöse Ursachen zu diesem Zeitpunkt eher noch nicht in Frage kommen. Die Patientin/der Patient sollte auch über die Heilungsstörung informiert werden und es sollte ihm mit der Aussage Mut gemacht werden, dass sich die aktuellen anfänglichen Beschwerden und Defizite bei frühem Gegensteuern wieder vollkommen bessern können.

Aktuell bestehen in der Orthopädie und Unfallchirurgie noch Vorbehalte, die Diagnose Arthrofibrose oder CRPS bei den eigenen Patientinnen und Patienten anzusprechen, weil sie eine schlechte Prognose be-

fürchten. Dies resultiert aus der Tatsache, dass bisher die operativen und physiotherapeutischen Behandlungsergebnisse wegen der hauptsächlich mechanistischen Behandlungsweise auch schlecht waren und auch noch sind. Wenn früh und offen mit den betroffenen Patientinnen und Patienten kommuniziert und diese angemessen biologisch behandelt werden, sind die Ergebnisse jedoch meist gut. Das Problem zu ignorieren ist, wie auch in anderen Lebensbereichen, eher die schlechtere Lösung.

Auch die Behandler in den Reha-kliniken und Physiotherapiepraxen sollten über die besondere Situation informiert werden, damit nicht nur nach „Schema-F“ therapiert wird. Im Entlassungsbericht sollte realistisch auf die erschwerte Nachbehandlung Bezug genommen werden, auch zumindest die Verdachtsdiagnose Arthrofibrose erwähnt werden.

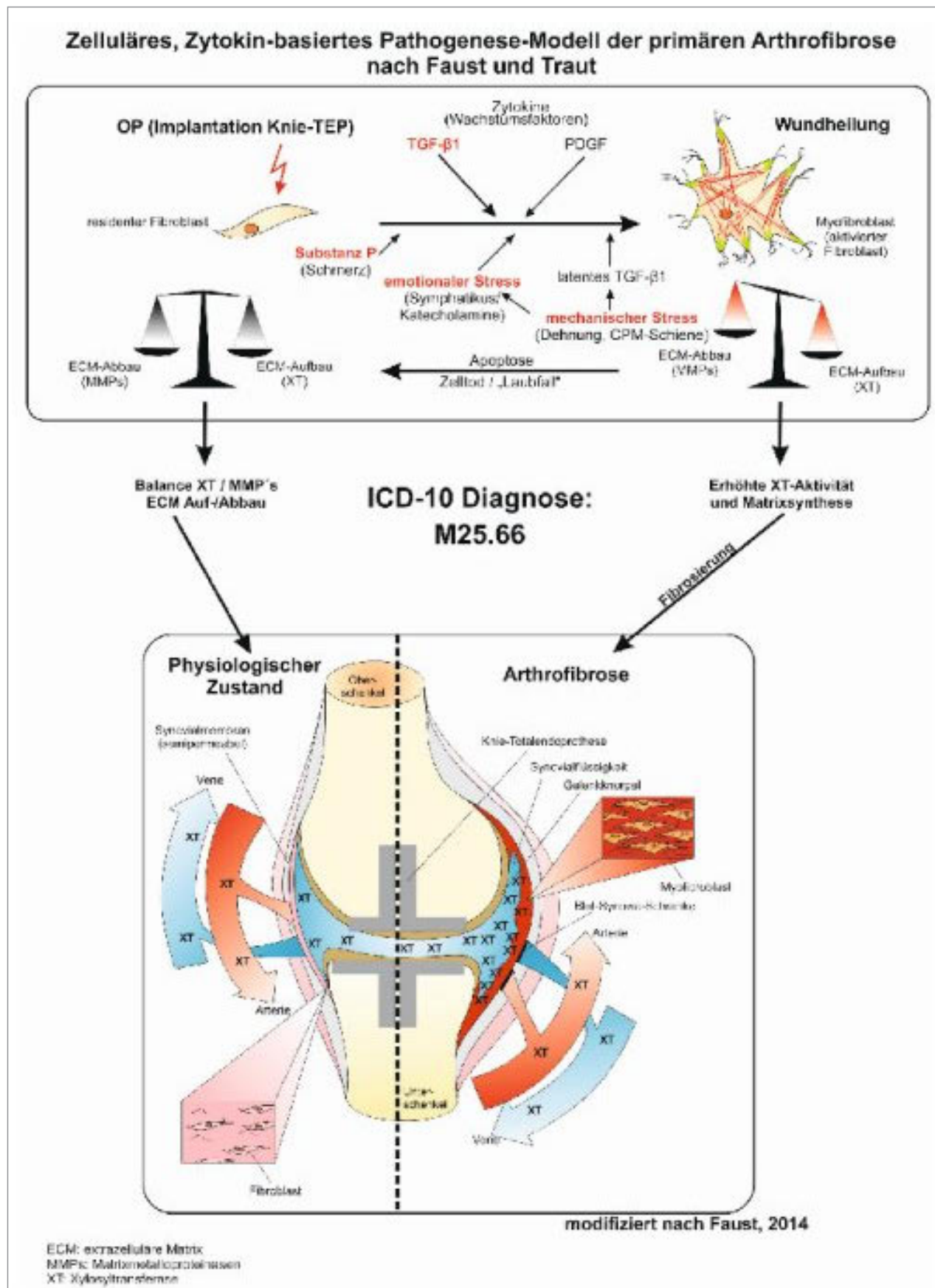
### Primäre und sekundäre Arthrofibrose

Zwei Arten von Arthrofibrose werden in der Literatur beschrieben, die differenziert betrachtet werden müssen [19]. Die primäre Arthrofibrose betrifft das ganze Gelenk und wird durch die oben beschriebenen Ursachen hervorgerufen. Es besteht die typische Symptomatik mit „Schraubstockgefühl“, mehr als 2 Grad Überwärmung im Vergleich zur Gegenseite, Patellaimmobilität und schmerzhafte ROM-Einschränkung von unter E/F 0–0–90 und es liegen keine chirurgischen Ursachen im Gegensatz zur sekundären Arthrofibrose vor (Tab. 1).

Die sekundäre Arthrofibrose hat meist eine mechanische oder infektiöse Ursache. Durch Instabilität oder Fehlstellungen der Endoprothese oder

|                      | primär | sekundär |
|----------------------|--------|----------|
| „Schraubstockgefühl“ | +++    | +        |
| Überwärmung          | +++    | +        |
| Patella-Immobilität  | +++    | -        |
| ROM-Einschränkung    | +++    | +        |

**Tabelle 1** Symptomatik der primären und sekundären Arthrofibrose



**Abbildung 1** Zelluläres, zytokinbasiertes Pathogenesemodell der Arthrofibrose nach Faust und Traut mit Darstellung der physiologischen und pathobiochemischen Vorgänge während der postoperativen Phase nach Kniegelenkersatz. Im Rahmen der physiologischen Wundheilung erfolgt eine Aktivierung residenter Fibroblasten zu Myofibroblasten. Hierbei spielt nicht nur Zytokine eine Rolle, sondern auch mechanischer und emotionaler Stress. Kommt es zur geregelten Apoptose der Myofibroblasten, liegen Auf- und Abbau der extrazellulären Matrix (ECM) sowie die Synthese der Xylosyltransferase (XT) im Gleichgewicht. Eine Arthrofibrose entsteht, wenn die Myofibroblasten persistieren und eine erhöhte ECM-Synthese und XT-Aktivität vorliegen [6, 24].

fehlerhafte Positionierung des implantierten Kreuzbandes wird ein permanenter mechanischer Reiz ausgelöst, der zu einer meist lokal begrenzten Ansammlung von fibrotischem Gewebe führt (Zyklops). Diese mechanische Ursache lässt sich nur operativ durch Korrektur der zugrunde liegenden Pathologie behandeln. Oft kann man auch beide Arthrofibrosearten gleichzeitig an dem betroffenen Gelenk beobachten, die dann auch beide getrennt unterschiedlich behandelt werden sollten.

### Evaluation des eigenen Patientengutes

Im Jahr 2022 und 2023 erfolgte eine Untersuchung und Beratung von 902 Patientinnen und Patienten, die sich mit Verdacht auf Arthrofibrose auf ärztliche oder physiotherapeutische Empfehlung oder nach Internetrecherche vorgestellt haben.

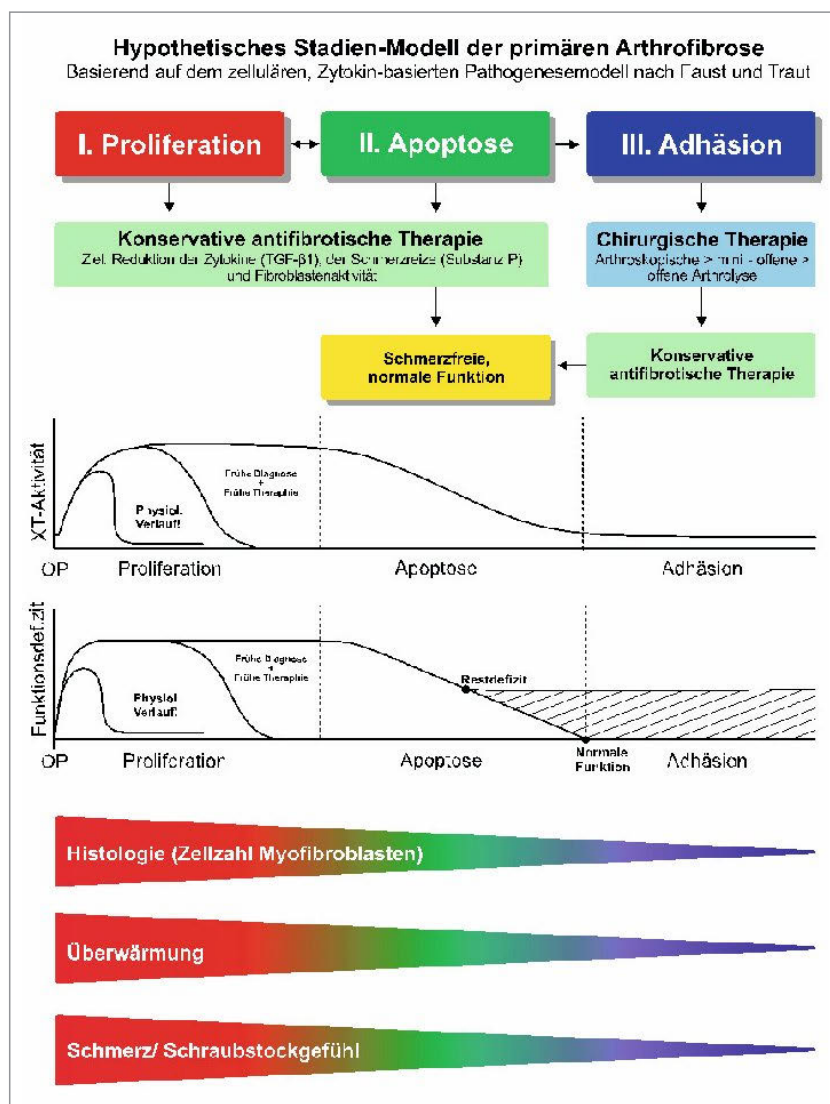
Bei 48 % der Patientinnen und Patienten, also bei 422 konnte die Arthrofibrose ohne zusätzliche Pathologien bestätigt und eine entsprechende Therapie eingeleitet werden.

Am zweithäufigsten wurde bei 256 Patientinnen und Patienten (28 %) ein CRPS diagnostiziert, meist mit einer zusätzlichen Arthrofibrose. Neben der Behandlung der Arthrofibrose wurde eine ergänzende Therapie des CRPS mit Pregabalin, Versatis-Pflaster und Spiegeltherapie angeraten.

An dritter Stelle stand mit 124 Patientinnen und Patienten (14 %) ein klinischer Low-Grade-Infekt, meist mit einem „falsch-negativen“ Punktionsergebnis und einer zusätzlichen Arthrofibrose. Diese Diagnose gehört nicht zu den Heilungsstörungen, wird aber sehr häufig wegen der auch in der Literatur beschriebenen hohen Anzahl von „falsch-negativen“ Ergebnissen von etwa 40 % übersehen. Ohne eine erfolgreiche Behandlung der periprothetischen Infektion ist auch nicht eine Besserung der Arthrofibrose zu erwarten, trotz antifibrotischer Therapie.

Die Anzahl von Arthrofibrosen an anderen Gelenken war relativ gering, bei 11 Hüften, 7 Sprunggelenken und 1 Schulter, insgesamt nur 2,2 % der Patientinnen und Patienten (Tab. 2).

Bei 1,2 % der untersuchten Patientinnen und Patienten (11) war als Be-



**Abbildung 2** Hypothetisches Stadienmodell der primären Arthrofibrose: Es lassen sich 3 Stadien mit unterschiedlichen Symptomen und Therapiemöglichkeiten unterscheiden. In den beiden ersten Stadien ist eine konservative antifibrotische Therapie erfolgversprechend. Im letzten Stadium III der Adhäsion sind zusätzliche chirurgische Maßnahmen erforderlich. Überwärmung und Schmerzen nehmen bis zum 3. Stadium innerhalb von 6–12 Monaten ab [24].

sonderheit ein Fehlen der Schmerzinnervation des fibrotischen Gewebes festzustellen, sodass die sogenannte „Schmerzhemmung“ nicht wirksam war. Diese Patientinnen und Patienten hatten einen sehr stark eingeschränkten ROM, oft bis zur völligen Einsteifung, meist in Streckstellung.

Als weitere besondere Patientengruppe sind mit 1,8 % (17) Betroffene zu erwähnen, die neben der Arthrofibrose unter einer stressinduzierten Hyperalgesie (SIH/Fibromyalgie) leiden. Aufgrund der hochgradigen Schmerzempfindlichkeit bei Insuffizienz der körpereigenen Schmerzdämpfung, des deszendierenden an-

tinozeptiven Systems, war die Arthrofibrose und die Bewegungseinschränkung eher gering ausgeprägt, aber die Schmerzwahrnehmung sehr deutlich vorhanden (Egle/Zentgraf) [32]. Diese Patientinnen und Patienten benötigen eine spezielle psychosomatische Therapie neben der antifibrotischen, die nach der Untersuchung auch immer empfohlen wurde. Wenn nur versucht wird, das schmerzhafte Kniegelenk chirurgisch zu verbessern, können negative Verläufe resultieren, wie sie von Kalteis beim 17. Endoprothetik-Kongress in Berlin 2024 vorgetragen wurden [36].

Abb. 1–4 P. Traut



**Abbildung 3** Vollbild einer Arthrofibrose nach Knie-TEP rechts; 9 Monate postoperativ nach frustraner physiotherapeutischer und chirurgischer Behandlung mit Streck- und Beugedefizit, Kapselschwellung, Überwärmung, „Schraubstockgefühl“, immobiler Knie-scheibe und starkem Anlaufschmerz morgens und nach längerem Sitzen. Bei dieser „späten Diagnose“ ist mit einem längeren Heilungsverlauf zu rechnen. Nicht immer ist dann eine befriedigende Funktion des betroffenen Gelenkes zu erreichen.

### Neues alternatives Therapiekonzept

Bei Behandlung der primären Arthrofibrose nach dem zellulären, zytokinbasierten Pathogenesemodell auf der Grundlage der Fibroseforschung, die erstmals 2018 in ORTHOPÄDIE & RHEUMA beschrieben wurde [24], kann dieser für Patientin/Patient und Operateur unerfreuliche Verlauf in den meisten Fällen verhindert werden (Abb. 1). Je früher die Therapie beginnt, desto schneller und effektiver lässt sich diese reparative Störung konservativ wieder beseitigen [21, 23–25]. Je später diese kausale antifibrotische Therapie beginnt, desto weiter schreitet die Erkrankung mit zunehmenden strukturellen Veränderungen fort. In dem späten Stadium III der Arthrofibrose sind dann meist auch operative Maßnahmen notwendig (Abb. 2).

Vorbild kann die Behandlung der „Herzfibrose“ sein, die bei früher Diagnose und mechanischer Entlastung des Herzens innerhalb von 6–8 Wochen zu einer völligen Heilung dieser schwerwiegenden, oft auch noch tödlichen Erkrankung führt [22].

### Diagnose der primären Arthrofibrose

Die Diagnose kann mit ausreichender Sicherheit anhand von 2 typischen Beschwerdeangaben und 2 charakteristischen Befunden schon im Akut-haus klinisch gestellt werden, spätestens jedoch nach der Rehabilitation. Eine histologische Untersuchung empfiehlt sich in Zweifelsfällen [16].

Auch wenn bei einer falsch-positiven Diagnose keine Arthrofibrose vorliegen sollte, wirkt sich die antifibrotische Therapie nicht negativ auf den weiteren Verlauf aus. Eine falsch-negative Diagnose kann dagegen für die Betroffenen zu einem monate- oft jahrelangen Krankheitsverlauf führen. Der Rat zu weiterer Geduld sollte nur dann geäußert werden, wenn die Ursache des verzögerten Heilungsverlaufes erkannt und die notwendigen therapeutischen Schritte eingeleitet wurden.

#### Beschwerden:

1. „Schraubstockgefühl“
2. Starke Schmerzen bei der Mobilisation

#### Befunde:

3. Beweglichkeit weniger 0–0–90 Grad
4. Immobile Kniescheibe

Die laborchemische Untersuchung der „Xylosyltransferaseaktivität“ (XT) im Serum und Gelenkpunktat wird aktuell in einer multizentrischen Studie evaluiert und kann zurzeit noch nicht diagnostisch eingesetzt werden. Dieses Enzym spiegelt die Fibroblastenaktivität im Gelenkbinnenraum wider. Aktuell kann die XT schon als Biomarker in der Diagnostik der Sklerodermie und Leber-Fibrose genutzt werden [9].

In späteren Stadien können weitere typische Beschwerden und Befunde nachgewiesen werden, durch die die Diagnose zusätzlich gesichert werden kann (Abb. 3).

### Differenzialdiagnosen bei schmerzhaften Gelenkbeschwerden

Auch andere Erkrankungen können zu einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung führen und sollten im Behandlungsverlauf beachtet werden:

1. CRPS (Morbus Sudeck)
2. Low-Grade-Infekt (chronischer geringfügiger Infekt)
3. Stressinduzierte Hyperalgesie/Fibromyalgie
4. Postoperative Narbenneurome
5. Lockerung der Endoprothese
6. Retropatellararthrose
7. Gelenkinstabilitäten oder zu straffe Bandführung
8. Overstuffing (falsche Prothesengröße)
9. Fehlposition der Endoprothese oder des Transplantates

Alle diese Erkrankungen zeichnen sich durch andere typische Beschwerden und Befunde aus, sodass sie von der primären Arthrofibrose gut unterschieden werden können (Tab. 2, 3). Die 3 erstgenannten Diagnosen sollen im Einzelnen beschrieben werden, da sie ähnlich wie die Arthrofibrose häufig im postoperativen Verlauf nicht erkannt werden. Dies führt dann zu unnötigen Fehlbehandlungen.

### Complex regional pain syndrome (CRPS, Morbus Sudeck)

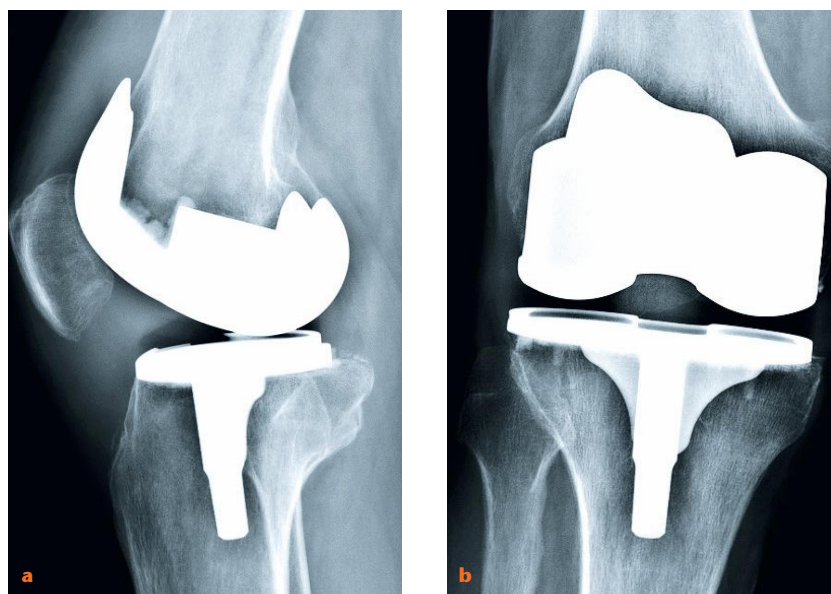
Die größte Übereinstimmung besteht bei Arthrofibrose und CRPS, sodass die letztere Erkrankung häufig nicht erkannt wird. Wichtige Unterscheidungsmerkmale sind der Belastungs- und Ruheschmerz und die sehr starke

Überwärmung von über 3–4 Grad, die bei der AF meist fehlen. Zusätzlich sollte auch die Bildgebung als diagnostische Hilfe genutzt werden. Beim CRPS sind destruktive Veränderungen wie eine Patella baja sowie gelenk- und prothesennahe Entkalkungen nachweisbar, auch wenn sich schon die klinischen Symptome teilweise gebessert haben (Abb. 4). Es können auch mehrere Pathologien gleichzeitig auftreten, die weiter differenziert werden müssen, um jede spezifisch behandeln zu können. Bei einem Low-Grade-Infekt können z.B. zusätzlich auch noch eine Arthrofibrose und ein CRPS vorliegen.

Arthrofibrose (AF) und CRPS stehen in einer besonderen Beziehung mit fließenden Übergängen zueinander. Aus einer AF kann sich bei weiterer Traumatisierung durch schmerzhafte Physiotherapie, Narkosemobilisation oder operative Eingriffe ein CRPS entwickeln. In der Literatur wird eine Häufigkeit von 15 % beschrieben [20].

Jedes CRPS ist, neben den typischen Beschwerden und Symptomen, die in den „Budapest-Kriterien“ beschrieben sind, häufig mit einer schmerzhaften Bewegungseinschränkung belastet. „Brennender“ Ruheschmerz, Berührungsempfindlichkeit der Haut, Unterschenkelödeme, Allodynie, Muskelansteuerungsprobleme, trophische Störungen des gesamten Beins mit großen Temperaturdifferenzen von über 3–4° C gegenüber der Gegenseite, livide Hautverfärbung und im Röntgenbild sichtbare destruktive Veränderungen wie Patella baja (Patellatiefstand) und prothesennahe Entkalkung (Abb. 1) sichern die Diagnose. Wenige Tage nach der Operation sind betroffene Patientinnen und Patienten häufig nicht in der Lage, das Bein von der Unterlage anzuheben, sodass oft eine neurologische Untersuchung veranlasst wird, die aber fast immer unauffällig ist. Jeder weitere operative Eingriff oder eine Narkosemobilisation kann zu einer dramatischen Verschlechterung führen.

Bei früher klinischer Diagnose und sofortiger Behandlung bildet sich die typische CRPS-Symptomatik wieder zurück. Die medikamentöse Behandlung mit Pregabalin und bei zu-



**Abbildung 4** Zwei typische Röntgen-Bilder einer Knie-TEP eines Patienten mit einem CRPS, Patella baja und prothesennaher Entkalkung. Bei diesen Veränderungen wird oft auch eine Lockerung vermutet, da immer auch Schmerzen bei Belastung vorliegen.

sätzlich vorhandener Arthrofibrose mit niedrig dosiertem Prednisolon und dem nichtselektiven Betablocker Propanolol zur Senkung des Sympathikustonus sollte schon in der operierenden Klinik eingesetzt werden. Die Physiotherapie ist identisch mit der bei Arthrofibrose. Bei starker Bewegungseinschränkung zusätzlich „Spiegeltherapie“.

### Low-Grade-Infekt (chronischer geringfügiger Infekt)

Bei 1–2 Prozent der Gelenkimplantate entwickelt sich diese schwerwiegende Komplikation [12]. Bei Diagnose innerhalb der ersten 4–6 Wochen postoperativ ist meist ein Prothesenwechsel vermeidbar. Bei deutlichem Gelenkerguss sollte direkt nach „Frösteln“, kurzfristigem Fieber und nachfolgen-

### Begutachtungsergebnisse 2022–2023

|                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------|
| 48 % Arthrofibrosen (AF) bestätigt (422), reine Arthrofibrosen!                 |
| 28 % CRPS (256) + Arthrofibrose 75 %                                            |
| 14 % klinischer Low-Grade-Infekt, „falsch-negativ“! + Arthrofibrosen 90 % (124) |
| 2,3 % Instabilität (21)                                                         |
| 2,1 % Retropatellararthrose (19)                                                |
| 1,8 % Stressinduzierte Hyperalgesie (SIH/Fibromyalgie) (17)                     |
| 2,2 % Hüfte (11), Schulter (1), OSG (7)                                         |
| 1,6 % Sine Schmerz (11), Neurome (3)                                            |
| 1,9 % Lockerung (3), Malposition (14)                                           |

**Tabelle 2** Statistik der 902 Patientinnen und Patienten, die 2022 und 2023 in Bad Oeynhausen bei Verdacht auf Arthrofibrose untersucht und begutachtet wurden

dem Schwitzen, der sogenannten „B-Symptomatik“ gefragt werden, da die Patientinnen und Patienten diese Symptomatik nicht mit ihrem neuen Gelenk in Verbindung bringen [31].

Eine sofortige Diagnostik mit Keimnachweis kann dann die Prothese „retten“. Um „falsch-negative“ Ergebnisse zu vermeiden, sollte die Gelenkpunktion in zeitlicher Nähe zum Fieberanstieg durchgeführt werden, da nur in diesem Zeitraum vitale Keime und entzündlich veränderte Synovialflüssigkeit vorhanden sind. Bei später Diagnose ist meist ein Prothesenwechsel notwendig [12]. Bei gleichzeitig vorliegendem CRPS sollte die OP-Indikation wegen der möglichen schweren postoperativen Komplikationen streng gestellt werden. Eine palliative Langzeitantibiose ist dann auch noch in Erwägung zu ziehen [12].

Im eigenen Patientengut sind allerdings auch positive Verläufe, die nach einer einmaligen Antibiose beim Zahnarzt zu einer Besserung der B-Symptomatik geführt haben, sodass auch eine alleinige Antibiose nach Keimnachweis und Resistenzbestimmung in Erwägung gezogen werden kann, obwohl es nicht der Leitlinie entspricht, die einen TEP-Wechsel oder DAIR (Debridement, Antibiose, and Implant Retention) empfiehlt [31].

**Physio- und medikamentöse Therapie der Arthrofibröse**

Wenn die Arthrofibröse früh diagnostiziert wird, besteht die Chance einer völligen Heilung. Bei späterer Diagnose kann noch eine deutliche Besserung durch eine konservative antifibrotische Therapie erzielt werden. Ziel der Therapie ist die Gesun-

dung des betroffenen Gelenkes. Es darf nicht versucht werden, ein krankes Gelenk beweglich zu machen, weil dadurch das intraartikuläre fibrotische Gewebe, das die Bewegung hemmt, immer wieder verletzt wird mit nachfolgender, nicht endender Reparatation. Die Warnfunktion des Schmerzes sollte beachtet werden [26]. Nach Abbau des pathologischen Gewebes resultiert von selbst eine physiologische Beweglichkeit des betroffenen Gelenkes.

Bei der Arthrofibröse steht aktuell nur eine Off-Label-Therapie (s.u.) zur Verfügung, die mit den Patientinnen und Patienten besprochen werden muss. Es sind aber Medikamente (Prednisolon und Propanolol) vorhanden, die seit vielen Jahren in ihren Wirkungen und Nebenwirkungen bekannt sind. Bei Beachtung der Kontra-

|                                              | Bewegungs-einschränkung | Patella-immobilität | „Schraubstockgefühl“ | Anlaufschmerz | Belastungsschmerz | Ruhe-schmerz | Erguss | Überwärmung |
|----------------------------------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|---------------|-------------------|--------------|--------|-------------|
| Primäre Arthrofibröse                        | +++                     | +++                 | +++                  | +++           | –                 | –            | +      | ++          |
| CRPS (Morbus Sudeck)                         | +++                     | +++                 | +++                  | +++           | +++               | +++          | –      | +++         |
| Low-Grade-Infekt (LGI)                       | +                       | +                   | +                    | +             | ++                | +            | +++    | +++         |
| Stressinduzierte Hyperalgesie/Fibromyalgie   | +                       | +                   | –                    | +++           | +++               | ++           | –      | –           |
| Postoperative Narben-Neurome                 | ++                      | –                   | –                    | +             | +                 | –            | –      | +           |
| Lockerung der Endoprothese                   | +                       | –                   | –                    | +++           | +++               | –            | ++     | ++          |
| Retropatellar-Arthrose                       | +                       | ++                  | +                    | ++            | +++               | +            | +++    | ++          |
| Gelenkinstabilität o. zu straffe Bandführung | ++                      | –                   | –                    | +             | ++                | +            | ++     | ++          |
| Overstuffing (falsche Gelenkgröße)           | ++                      | +                   | ++                   | +             | –                 | –            | +      | +           |
| Fehlposition Endoprothese o. Transplantat    | ++                      | +                   | –                    | –             | +                 | –            | –      | +           |

**Tabelle 3** Typische Symptome/Beschwerden von Arthrofibröse und Differenzialdiagnosen

indikationen können sie zusätzlich eingesetzt werden, vor allem bei starken Schmerzen im Stadium I–II [28]. Sie haben allerdings nur eine symptomatische Wirkung, ohne direkte Förderung der Apoptose, sodass man auch auf ihren Einsatz bei Gegenanzeigen verzichten kann, ohne den Erfolg der Therapie zu gefährden. Eine fachlich richtige Physiotherapie und geeignete Verhaltensmaßnahmen der Betroffenen haben einen größeren Einfluss auf den Heilungserfolg.

Folgende therapeutische Maßnahmen sind zu empfehlen:

1. Aufklärung der Patientinnen und Patienten über die Ursachen und die therapeutischen Möglichkeiten
2. Sofortiger Stopp der passiven schmerzhaften Mobilisation des Gelenkes [11, 20, 21]
3. Bewegung nur im schmerzfreien Bereich erlaubt
4. Förderung der Mikrozirkulation und Entsorgung der Zytokine (Wachstumsfaktoren) durch Lymphdrainagen, Pulsierende elektromagnetische Felder (PEMF), Akupunktur und eine Matrix-Rhythmustherapie mittels Vibration (z.B. ZRT®-Matrix-Therapie) [24, 35]
5. Balancierung des vegetativen Systems durch Osteopathie, Fußreflextherapie, Bindegewebsmassagen, evtl. psychologische Begleitung
6. Erlernen von Entspannungstechniken (Autogenes Training, Achtsamkeitstraining, Progressive Muskelentspannung, Yoga u.a.)
7. Medikamentöse Therapie mit niedrig dosiertem Prednisolon und dem nicht selektiven Betablocker Propanolol bei fehlenden Kontraindikationen [28]

### Ernährung, Bewegung und Entspannung in Eigenregie

Wichtig ist, dass die Patientinnen und Patienten alles vermeiden, was zu einer Freisetzung der Wachstumsfaktoren und damit zur Aktivierung der Fibroblasten führt. Es dürfen nur die Bewegungen durchgeführt werden, die keine Schmerzen verursachen. Treppensteigen im Wechselschritt ist deshalb erst bei einer Beugung von etwa 100 Grad möglich und erlaubt,

vorher nur im Beistellschritt. Auch Fahrrad- oder Ergometerfahren ist erst bei über 90 Grad-Beugung oder mit Kurbelverkürzung zur Kreislaufaktivierung therapeutisch sinnvoll. Längere Gehstrecken sind nur erlaubt, wenn das „Schraubstockgefühl“ danach nicht verstärkt auftritt. Aktuelles Prinzip: **Weniger ist mehr!** Auch ein Wellness-Urlaub ist zur Balancierung des vegetativen Systems sinnvoll.

### Nachsorge

Wenn die Behandlung erst in einem späten Stadium II oder III einsetzt, verbleibt oft eine Empfindlichkeit gegenüber mechanischem und/oder emotionalem Stress. Einige Patientinnen und Patienten berichten, dass ihr Kniegelenk ein „Spiegel ihrer Seele“ sei und sich bei emotionaler Belastung verschlechtere. Für diese Patientengruppe ist es von großer Wichtigkeit, Techniken zur Reduktion von innerer Anspannung zu erlernen und regelmäßig einzusetzen. Es gibt auch viele Betroffene, bei denen bei bestehender Arthrofibrose das andere paarige Gelenk operiert werden musste. Bei den meisten Patientinnen und Patienten meines Kollektivs ist an dem anderen Gelenk keine Arthrofibrose aufgetreten, sodass wesentliche genetische Faktoren bei dieser Erkrankung eher nicht vorliegen. Vor einem operativen Gelenkeingriff sollten allerdings eine emotionale Ausgeglichenheit und ein ungetrübtes Vertrauensverhältnis zum Operateur bestehen.

### Fazit für die Praxis

Die Arthrofibrose ist eine Erkrankung, die ärztlich und physiotherapeutisch gut behandelt werden kann. Die Behandler sollten den Mut haben, frühzeitig die Diagnose zu stellen und eine antifibrotische Therapie einzuleiten. Den Rat zu mehr Geduld sollte nur dann den betroffenen Patientinnen und Patienten gegeben werden, wenn die Ursache der Funktionsstörung diagnostisch klar definiert wurde.

Behandlungsziel bei diagnostizierter Arthrofibrose sollte die Gesundheit des betroffenen Gelenkes durch Abbau des fibrotischen Gewebes sein. Dann verbessern sich die Schmerzen, das Schraubstockgefühl und die Be-

weglichkeit in relativ kurzer Zeit. Die bisherige „mechanisch“ orientierte Behandlung nach dem „Verklebungsmodell“ mit passivem schmerzhaftem Dehnen sollte der Vergangenheit angehören.

Der bisher noch gültige bundeseinheitliche Qualitätsstandard mit Extension/Flexion 0–0–90 Grad sollte kritisch überdacht werden, weil er der Komplexität der postoperativen Heilungsvorgänge nicht gerecht wird und eher ein mechanisches orthopädisches Krankheitsverständnis begünstigt mit ungünstigen therapeutischen Behandlungsschemata.

Wenn der Qualitätsstandard in der ersten postoperativen Woche nicht erreicht wird, sollte im Entlassungsbericht für die Nachbehandler der Hinweis auf eine mögliche Arthrofibrose enthalten sein und auf idealisierende Funktionsbeschreibungen verzichtet werden. Ein frühzeitiger antibiotischer Behandlungsbeginn ohne monatelange frustrane Therapieversuche könnte sich auch positiv auf die immer noch sehr hohe Patientenunzufriedenheitsrate nach Knieendoprothetik auswirken.

### Interessenkonflikte:

Keine angegeben.

**Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie auf:**  
**[www.online-oup.de](http://www.online-oup.de)**



Foto: privat

### Korrespondenzadresse

**Dr. med. Philipp Traut**  
**Praxis für orthopädische Beratung und**  
**Begutachtung**  
**Herforder Str. 45**  
**32545 Bad Oeynhausen**  
**[praxis@dr-traut.com](mailto:praxis@dr-traut.com)**

Michael Jagodzinski, Veit Krenn, Philipp Traut

# Operative Therapie der Arthrofibrose des Kniegelenks

## Voraussetzungen, Planung und operative Strategien

### Zusammenfassung:

Die Arthrofibrose des Kniegelenks gilt als schicksalhafte Erkrankung mit hohen Rezidivraten mit einer Inzidenz von 2,5–10% nach Implantation einer Knie-TEP. Bei fehlender Diagnose entwickeln sich häufig chronische Bewegungseinschränkungen mit oder ohne Schmerz mit Symptomen eines chronisch regionalen Schmerzsyndroms (CRPS). Ziel ist daher die frühzeitige Diagnose und die Unterbindung von schmerzhafter Physiotherapie. Erst im chronischen Stadium mit reduziertem Schmerz ist eine chirurgische Therapie zu erwägen. In Frage kommen hier die Wiedereröffnung des oberen Recessus, Entfernung von Narbengewebe aus dem anterioren Gelenk sowie eine dorsale Kapseldurchtrennung. In ausgeprägten Fällen kann eine Verschiebung des Streckapparates (Tuberositasosteotomie) bis hin zu einer stufenweisen Ablösung des Extensorenapparates (OP nach Judet) erforderlich sein. Der Wechsel der Endoprothese ist vor dem Hintergrund der geringeren Standzeiten eines Wechselimplantats restriktiv zu indizieren. Die Nachbehandlung muss die schmerzhafteste Physiotherapie ebenso vermeiden wie eine Fokussierung nur auf das Kniegelenk. Häufig müssen die Rahmenbedingungen (Lymphödem, Muskelentspannung, psychische Begleitfaktoren) behandelt werden. Auch unter optimalen Bedingungen sind die Therapieerfolge eingeschränkt und eine restitutio ad integrum ist bei Arthrofibrose nach Knieendoprothese nicht zu erwarten.

### Schlüsselwörter:

Arthrofibrose, Kniegelenk, Arthrolyse, Bewegungseinschränkung, KTEP

### Zitierweise:

Jagodzinski M, Krenn V, Traut P: Operative Therapie der Arthrofibrose des Kniegelenks. Voraussetzungen, Planung und operative Strategien  
OUP 2024; 13: 246–250  
DOI 10.53180/oup.2024.0246-0250

## Bedeutung der Arthrofibrose

### Definition und Ursachen

Die Arthrofibrose ist gekennzeichnet durch eine pathologische Vermehrung von Bindegewebszellen (Fibrozyten) durch eine abnorme Wundheilung nach Gewebeschädigung oder Operation [6]. Dies verursacht einen erheblichen Funktionsverlust bei Tätigkeiten im täglichen Leben. Das Bindegewebe kann lokalisiert, z.B. im vorderen Gelenk nach Kreuzband-OP oder generalisiert, in der Regel nach Knie-Totalendoprothese, einwachsen [26] und dort die

schweren Funktionseinschränkungen und eine außergewöhnliche Gehbehinderung verursachen. Die Ätiologie kann dabei traumatisch, postinfektiös, postoperativ oder idiopathisch sein. Von der Arthrofibrose abgegrenzt werden müssen Bewegungseinschränkungen anderer Ursache, wie eine anterior platzierte VKB-Rekonstruktion [10] oder Knieendoprothesen mit ungenügender Abstimmung von Streck- und Beugespalt [2], hoch gewähltem Inlay zur Kompensation einer Bandinstabilität [22] oder ungenügender Abstimmung des Patellofemoralgelenks mit

Overstuffing [18]. Häufig können diese Pathologien auch mit einer Gelenkfibrosierung einhergehen [1], so dass sowohl eine operative Revision durchgeführt als auch die Arthrofibrose behandelt werden müssen.

### Diagnose

#### Klinische Symptome

Die Entstehung einer Arthrofibrose fällt neben der Bewegungseinschränkung durch ein Engegefühl des Gelenks, häufig Schraubstock ähnlich, Überwärmung und Schmerz, vor al-

# Operative therapy of arthrofibrosis of the knee joint

## Prerogatives, planning and execution

**Summary:** Arthrofibrosis of the knee is regarded a fateful disease with high recurrence rates and an incidence of 2.5–10 % after total knee arthroplasty. If the diagnosis is missed, there is a high chance of developing a stiff joint with tenderness leading up to chronic pain, or a complex regional pain syndrome (CRPS). Therefore, early diagnosis and treatment are crucial in order to avoid such circumstances. The most important goal is to discontinue painful physiotherapy. In a chronic state with limited pain, surgical revision may be considered. The surgical goal is dependent on the localization of fibrotic tissue. The superior recess must be reopened and a cyclops in the intercondylar notch can be removed. Patella baja can be treated by resection of scar tissue or tibial tuberosity transfer. A Judet procedure is hardly necessary in localized cases. From the German Endoprothetic Register (EPRD) there is evidence that a total knee revision should be avoided whenever possible. Rehabilitation programs must adjust to the pain and stiffness symptoms of the patients. Even with optimum treatment strategies, the long term results of these adverse conditions remain limited.

**Keywords:** Arthrofibrosis, total knee replacement, arthrolysis, limited range of motion, TKR

**Citation:** Jagodzinski M, Krenn V, Traut P: Operative therapy of arthrofibrosis of the knee joint. Prerogatives, planning and execution  
OUP 2024; 13: 246–250. DOI 10.53180/oup.2024.0246-0250

lem nach erfolgter Physiotherapie, auf [16, 30]. Patientinnen und Patienten erreichen häufig die geforderte Beweglichkeit mit einer Extension/Flexion von 0–90 Grad nicht. Frühzeitig durchgeführte Maßnahmen wie Nar-kosemobilisierung und Schmerzkatheteranlage, Verordnung einer elektrischen Bewegungsschiene wurden zwar in der Literatur als zielführende Maßnahmen beschrieben [26], führen aber häufig nicht zur Verbesserung, sondern zur Frustration mit Ausbildung eines komplexen regionalen Schmerzsyndroms, engl. Complex Regional Pain Syndrome (CRPS), mit Allodynie, Temperaturdifferenz, Haar- und Nagelwachstumsstörungen [5, 20, 26]. Die Budapest-Kriterien waren im eigenen Patientengut bei knapp 30% der Betroffenen zumindest für einen Zeitraum von mehreren Monaten erfüllt. Ohne Diagnosestellung und durch Ignorieren von Befunden werden aber schmerzhaft Behandlungen häufig fortgesetzt, das CRPS verstärkt sich und die Gelenksteife und der Funktionsverlust nehmen zu [3].

### Bildgebung

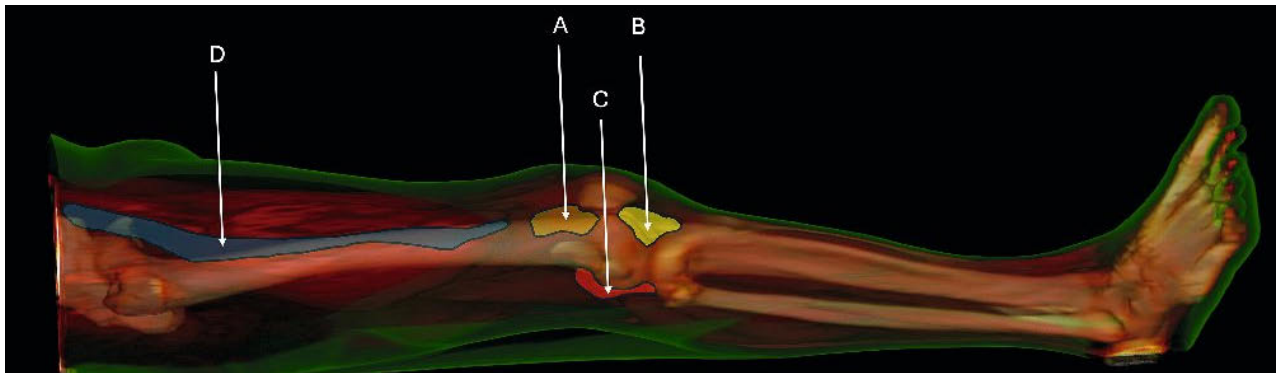
Eine Arthrofibrose stellt sich im Röntgenbild erst im fortgeschrittenen Stadium in Form von Ossifikationen und Patella baja dar [11]. Bei einem CRPS

kann es zur lokalen Osteopenie kommen, die Skelettszintigrafie zeigt in der Meta-Analyse die höchste Sensitivität in der Bildgebung [4]. Im MRT ist im Frühstadium eine Verdickung der Synovialis, Veränderungen an Hoffa-Fettkörper und Patella und geringer Gelenkerguss darstellbar. Im Falle eines Zyklops sind Transplantatschäden und Gewebsödem an der vorderen Kreuzbandplastik erkennbar [12]. Im späten Stadium sind in der Regel nur straffes Bindegewebe, eine narbige Ummauerung der Patella und andere Teile der Synovialis, sowie eine Schrumpfung des Hoffa-Fettkörpers mit Patella baja sichtbar [11]. Sonografisch kennzeichnet die Frühphase eine Hyperämie mit Gewebsödem, die Spätphase geringen Gelenkerguss, Immobilisierung der Patella mit fehlender Gleitschicht im oberen Recessus und darstellbarer Vernarbung [17]. Die Arthrofibrose kann sich dabei in 4 Kompartimenten, bis hin zur Muskulatur des Oberschenkels, ausbilden (Abb. 1).

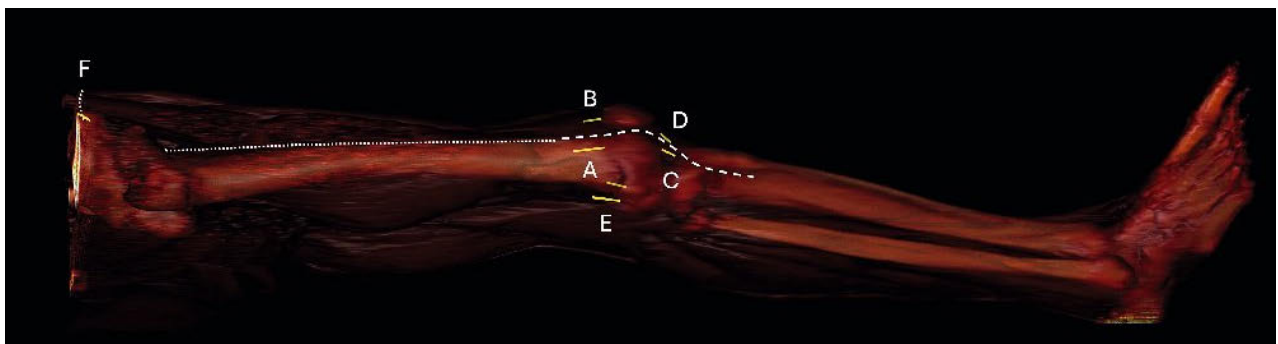
### Biochemie und Pathohistologie

Die biochemischen Reaktionen einer Arthrofibrose werden vor allem durch den „transforming growth factor-beta (TGF-β)“ vermittelt [19]: Hierzu gehören Zytokine wie das „bone morphogenic protein“ (BMP) und die TGF-β-Iso-

formen TGF-β1, TGF-β2 und TGF-β3. Proteasen und Glycoproteine, wie Plasmin, Matrix Metalloproteinase 2 (MMP-2) und Thrombospondin 1 (THBS-1) sind an der TGF-β-Aktivierung beteiligt. Die Signaltransduktion in den Zellkern wird durch die SMAD2/3- und SMAD4-Proteine vermittelt. Cofaktoren für die Genaktivierung sind AP-1 und „specificity protein-1“ (SP-1) [21]. Während im frühen Stadium der Erkrankung die beteiligten Cytokine wie Xylosyltransferase [19] und IL-6, IL-1, BNP-2 gebildet werden [24], sind diese im späten Stadium mit geringen Schmerzen und hochgradigem Funktionsverlust nicht mehr nachweisbar. Bei Biopsien zeigt sich daher auch im Initial- und Intermediärstadium ein deutlicher Nachweis von β-Catenin im Zytoplasma [14] (Abb. 3), während sich später häufig nur hochdifferenzierte Fibrozyten darstellen lassen. Die Arthrofibrose wurde zunächst als eigenständige Entität aufgefasst, heute wird der Befund auch bei allen anderen Formen der Synovialitis als Zusatz Pathologie möglich. Eine Arthrofibrose kann daher auch mit Abrieb, Infektion oder beim Misch- oder Indifferenztyp gefunden werden [15]. In der späten Phase kann daher häufig nur im Befund eine Arthrofibrose „bei klinischem Kontext“ als möglich begutachtet werden.



**Abbildung 1** Die Arthrofibrose kann sich lokalisiert im Bereich des oberen Recessus nach Knorpelchirurgie (A), des vorderen Kniegelenks (B) nach Kreuzbandrekonstruktion, oder generalisiert (A–C) nach Kniegelenkersatzoperation ausbilden. In seltenen Fällen (z.B. Nach Infektion) kommt es zur narbigen Schrumpfung der gesamten Oberschenkelextensorenmuskulatur (D)



**Abbildung 2** Die Zugangswahl richtet sich nach dem Lokalbefund. Bei arthroskopischer Arthrolyse haben sich neben des Standardportalen (C, D) Portale im oberen Recessus medial (B) und lateral (A), bewährt. Eine dorsale Kapsulotomie ist über einen posteromedialen oder posterolateralen (E) Zugang möglich. Die mini-offene Arthrolyse ist in der Regel über einen lateralen supérieurs Zugang gut möglich (A), selten ist eine weitere Inzision anterolateral (C) notwendig. Eine Kranialisierung des Streckapparates ist über den kaudalen Teil des alten Zugangs möglich. Nur in seltensten Fällen muss der gesamte Streckapparat des Oberschenkels (weiße gestrichelte Linie) bis zur Insertion des m. rectus femoris an der spina iliaca anterior superior (F) mobilisiert werden.

## Therapie

### Nicht operative Therapie

Die nicht operative Therapie sollte mit Ausnahme einer akuten Infekt-sanierung oder einer operationstechnisch bedingten Bewegungseinschränkung immer einer operativen Therapie vorausgehen. Wichtigste Maßnahme ist hier das Unterbrechen bzw. Beenden einer schmerzhaften Physiotherapie, die zum Bild eines CRPS beitragen kann. Stattdessen sollten abschwellende und schmerzregulierende Maßnahmen im Vordergrund stehen. Psychiatrische Ursachen (Depression) sollten ebenfalls behandelt werden, s. Artikel Traut, S. 236–245.

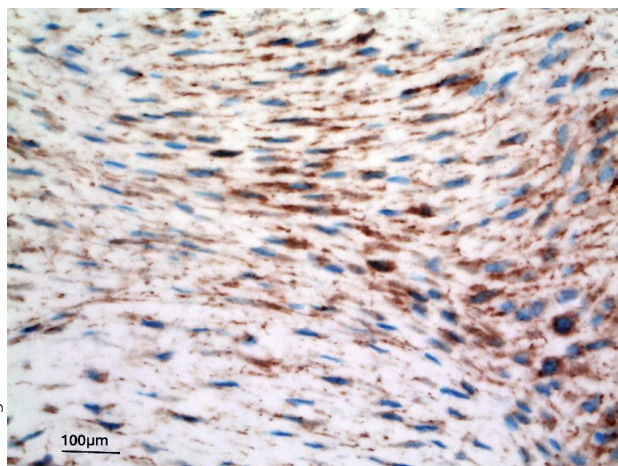
### Operative Therapieoptionen

#### Rahmenbedingungen

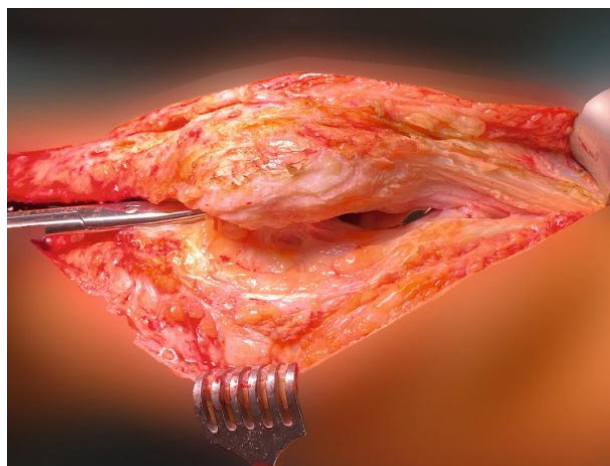
Während bei operationstechnisch bedingten Ursachen einer Bewegungs-

einschränkung diese schnellstmöglich behoben werden sollte, ist bei einer arthrofibrotischen Reaktion nach regelhaft verlaufener Operation zunächst das Abklingen von Schmerz und Überwärmung zu beachten [6]. Ein Jahr nach Primäroperation ist dann in der Regel von einem Endzustand auszugehen, insbesondere wenn inflammatorische Reaktionen nicht mehr nachgewiesen werden können [26]. In diesem Stadium ist auch mit schmerzloser Physiotherapie kein Verbesserungszustand mehr zu erwarten. Vor einer Operation sollten eine Implantatfehlposition mit Röntgen und ggf. CT, ein Low-Grade-Infekt, insbesondere bei entsprechender Vorgeschichte und Symptomen wie Nachtschweiß mittels Biopsie ausgeschlossen werden. Die Instabilität einer Endoprothese kann maskiert sein und sich erst nach Arthrolyse zeigen [9]. Oft ist ein hohes Inlay ein Indikator für eine mögliche Insta-

bilität nach Arthrolyse. Das Patellofemoralgelenk sollte im Seitenvergleich evaluiert werden. Die Vorbereitung auf die OP sollte mentale Faktoren umfassen, Belastungssituationen wie bspw. die Pflege des Partners etc. sollte mit dem sozialen Dienst besprochen werden. Eine Nachbehandlung kann je nach Situation ambulant oder stationär erfolgen. Wegen der Rezidivgefahr mit Reaktion auf die OP werden Arthrolyseoperationen derzeit in der Regel kurz stationär geplant. Trotz aller Fortschritte ist eine generalisierte Arthrofibrose im späten Stadium eine schwerwiegende Gelenkschädigung, die viele Gleit-schichten umfasst und nur eingeschränkt operativ wieder hergestellt werden kann. Auf diese Limitierungen muss die Patientin/der Patient hingewiesen werden. Eine Arthrolyse bei Beugefähigkeit von über 90 Grad sollte daher in der Regel abgelehnt werden.



**Abbildung 3** Histologische Sicherung der Diagnose durch Nachweis von  $\beta$ -Catenin im Zytoplasma (braun gefärbt). Die Zellkerne sind blau gegengefärbt.



**Abbildung 4** Ausgeprägte Arthrofibrose mit vollständiger Um-mauerung einer gekoppelten Kniegelenksendoprothese nach Arthrolyse mit Implantatwechsel. In der Regel ist bei diesen Fällen ein Versatz des Streckapparats zum Erreichen einer Beuge-fähigkeit von über 90 Grad erforderlich.

### Arthroskopische Arthrolyse

Eine arthroskopische Arthrolyse kommt insbesondere bei lokalisierter Arthrofibrose nach Kreuzband- oder Knorpelrekonstruktion sowie nach Operationen am Streckapparat (MPFL-Augmentation) in Betracht. Die Zugangswahl richtet sich nach dem Lokalbefund (Abb. 1, 2). Neben den alten Portalen ist häufig ein Zugang im oberen Recessus medial und lateral sinnvoll. Für die dorsale Kapsulotomie hat sich ein posteromedialer und posterolateraler Zugang bewährt. Während ein Zyklus zur Wiedererlangung der Extension ausgeräumt werden muss, kann bei großflächiger Narbenbildung das Durchtrennen der Hauptzüge sinnvoll sein. Die OP erfolgt in Rückenlage mit vorgelegter, aber nicht aktivierter Blutsperre auf dem elektrischen Beinhalter unter akribischer Blutstillung. Häufig ist die Anlage der Zugänge durch die narbige Schrumpfung des Bindegewebes erschwert. Zum Schutz des Gelenkknorpels und der verbesserten Orientierung muss daher erst ein Sichtfenster geschaffen werden und die Präparation dann schrittweise erfolgen. Über die Zugänge erfolgt dann eine Präparation der Gleitschichten mit einer Thermo-Ablationselektrode. Zentral wird das vordere Kreuzband oder Kreuzbandtransplantat präpariert und VERNARBUNGEN mit dem hinteren Kreuzband abgelöst. Das posteriore Kniegelenkskompartiment kann mit der Optik von lateral posteromedial

eingestellt und über Stichinzision eröffnet werden. Hier folgt dann die Präparation nach lateral. Der obere Recessus kann über das laterale superiore und mediale superiore Portal bis zur Mitte des Oberschenkels mit einer entsprechend langen Thermoablations-elektrode eröffnet werden. Bei Patella baja wird das Narbengewebe des Hoffa-Fettkörpers im oberen und unteren Anteil inzidiert, da eine vollständige Entfernung häufig zu einer weiteren Verkürzung der Patellarsehne führt. Eine Redondrainage ist dadurch häufig vermeidbar oder kann frühzeitig nach 24 Stunden entfernt werden.

### Mini-offene Arthrolyse

Im eigenen Vorgehen hat sich bei Arthrolysen nach Kniegelenksendoprothese die mini-offene Arthrolyse durchgesetzt. Das Verfahren zeigt die gleichen Ergebnisse wie offene Arthrolysen bei geringerer Komplikationsrate. Im Gegensatz zur arthroskopischen Arthrolyse ist das Anschwellen des Gewebes durch die Vermeidung von Spülflüssigkeit gering und die frühzeitigen Ergebnisse sind dadurch verbessert. Unter den Rahmenbedingungen der DRGs nach Reform 2024 ist die arthroskopische Arthrolyse als ambulante Operation zu planen, eine offene Arthrolyse kann aber weiterhin mit dem Code 5–800.6h kodiert werden und wird dann in die DRG I30C gruppiert. Über einen anterolateralen Zugang lassen sich Narben des oberen Recessus,

bis zur Oberschenkelmitte, sowie distal bis zur Tuberositas Tibiae erreichen. Bei Patella baja können Narben peripatel-lär am unteren Pol über einen lateralen parapatellaren Zugang verbessert erreicht werden. Eine dorsale Kapsulotomie ist über ein posteromediales Fenster möglich (Abb. 2). Das Verfahren kann bei lateraler parapatellarer Arthrofibrose zu einer lateralen Retinaculoplastik erweitert werden. Der Verschluss des Gelenks erfolgt dann in 90 Grad Beugstellung. Eine Redon Drainage wird allenfalls kurzzeitig eingelegt. In den meisten Fällen ist ein Single Shot Femoralis Block ausreichend und die postoperative Schmerztherapie kann sogar in vielen Fällen ohne die Verwendung von Opiat-Analgesie mit einem visuellen analogen Schmerzscore von unter 5 erfolgen.

### Offene Arthrolyse

Die offene Arthrolyse ist schweren Fällen, insbesondere nach Implantation einer Revisionsendoprothese vorbehalten [11]. Die Komplikationsrate steigt und somit muss auch die Aufklärung über Risiken ausführlicher erfolgen. Bei ausgedehnter Narbenbildung und bei Notwendigkeit eines Endoprothesenwechsels ist dies häufig die einzige Option, um eine Flexion von über 90 Grad zu realisieren. Der Streckapparat kann hier durch langstreckiges Ablösen der Tuberositas Tibiae (ca. 7 cm) proximalisiert werden. In der englischsprachigen Literatur wird immer wieder auf die Be-

deutung der Durchtrennung der Quadricepssehne (sog. quadriceps snip) hingewiesen [13]. Dies vermeiden wir vor dem Hintergrund der daraus resultierenden und häufig lang andauernden Insuffizienz des Streckapparates. Die OP nach Judet ist nur in seltensten Fällen erforderlich (Abb. 2). Die dafür geeigneten Patientinnen und Patienten haben nach Infektion oder Trauma eine erhebliche Versteifung des gesamten Streckapparates bis hin zur Oberschenkelmitte und darüber hinaus. Hier ist eine isolierte Therapie intraartikulär oftmals nicht ausreichend, um eine Flexion von über 90 Grad zu erreichen. Vielmehr wird der gesamte Streckapparat von lateral präpariert und die Sehne des m. rectus femoris z-förmig verlängert. Der Vorteil ist der Erhalt der Streckfähigkeit unmittelbar postoperativ.

### TEP Wechsel

Zwar ist der TEP Wechsel der scheinbar effektivste Eingriff, um periartikuläre Narben zu beseitigen, dieser bringt aber gleichzeitig mehrere Nachteile mit sich:

- In der Regel sind als Sekundärimplantat gekoppelte Revisionssysteme mit langen Schäften erforderlich.
- Die Standzeit von Revisionsimplantaten ist im Endoprothesenregister gegenüber Primärimplantaten signifikant reduziert [7, 27].
- Ein Rezidiv kann sich trotz oder gerade wegen der großen Wundflächen und des möglichen hohen postoperativen Schmerzniveaus ausbilden.

Im eigenen Vorgehen wird der TEP Wechsel daher Fällen mit deutlicher Instabilität, insbesondere des medialen Bandapparates nach Arthrolyse und septischen Situationen vorbehalten (Abb. 4, 5). Der Low-Grade-Infekt nimmt hier eine Sonderstellung ein, da es hier regelmäßig nach Wechsel zu einem erheblichen fibrotischen Umbau des periartikulären Gewebes kommt. In diesen Fällen ist ein hohes Schmerzniveau zu erwarten und in der Regel ist eine Arthrolyse nach dem Implantatwechsel erforderlich. Somit zeigen im eigenen Kollektiv Patientinnen und Patienten mit durchgeführtem TEP Wechsel bei Low-Grade-Infektion das schlechteste Langzeitergebnis.



Abb. 5 M. Jagodzinski

**Abbildung 5** Nach Durchtrennen und Teilentfernen der straffen Fibroseplatte, die häufig Schuhsohlen ähnliche Konsistenz erreicht, wird ein 7 cm langer Tuberositasstreifen kranialisiert in der gewünschten Flexionsstellung fixiert. Die Nachbehandlung erfolgt unter Vollbelastung aus der Beugstellung heraus.

### Nachbehandlung

Die Grundsätze der Nachbehandlung sind im Folgeartikel dargestellt. Zusammengefasst ist eine schmerzreduzierende Nachbehandlung abseits des operierten Gelenks (Lymphdrainage, Kontrolle des Quadriceps, Muskeldetensionierung, sicheres Gangbild und Abrollverhalten) sinnvoll. Ein Schmerzprotokoll sollte geführt werden und eine Schmerztherapie langfristig angepasst erfolgen. Die Therapiemaßnahmen können ambulant oder stationär erfolgen. Eine Bewegungsschiene sollte nicht unkontrolliert eingesetzt werden und das Anschwellen des periartikulären Gewebes durch repetitiven Dehnungsstress sollte unterbleiben. Die Grundsätze der Nachbehandlung gleichen dem Vorgehen bei postoperativer Diagnose einer Arthrofibrose und wurden bereits dargestellt [17].

### Ergebnisse

Im eigenen Vorgehen konnten in den vergangenen 10 Jahren bei 272 Arthrolysen eine durchschnittliche Verbesserung des Bewegungsumfanges von 22,7 Grad nach 2 Jahren Follow-up erreicht werden. Die Verbesserung der Streckung war dabei geringer als die der Beugung (2,9 versus 19,8 Grad). Nur in wenigen Fällen (n = 3) verschlechterte sich die Beweglichkeit oder blieb unverändert. Die Ergebnisse waren abhängig von der Genese der Arthrofibrose posttraumatisch besser als nach Endoprothesenimplantation. Der Schmerz blieb durch die Arthrolyse unverändert mit hohen Schwankungen im Kollektiv. Zwischen offenen Arthrolysen mit knöchernen Eingriffen, wie

bspw. einem TEP Wechsel oder einem Tuberositas-Versatz, und mini-offener Arthrolyse sowie arthroskopischer Arthrolyse zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Endergebnis bei höherem Komplikationspotenzial (3 Blutungen mit Gelenkrevision, 2 Infektionen, davon 1 mit Arthrodesse, über 40 % der Patientinnen und Patienten mit erneutem Schraubstockgefühl), so dass heute in den meisten Fällen eine mini-offene Arthrolyse mit kurzstationärer Behandlung erfolgt.

### Interessenkonflikte:

M. Jagodzinski: Projektbezogene Forschungsförderung der AFOR Foundation.  
V. Krenn, P. Traut: Keine angegeben.

**Das Literaturverzeichnis zu diesem Beitrag finden Sie auf:**  
[www.online-oup.de](http://www.online-oup.de).



Foto: Agaplesion  
Ev. Klinikums Schaumburg

**Korrespondenzadresse**  
 Univ.-Prof. Dr. Michael Jagodzinski  
 Agaplesion Ev. Klinikums Schaumburg  
 Zum Schaumburger Klinikum 1  
 31683 Obernkirchen  
[michael@jagodzinski.com](mailto:michael@jagodzinski.com)

## NEUE PELOTTE FÜR DIE LUMBOTRAIN ZUR SCHMERZPUNKTMASSAGE

### Verspannungen im Lendenwirbelbereich lösen

Leiden Patienten an lumbalen Rückenschmerzen, hilft die LumboTrain durch zirkuläre Kompression und sanftes Massieren bei Bewegung. Jetzt hat die Rückenbandage von Bauerfeind eine neue Pelotte mit flexiblen und rückfedernden Noppen. Das 4ActivePad wirkt vielfältig auf Schmerzpunkte ein, um die lokale Durchblutung zu fördern und Verspannungen im Lendenwirbelbereich zu lösen.

Sobald Rückenpatienten und sich bewegen und die Rumpfmuskeln angespannt und wieder entspannt werden, massiert die LumboTrain mit ihrem Kompressionsgestrick und der Pelotte im Lumbalbereich das Gewebe. Dabei wirken mehrere hohe Noppen der Pelotte auf Schmerzpunkte ein. Im neuen 4ActivePad sorgen unterschiedlich feste Komponenten für vielfältige Massage-Effekte: Die flexiblen Noppen am äußeren Rand des Pads üben bei Bewe-



gung eine punktuelle Friktion aus. Die Noppen parallel zur Lendenwirbelsäule sind rückfedernd gelagert und bilden im Verbund sechs Einheiten, die bei Bewegung das Gewebe leicht dehnen. Die Kombination von Druck und Dehnung wirkt entspannend auf die tiefliegende Rückenmuskulatur, um

Verhärtungen und myofasziale Verspannungen zu lösen.

Die Mikromassagen stimulieren ebenfalls Propriozeptoren im Lendenwirbelbereich. Das unterstützt in der Rückkopplung eine verbesserte Ansteuerung der Rumpfmuskulatur und aktiviert körpereigene Stabilisierungsprozesse. Anders et al. (2019) konnten in einer randomisiert-kontrollierten Studie mit dem Vorgängermodell belegen, dass die Wirkweise der viskoelastischen Pelotte und des Kompressionsgestricks der LumboTrain nachweislich zu einer erhöhten Muskelaktivität der Rumpfmuskulatur und einer beschleunigten Schmerzreduktion bei Patienten mit nicht-spezifischen lumbalen Rückenschmerzen führt.

**Bauerfeind AG**, Triebeser Straße 16,  
07937 Zeulenroda-Triebes,  
info@bauerfeind.com,  
www.bauerfeind.de

## EFFEKTIVE UNTERSTÜTZUNG DURCH BANDAGEN UND ORTHESEN

### Sprunggelenksläsionen behandeln



Das Sprunggelenk ist besonders hohen Belastungen ausgesetzt und anfällig für akute Verletzungen sowie chronische Überlastungsreaktionen. Diese können Bänder, Sehnen, Knochen und Gelenkknorpel betreffen und erfordern eine gezielte Therapie. Orthesen spielen hierbei eine entscheidende Rolle und unterstützen einen phasengerechten Heilungsverlauf.

Die innovative Sprunggelenkorthese MALLEODYN® S3 (Abbildung rechts) von Sporlastic ist speziell darauf ausgelegt, sich dem Therapieverlauf in drei Schritten anzupassen. In der Akutphase stabilisiert, entlastet und kühlt sie das Sprunggelenk gemäß der PECH-Regel. Dank der flexiblen, innenschuhartigen Konstruktion und einfachen Handhabung kann die MALLEODYN® S3 nach den drei Abrüstungsschritten zur Sekundärprävention eingesetzt werden.

Die funktionelle Sprunggelenkbandage FIBULO-TAPE® (Abbildung links) kann hingegen bei leichten Verletzungen des Sprunggelenks eingesetzt werden. Durch die lateralen Zügel bietet die Bandage einen Schutz ähnlich wie ein Tape-Verband und stabilisiert dennoch das Sprunggelenk. Daher ist die Bandage auch ideal für den Wiedereinstieg in den Sport geeignet.



Mehr Informationen erhalten Sie unter [www.sporlastic.de](http://www.sporlastic.de)

**SPORLASTIC GmbH Medizinische Produkte**, Weberstraße 1,  
72622 Nürtingen, info@sporlastic.de,  
www.sporlastic.de

# Bei aktivierter Arthrose, Sportverletzungen, Operationen wie Knie- und Hüftgelenksersatz Mit Enzymen Entzündung regulieren

**Eine wesentliche Ursache überschießender Entzündung ist die Dysbalance zwischen pro- und antiinflammatorischen Zytokinen, die letztlich zu Schwellung und Schmerz führt. Hier können Enzyme wie Bromelain und Trypsin sowie das Antioxidans Rutosid regulierend eingreifen. Die Kombination der drei Wirkstoffe – seit langem bewährt bei aktivierter Arthrose, Sportverletzungen und nach Operationen – hat kürzlich in einer Studie zum Hüftgelenksersatz erneut ihre Effektivität und Verträglichkeit gezeigt [1].**

Für Patienten mit totalem Hüftgelenksersatz ist die frühe Mobilisation nach der Operation (OP) von großer Bedeutung, sie wird jedoch durch Schmerzen limitiert. In einer prospektiven, doppelblinden, randomisierten, placebokontrollierten Studie wurden 33 erwachsene Patienten vor der OP nach dem Zufallsprinzip in zwei Gruppen eingeteilt: 15 Personen erhielten eine systemische Enzymtherapie (SET) mit den Inhaltsstoffen natürlichen Ursprungs Bromelain, Trypsin und Rutosid (Wobenzym®) im Zeitraum vier Tage vor der OP bis 42 Tage nach der OP; nur am Tag des Eingriffs selbst wurde die SET-Gabe ausgesetzt. Die 18 Patienten der Kontrollgruppe erhielten ein Placebo. Postoperativ durften alle Patienten Analgetika wie Metamizol, Diclofenac oder Paracetamol anwenden, und alle Studienteilnehmer erhielten eine gerinnungshemmende Begleittherapie mit Rivaroxaban [1].

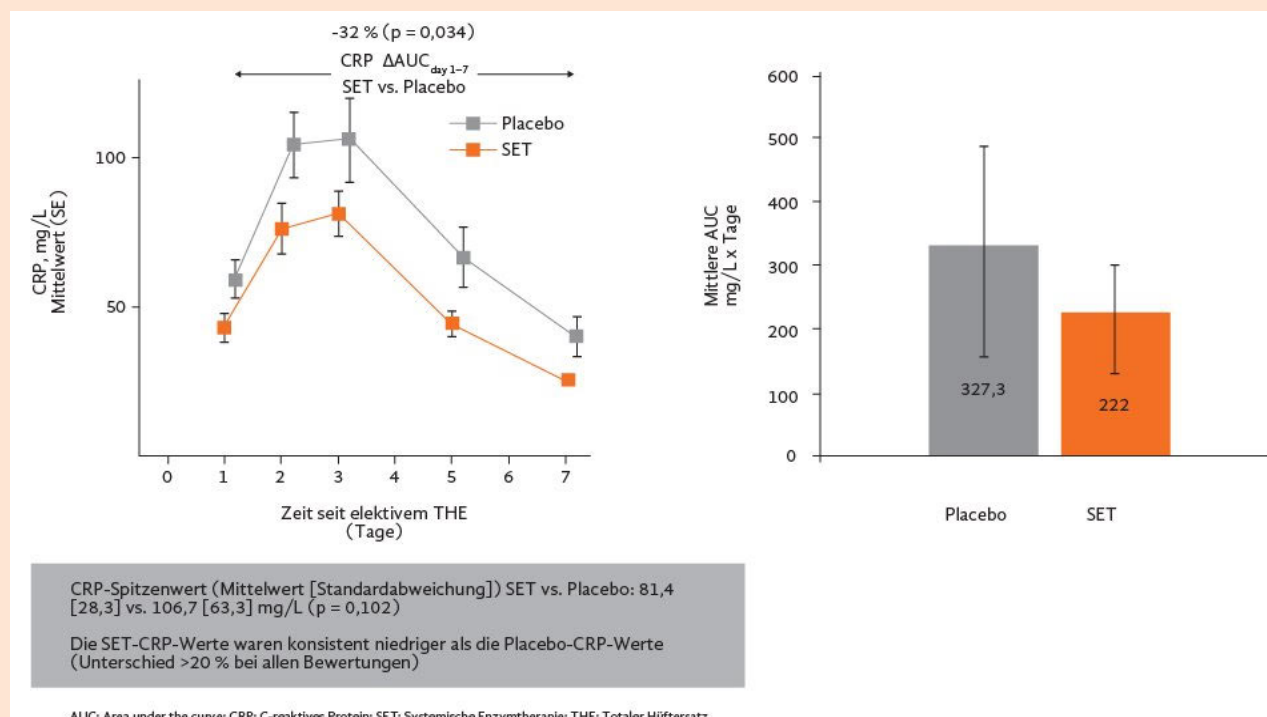
## Reduktion von Schmerz und CRP nach Hüft-OP

Gemessen wurde in der Studie u.a. der Entzündungsmarker C-reaktives Protein (CRP). Sowohl der Spitzen- als auch der Mittelwert des CRP waren unter der SET geringer; die Area under the Curve (AUC) über die ersten sieben Tage war im Vergleich zu Placebo signifikant um 32 % reduziert ( $p = 0,034$ ; Abb. 1) [1].

Der postoperative Schmerz wurde mittels visueller Analogskala (VAS) ermittelt. Die SET konnte die Schmerzen in der ersten Woche nach der Operation – zusätzlich zur standardmäßigen perioperativen Analgesie – schnell lindern. Der Analgetikaverbrauch war in der SET-Gruppe tendenziell geringer als in der Kontrollgruppe unter Placebo [1].

## Kein Unterschied in den Gerinnungsparametern

Da Bromelain, ein Bestandteil der aktiven Studienmedikation, möglicherweise die Gerinnung beeinflussen kann, wurden eigens die Hämostase-Parameter Anti-Faktor-Xa, aktivierte partielle Thromboplastinzeit (aPTT), Prothrombinzeit (PTZ) und Fibrinogen untersucht. Dabei wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen beobachtet. Die Verträglichkeit war in der Studie allgemein gut und zwischen den beiden Gruppen vergleichbar [1].



**Abbildung 1** (links): CRP-Level in der frühen postoperativen Phase unter SET vs. Placebo; (rechts): Area under the Curve (AUC) der CRP-Level. (mod. nach [1])

## Metaanalyse zu Kniearthrose bestätigt gute Verträglichkeit

In einer Metaanalyse wurden die Patientenrohdaten aus sechs Studien zum Einsatz der SET bei Kniearthrose zusammengefasst. Die Metaanalyse schloss insgesamt 774 Patienten ein, die

- entweder mit der SET (Wobenzym®, 3 x 2 Tabletten/Tag, dazu Diclofenac-Placebo)
- oder mit Diclofenac (100 – 150 mg/Tag, dazu SET-Placebo) behandelt worden waren. Die Intention-to-Treat- (ITT-) Population umfasste 697 Patienten. Die Studien dauerten 3, 6 oder 12 Wochen [2].

Die Wirksamkeit der Therapien wurde mit Hilfe des Lequesne Algofunctional Index (LAFI) erfasst. Er beinhaltet 3 Abschnitte mit insgesamt 11 Fragen zum Schmerz in Ruhe, beim Aufstehen, Stehen und Gehen, zur Gehstrecke und zum Gebrauch von Gehhilfen sowie zu verschiedenen Alltagsfertigkeiten. Die Auswertung zeigte eine vergleichbare Verbesserung von Kniegelenksfunktion und Schmerz unter SET vs. Diclofenac [2].

Dabei traten unter SET signifikant weniger AE auf als unter dem nicht-steroidalen Antirheumatikum (NSAR) Diclofenac: Mit der Behandlung aufkommende unerwünschte Ereignisse (treatment-emergent adverse events, TEAE) wurden bei insgesamt 14,7 % vs. 21,1 % der Patienten beobachtet ( $p = 0,021$  zugunsten der Enzymtherapie). Bei 5,9 % der Patienten unter Enzymtherapie vs. 10,2 % derjenigen unter NSAR-Gabe hatten die UE zum Studienabbruch geführt ( $p = 0,03$  zugunsten der Enzymtherapie) [2].

## Wirkmechanismus der systemischen Enzymtherapie

Die systemische Enzymtherapie hat einen komplexen Wirkmechanismus. So wirkt Bromelain – ein pflanzliches Enzym aus dem Strunk der Ananas – u.a. abschwellend bzw. ödemlindernd. Trypsin, ein Pankreasenzym, wirkt antiinflammatorisch und durchblutungsfördernd. Und Rutosid, ein antioxidativer sekundärer Pflanzenstoff aus dem japanischen Pagodenbaum, wirkt ebenfalls perfusionsfördernd und außerdem gefäßabdichtend [3].

Maßgeblich für die Entzündungsregulation unter dieser Kombinationstherapie ist die Bindung der Enzyme an freies Alpha-2-Makroglobulin. Sie führt zur Aktivierung dieses Akute-Phase-Proteins und macht es aufnahmefähig für freie, überschüssige (oftmals pro-inflammatorische) Zytokine. Makrophagen entsorgen schließlich das aktivierte Alpha-2-Makroglobulin zusammen mit den irreversibel gebundenen Zytokinen und sorgen so für eine Balance im Entzündungsprozess [3]. So kann der körpereigene Heilungsprozess unterstützt werden.

## Anwendung der SET: Was ist zu beachten?

Die SET mit Bromelain, Trypsin und Rutosid (Wobenzym®) ist zugelassen zur unterstützenden Behandlung von Erwachsenen bei Entzündungen, Schwellungen oder Schmerzen als Folge von Traumata, Thrombophlebitis, schmerzhaften und aktivierten Arthrosen und Weichteilrheumatismus sowie auch Entzündungen des Urogenitaltrakts [4].

Bei einer akuten inflammatorischen Erkrankung oder einem Trauma – etwa einer Sportverletzung – empfiehlt sich erfahrungsgemäß die Einnahme von morgens und abends jeweils 6 Tabletten in der ersten Woche, danach morgens und abends je 3 Tabletten. Da die Enzymtherapie bis zur vollen Entfaltung ihrer Wirkung 1 bis 3 Wochen benötigt, ist anfangs eine parallele Einnahme klassischer nicht-steroidaler Antirheumatika (NSAR) sinnvoll, die nach Rücksprache mit dem Arzt jedoch schon bald beendet werden kann. Die SET kann bis zum Abklingen der Symptome eingenommen werden.

Bei chronischen Entzündungen werden morgens und abends je 3 Tabletten eingenommen; in der täglichen Praxis hat sich eine mindestens zweimonatige Kur bewährt.\*

Zur Gewährleistung der optimalen Wirkung sollte die Einnahme außerhalb der Mahlzeiten – also mindestens 30 min vor oder 90 min nach dem Essen – erfolgen [4].

\* Da die Enzymtherapie mit Wobenzym® gut verträglich ist, ist sie für die Langzeitbehandlung geeignet. Ohne ärztlichen Rat Einnahme nicht länger als 2 Wochen. Wobenzym® ist apothekenpflichtig, aber nicht rezeptpflichtig.

## Literatur

1. Vosáhlo J et al.: Ther Adv Musculoskelet Dis 2023; 15: 1759720X231186875.
2. Überall MA et al.: J Pain Res 2016; 9: 941–961.
3. Henrotin YE et al.: Rheumatol Ther 2022; 9: 1305–1327.
4. Fachinformation Wobenzym® magensaftresistente Tablette, Stand: Mai 2017.

## Autorin: Simone Reisdorf

Diese Sonderpublikation erscheint im Auftrag und inhaltlichen Verantwortungsbereich der MUCOS Emulsionsgesellschaft GmbH, Mirastr. 17, 13509 Berlin.

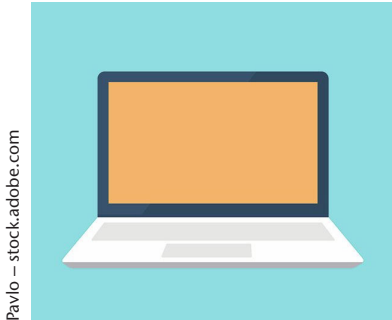
Diese Rubrik enthält Beiträge, die auf Unternehmensinformationen basieren. Einzelne Beiträge sind ganz oder teilweise von einem Unternehmen gesponsert und separat gekennzeichnet. Diese Rubrik erscheint außerhalb der Verantwortung der Schriftleitung der OUP – Orthopädische und Unfallchirurgische Praxis.

## Pflichttext

**Wobenzym® magensaftresistente Tablette.** Qualitative u. quantitative Zusammensetzung: Wirkstoffe: Bromelain, Trypsin, Rutosid-Trihydrat. 1 magensaftres. Tabl. enth. Bromelain 67,5–76,5 mg (eingest. auf 450 F.I.P.–Einh.), Trypsin 32–48 mg (eingest. auf 24 µkat), Rutosid-Trihydrat 100 mg. Sonst. Bestandt.: Lactose-Monohydrat, vorverkl. Stärke (Mais), Magnesiumstearat (pfl.), Stearinsäure, ger. Wasser, hochdisp. Siliciumdioxid, Talkum, Maltodextrin. Filmüberzug: Methacrylsäure-Methylmethacrylat-Copolymer (1:1), Titandioxid (E 171), Macrogol 6000, Talkum, Triethylcitrat, Vanillin. Anwendungsgebiete: Z. unterstütz. Behndl. v. Erw. b.: Entzünd., Schwell. o. Schmerz. als Folge v. Traumen; Thrombophlebitis; Entzünd. d. Urogenitaltraktes; schmerz. u. aktiviert. Arthrosen u. Weichteilrheumatismus. Gegenanzeigen: Überempfg. geg. d. Wirkstoffe, Ananas o. e. d. sonst. Bestandt.; Kinder u. Jugendl. < 18 Jahren; Schwangerschaft u. Stillzeit; b. Pat. m. angeb. o. erworb. Blutgerinnungst., z.B. Hämophilie; schw. Leber- u./o. Nierenschäden; unmittelbar v. e. chirurg. Eingriff; gleichz. Anw. v. Antikoagulantien u./o. Thrombozytenaggregationshemmern. Nebenwirkungen: Gelegentlich: Völlegef., Flatulenz, Veränd. d. Stuhls i. Beschaffenh., Farbe u. Geruch; asthmähnli. Beschw. Selten: Beschw. i. Magen-Darm Trakt, Magen-Darm-Krämpfe, Ausschlag, Pruritus, Erythem, allerg. Reakt. Sehr selten: Diarrhoe, Übelkeit, Erbrechen, Hungergef., Hyperhidrosis, Kopfschmerz. Warnhinweis: Enth. Laktose. Inhaber der Zulassung: MUCOS Pharma GmbH & Co. KG, Mirastraße 17, 13509 Berlin. Stand der Information: 06/2017. Apothekenpflichtig.

# Mit hoher Muskelkraft und Muskelmasse zu mehr Lebensqualität und gesunden Lebensjahren?

## Eine Beurteilung auf wissenschaftlicher Faktenlage



Pavlo – stock.adobe.com

Wurde Ihnen als Kind mal gesagt, dass ein kräftiger Händedruck ein wichtiges Merkmal nonverbaler Kommunikation für das Gegenüber ist und dass man auf diesem Wege einen selbstbewussten Eindruck hinterlassen kann?

Ein fester Händedruck kann allerdings noch viel mehr über Sie aussagen. Er ist sogar ein gut erforschter Indikator für Robustheit im höheren Alter und damit indirekt für Langlebigkeit.

Und damit freue ich mich, Ihnen in der heutigen Kolumne den zweiten aussagekräftigsten Parameter für langfristige Gesundheit vorstellen zu dürfen: Muskelkraft bzw. Muskelmasse. Wer hätte gedacht, dass das Image der Krafttrainierenden aus den zwielichtigen Hinterhof-Studios mit muskelbepackten Bodybuildern mal zu einem der zentralsten Gesundheitsparameter werden könnte? Und noch wichtiger, warum ist das so?

Es gibt viele Gründe, daher konzentrieren wir uns mal auf einige wichtige: **Gesundheit ist auch im hohen Maße Risikomanagement.** Auf dieser Grundlage erkennen wir mit zunehmendem Alter 2 entscheidende Trends und einen daraus resultierenden zusätzlichen Risikofaktor.

### Trend 1: Sturzrisiko

Das Risiko zu stürzen, nimmt mit dem Alter zu. Diese Stürze haben im höheren Alter oft fatalere Folgen als bei jüngeren Menschen. Die Letalität in den ersten 12 Monaten nach einem Oberschenkelhalsbruch liegt bei älteren Menschen im 8. Lebensjahrzehnt bei knapp 27% und nach 2 Jahren bei über 36 %. Das bedeutet, dass im ersten Jahr nach diesem Sturzereignis mindestens jeder vierte Betroffene stirbt und nach 2 Jahren über 1/3 versterben.<sup>1</sup> Darüber hinaus weisen Statistiken darauf hin, dass die Häufigkeit von Stürzen bis 2030 noch weiter zunehmen und somit auch absolut gesehen die Sturzfolgen mit allen Facetten weiter zunehmen werden. Eine stärkere Muskulatur schützt erwiesenermaßen ebenso wie die Fähigkeit, die notwendige Muskelkraft im Falle eines drohenden Sturzes aufbringen zu können. Beides wird durch Krafttraining in jeder Lebensdekade und vor allem im Alter gefördert.

### Trend 2: Allgemeine Inaktivität

Inaktivität nimmt im Alter zu und damit wird dem natürlichen Abbau an Muskeln Tür und Tor geöffnet. Dieser beginnt im Übrigen schon mit Mitte 20, wenn nicht gezielt gegengesteuert wird. Die Muskelmasse nimmt dann um ca. 1 % pro Jahr ab – im Gegenzug nimmt die Körperfettmasse bei vielen Menschen kontinuierlich zu ... ein schlechter Tausch!

Fehlende Bewegung im Allgemeinen lässt nahezu alle Bereiche des Körpers abbauen. So kann adäquates Krafttraining die Knochendichte fördern und vor allem die Typ-2-Muskelfasern aufbauen, die für ihre schnelle und kräftige Kontraktion bekannt sind. Was braucht ein Mensch, der strauchelnd versucht, mit einem Ausfallschritt einen Sturz zu vermeiden? Genau, Typ-2-Muskelfasern. Muskeln können während eines Trainings hunderte Myokine (Botenstoffe) produzieren, die dann in einer vielfach höheren Konzentration im Körper zirkulieren. Myokine wirken vielfältig, z.B. auf das Immunsystem, Gehirn, in der Entzündungsregulation, Stoffwechselbalance u.v.m. Folglich stellt ein Muskeltraining grundlegend die Weichen, um den grassierenden Krankheiten einer modernen Gesellschaft wirkungsvoll zu begegnen. Um nur einige zu nennen: Diabetes mellitus Typ 2, Herz-Kreislaufkrankungen, Demenz und selbst Tumorerkrankungen. Abhängig von der Art des Muskeltrainings lassen sich hier noch gezieltere Effekte erreichen. Sport ist daher in vielen Leitlinien integraler Bestandteil der Therapie und gilt unbestritten als einer der wirkungsvollsten Präventionsmethoden!

### Risikofaktor Neben- und Wechselwirkungen der Medikamente

Die meisten Krankheiten werden medikamentös behandelt. Im Alter kommen bei Patientinnen und Patienten ab dem 65. Lebensjahr schnell mal 5 parallel eingenommene Präparate zusammen. Bei Hochbetagten sogar oft 10 oder mehr. Medikamente verursachen nicht selten Wechselwirkungen. Auch können sie falsch eingenommen, auf eigene Faust als freiverkäufliche Substanzen zusätzlich in der Apotheke gekauft (z.B. Schmerzmittel) oder von verschiedenen Personen verordnet worden sein. Ihre Nebenwirkungen können wiederum das Sturzrisiko erhöhen und sind eine Begleiterscheinung eines allgemein schlechteren Gesundheitszustandes.

1. Müller-Mai C: Einjahresverläufe nach Schenkelhalsfraktur des älteren Patienten – Auswertung von Krankenkassendaten. 12. Deutscher Kongress für Versorgungsforschung. Berlin, 23.-25.10.2013. Düsseldorf: German Medical Science GMS Publishing House; 2013. DocT2–11–420. doi: 10.3205/13dkvf016  
2. Fritzen AM et al.: Preserved Capacity for Adaptations in Strength and Muscle Regulatory Factors in Elderly in Response to Resistance Exercise Training and Deconditioning, Clin Med 2020; 9: 2188.

### Und deshalb das Wichtigste: Prävention ist die beste Medizin

Der Moment, in dem Menschen mit regelmäßigem Sport und Bewegung sowie insbesondere mit Krafttraining beginnen sollten, ist HEUTE (und das nur, weil gestern schon vorbei ist). Denn es geht darum, einen Abbau der eigenen Ressourcen zu verlangsamen und von einem „höheren Level zu starten“ bzw. den Beginn von Gesundheitsbeeinträchtigungen möglichst lange hinauszuzögern. Über chronische Erkrankungen wissen wir heute aus Praxis und Forschung, dass sie mit längeren Vorlaufzeiten entstehen und eine Progression haben.

- Ein Diabetes Typ 2 entsteht nicht über Nacht.
- Muskeln bauen sich nicht plötzlich so stark ab, dass man von einem krankhaften Muskelschwund sprechen kann.
- Eine „behandlungswürdige“ Arterienverkalkung zeigt sich nicht aus dem Lebensstil einer einzelnen Grill-& Cocktail-Saison im Sommer. Das sind Jahrzehnte.

### Und deshalb jetzt ganz praktisch

1. Berücksichtigen Sie Ihre Vorlieben und Möglichkeiten: Egal, ob mit Kurzhanteln zuhause, im Fitnessstudio an Geräten oder im Turnverein um die Ecke, ein Training kann unter allen Umständen wirkungsvoll durchgeführt werden. Hier gilt jedoch als Voraussetzung für alle, die nach einer Trainingspause wieder einsteigen oder sich zum ersten Mal dem Krafttraining zuwenden, der Grundsatz: nach 3 Monaten mit Freude auf das Training zurückschauen und verletzungsfrei bleiben.
2. Außerdem gilt je trainingsunerfahrener eine Person ist, desto wichtiger/sinnvoller kann professionelle Unterstützung durch ausgebildete Trainer sein.
3. Fokus auf (Rumpf-)Stabilität und Kräftigung von Gesäß-, Oberschenkel-, Waden- und Fußmuskeln: Alle spielen bei der Sturzprophylaxe eine entscheidende Rolle. Zusätzlich auf den Erhalt der Mobilität im Sprunggelenk und eine gute Balance achten. Letztere kann durch entsprechende Trainingsmethoden effektiv mittrainiert werden (z.B. schon in einer tiefen Hocke).
4. Trainieren Sie Ihre Muskeln intensiv: Nachgewiesen beispielsweise in einer Studie, die mit einem Krafttraining von 5 Sätzen je 5 Wiederholungen bei 85 % der persönlichen Maximalkraft (1 Wiederholungsmaximum) über 6 Wochen und 2–3 Einheiten pro Woche durchgeführt wurde. Diese Art von Training spricht vor allem die Typ-2-Muskelfasern an.<sup>2</sup>
5. Gerade mit zunehmendem Alter wird die Zufuhr von Proteinen immer wichtiger: Da die Muskeln weniger sensitiv für Aminosäuren werden, empfehle ich mindestens 1,6 Gramm pro Kilogramm Körpergewicht. Quellen können pflanzlich und tierisch sein. Wem dies durch die natürliche Ernährung schwerfällt, kann auf Proteinshakes und Aminosäuren-Präparate zurückgreifen. Bei eingeschränkter Leber- oder Nierenfunktion oder anderen Störungen sollte Rücksprache mit dem Arzt oder der Ärztin gehalten werden.
6. Aus meiner Sicht gibt es 2 kritische Altersgrenzen: Vor dem 50. und vor dem 65. Lebensjahr lohnt es sich besonders, das körperliche Training mit höherer Priorität zu verfolgen. Bei Frauen sind zusätzlich die „erdrutscharti-

gen“ Veränderungen der Hormone im Zuge der Wechseljahre zu beachten, die von Hormonexperten medizinisch begleitet werden können.

7. Bewusst Zeiten für das eigene Training wie bei einem wichtigen Termin im Kalender blocken: Unter Umständen eigene Prioritäten prüfen ...

### Das Beste zum Schluss

Sind Sie schon in Ihrem goldenen Lebensalter oder haben Ihre Lieben die Altersgrenze von 65 Jahren längst überschritten? Fragen Sie sich, ob es sich noch lohnt, mit Krafttraining anzufangen? Die Antwort ist ein klares **JA!**

Die bereits oben angerissene dänische Studie aus dem Jahr 2020 verglich die Trainingserfolge nach 6 Wochen Quadrizeps-Training zwischen 9 jungen gesunden ( $22 \pm 2$  Jahre alt) und 9 älteren Personen ( $82 \pm 7$  Jahre alt). Das Ergebnis ist, dass beide Gruppen nahezu identische Trainingsfortschritte erreicht hatten (jung  $83,5\%$ ;  $178,2 \pm 44,2$  kg und alt  $78\%$   $95 \pm 22$  kg), lediglich die absoluten Kraftwerte waren durch die verschiedenen Ausgangsniveaus unterschiedlich. Weitere Details können in der Studie nachgelesen werden.<sup>2</sup> Der Körper kann sich in jedem Alter an Trainingsreize anpassen.

Wer ein effizientes Training sucht, dem empfehle ich das FOX-Akademie-Training. In 10 Minuten wird durch ein Ganzkörpertraining mit Reaktivkrafthanteln intensiv trainiert. Unabhängig von Alter, Fitnesslevel oder Einschränkungen: Es lohnt sich immer, sich um Muskelkraft und -masse zu kümmern!

Unter [www.fox-hantel.de](http://www.fox-hantel.de) erfahren Sie mehr zum FOX-Training oder einfach den QR Code scannen. Jetzt mit dem Gutscheincode FOX-OUP 10% Rabatt erhalten.



So möchte ich jedem Menschen, unabhängig von bestehenden Einschränkungen, dem aktuellen Lebensabschnitt und dem Lebensalter ans Herz oder vielmehr an den Muskel legen, sich regelmäßig und angemessen, um die Entwicklung der Muskelkraft und -masse zu kümmern. Es lohnt sich also immer!

**Herzliche Grüße,  
Ben Baak**



Foto: privat

### Korrespondenzadresse

**Dr. Ben Baak**  
Rhedung 62A  
41352 Korschenbroich  
Tel. 02161 2771820  
[info@benbaak.de](mailto:info@benbaak.de)

### Herausgebende Gesellschaft / Publishing Institution

Vereinigung Süddeutscher Orthopäden und  
Unfallchirurgen e.V. (VSOU)  
Postfach 100146  
76482 Baden-Baden  
info@vsou.de, www.vsou.de

### Herausgeber / Editors

Prof. Dr. med. Lars Victor von Engelhardt  
Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie  
und Sportmedizin  
Klinikum Peine – Akademisches Lehrkrankenhaus  
der Medizinischen Hochschule Hannover  
Virchowstr. 8h, 31226 Peine

Dr. med. Bodo Kretschmann  
ortho trauma praxis markgräferland  
Werderstr. 47, 79379 Müllheim

### Verantwortlicher Redakteur i. S. d. P. / Editor in Chief

Prof. Dr. med. Lars Victor von Engelhardt  
Klinik für Unfallchirurgie, Orthopädie  
und Sportmedizin  
Klinikum Peine – Akademisches Lehrkrankenhaus  
der Medizinischen Hochschule Hannover  
Virchowstr. 8h, 31226 Peine

### Schriftleitung / Editorial Board

1. PD Dr. med. Erhan Basad, ATOS-Klinik  
Bismarckstr. 9–15, 69115 Heidelberg
2. Prof. Dr. med. Achim Benditz, MHBA,  
KU Klinikum Fichtelgebirge Marktredwitz  
Schillerhain 1–8, 95615 Marktredwitz
3. Prof. Dr. med. Lars Victor von Engelhardt
4. Prof. Dr. med. Guido Heers  
Vitos Orthopädische Klinik Kassel  
Wilhelmshöher Allee 345, 34131 Kassel
5. Univ.-Prof. Dr. med. Mario Perl, MHBA  
Unfallchirurgische und Orthopädische Klinik  
Universitätsklinikum Erlangen  
Krankenhausstr. 12, 91054 Erlangen
6. Prof. Dr. med. Steffen Ruchholtz  
Universitätsklinikum Marburg  
Baldinger Str. 1, 35043 Marburg
7. Prof. Dr. med. Rüdiger Schmidt-Wiethoff  
Arcus Sportklinik  
Rastatter Str. 17–19, 75179 Pforzheim

### Redaktionssekretariat der OUP / Editorial Secretary

Martina Hasenclever  
martina.hasenclever@outlook.de  
Manuskripte und Rückfragen an diese Stelle.

Die **Manuskriptrichtlinien** finden Sie im Internet  
unter [www.online-oup.de](http://www.online-oup.de) zum Herunterladen.

### Wissenschaftlicher Beirat / Scientific Advisory Board

Univ.-Doz. Dr. med. Christian Bach, Feldkirch/  
Österreich; Dr. med. Joern Dohle, Wuppertal;  
Univ. Prof. Dr. med. Susanne Fuchs-Winkelmann,  
Marburg; Univ. Prof. Dr. med. Marcus Jäger, Essen;  
Dr. med. Frieder Mauch, Stuttgart; Dr. med. Stefan  
Middeldorf, Bad Staffelstein; Prof. Dr. med. Andreas  
Roth, Leipzig

### Präsidialbeirat / Presidential Advisory Council

Der Präsidialbeirat setzt sich aus allen Pastpräsi-  
dentinnen und -präsidenten der VSOU-Jahrestagungen  
zusammen. Diese werden nach Ablauf ihrer Prä-  
sidentschaft automatisch in den Präsidialbeirat auf-  
genommen. Eine Übersicht über alle vergangenen  
Jahrestagungen finden Sie unter [www.vsou.de](http://www.vsou.de).

### Verlag /

**Publisher**  
Deutscher Ärzteverlag GmbH  
Dieselstr. 2, 50859 Köln;  
Postfach 40 02 65  
50832 Köln  
Tel. +49 2234 7011-0,  
[www.aerzteverlag.de](http://www.aerzteverlag.de)

### Geschäftsführung / Chief Executive Officer

Joachim Herbst

### Produktmanagement / Product Management

Marie-Luise Bertram,  
Tel. +49 2234 7011-389,  
[ml.bertram@aerzteverlag.de](mailto:ml.bertram@aerzteverlag.de)

### Lektorat / Editorial Office

VSOU-Geschäftsstelle  
Ulrike Klug  
[info@vsou.de](mailto:info@vsou.de)

### Leserbriefe / Letters to the Editor

Leserbriefe senden Sie bitte an die E-Mail-Adresse /  
Please send letters to the editor to the e-mail address  
[info@vsou.de](mailto:info@vsou.de)

### Koordination / Coordination

Jürgen Bluhme-Rasmussen,  
Tel. +49 2234 7011-512,  
[bluhme-rasmussen@aerzteverlag.de](mailto:bluhme-rasmussen@aerzteverlag.de)

### Internet

[www.online-oup.de](http://www.online-oup.de)

### Abonnementservice / Subscription Service

Tel. +49 2234 7011-520,  
Fax +49 2234 7011-6314,  
[abo-service@aerzteverlag.de](mailto:abo-service@aerzteverlag.de)

### Erscheinungsweise / Frequency

6-mal jährlich  
Bezugspreise (inkl. Inlandsporto und gesetzl. MwSt.):  
Jahresabonnement € 98,00  
Jahresabonnement für Studenten € 70,00  
Einzelheftpreis € 18,00  
Auslandsversandkosten (pro Heft) € 2,70  
Die Kündigungsfrist beträgt 6 Wochen zum Ende  
des Kalenderjahres. Gerichtsstand Köln. Für Mit-  
glieder der Vereinigung Süddeutscher Orthopäden  
und Unfallchirurgen e.V. ist der Bezug im Mit-  
gliedsbeitrag enthalten.

### Verantwortlich für den Anzeigenteil / Advertising Coordinator

Marek Hetmann,  
Tel. +49 2234 7011-318,  
[hetmann@aerzteverlag.de](mailto:hetmann@aerzteverlag.de)

### Verkaufsleiter Medizin / Head of Sales Medicine

Marek Hetmann,  
Tel.: +49 2234 7011-318,  
[hetmann@aerzteverlag.de](mailto:hetmann@aerzteverlag.de)

### Verlagsrepräsentanten Industrieanzeigen / Commercial Advertising Representative

Gebiet Nord: Kay Clauberg,  
Tel. +49 2234 7011-306  
Mobil +49 173 6052428,  
[clauberg@aerzteverlag.de](mailto:clauberg@aerzteverlag.de)  
Gebiet Süd: Petra Schwarz,  
Tel. +49 2234 7011-262  
Mobil +49 152 5712 5893,  
[schwarz@aerzteverlag.de](mailto:schwarz@aerzteverlag.de)

### Herstellung / Production Department

Alexander Krauth,  
Tel. +49 2234 7011-278,  
[krauth@aerzteverlag.de](mailto:krauth@aerzteverlag.de)

### Layout

Petra Möller

### Druck / Print

L.N. Schaffrath Druck Medien  
Marktweg 42–50, 47608 Geldern

### Bankverbindungen / Account

Deutsche Apotheker- und Arztebank, Köln,  
Kto. 010 1107410 (BLZ 370 606 15),  
IBAN: DE 2830 0606 0101 0110 7410,  
BIC: DAAEDED, D,  
Postbank Köln 192 50-506 (BLZ 370 100 50),  
IBAN: DE 8337 0100 5000 1925 0506,  
BIC: PBNKDEFF

Druckauflage dieser Ausgabe: 6.000 Ex.

Zurzeit gilt **Anzeigenpreisliste** Nr. 13,  
gültig ab 1.1.2024

Auflage lt. IVW 2. Quartal 2024

Druckauflage: 6.000 Ex.

Verbreitete Auflage: 5.827 Ex.

Verkaufte Auflage: 1.317 Ex.

Diese Zeitschrift ist der IVW-Informations-  
gemeinschaft zur Feststellung der Verbreitung  
von Werbeträgern e.V. angeschlossen.

Mitglied der Arbeitsgemeinschaft LA-MED Kom-  
munikationsforschung im Gesundheitswesen e.V.

12. Jahrgang

ISSN print 2193-5785

ISSN online 2193-5793

This journal is regularly listed in CCMED / LIVIVO /  
EBSCOhost.

### Urheber- und Verlagsrecht / Copyright and Right of Publication

Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt  
und alle Rechte sind vorbehalten. Diese Publika-  
tion darf daher außerhalb der Grenzen des Urheber-  
rechts ohne vorherige, ausdrückliche, schriftliche  
Genehmigung des Verlages weder vervielfältigt  
noch übersetzt oder transferiert werden, sei es im  
Ganzen, in Teilen oder irgendeiner anderen Form.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen,  
Handelsnamen und sonstigen Kennzeichen in  
dieser Publikation berechtigt nicht zu der Annah-  
me, dass diese frei benutzt werden dürfen. Zu-  
meist handelt es sich dabei um Marken und sons-  
tige geschützte Kennzeichen, auch wenn sie nicht  
als solche bezeichnet sind.

### Haftungsausschluss / Disclaimer

Die in dieser Publikation dargestellten Inhalte  
dienen ausschließlich der allgemeinen Information  
und stellen weder Empfehlungen noch Handlungs-  
anleitungen dar. Sie dürfen daher keinesfalls unge-  
prüft zur Grundlage eigenständiger Behandlun-  
gen oder medizinischer Eingriffe gemacht werden.  
Der Benutzer ist ausdrücklich aufgefordert, selbst  
die in dieser Publikation dargestellten Inhalte zu  
prüfen, um sich in eigener Verantwortung zu ver-  
sichern, dass diese vollständig sind sowie dem ak-  
tuellen Erkenntnisstand entsprechen und im Zwei-  
fel einen Spezialisten zu konsultieren.

Verfasser und Verlag übernehmen keinerlei Verant-  
wortung oder Gewährleistung für die Vollständig-  
keit, Richtigkeit und Aktualität der in dieser Publika-  
tion dargestellten Informationen. Haftungsansprü-  
che, die sich auf Schäden materieller oder ideeller  
Art beziehen, die durch die Nutzung oder Nichtnut-  
zung der in dieser Publikation dargestellten Inhalte  
oder Teilen davon verursacht werden, sind aus-  
geschlossen, sofern kein nachweislich vorsätzliches  
oder grob fahrlässiges Verschulden von Verfasser  
und/oder Verlag vorliegt.

© Copyright by Deutscher Ärzteverlag GmbH, Köln

# Das gesamte Kurs- und Prüfungswissen – gut strukturiert und übersichtlich dargestellt!



2. völlig überarbeitete und erweiterte Auflage 2021,  
818 Seiten mit 105 Abbildungen und 119 Tabellen,  
broschiert  
ISBN 978-3-7691-0627-5  
ISBN eBook 978-3-7691-0638-1  
jeweils 79,99 €\*  
Rehabilitationswissenschaftliche Fakultät



Dr. med. Corinna M. Diehl, Fachärztin für Psychosomatische  
Medizin und Psychotherapie, Ärztliches  
Qualitätsmanagement u. a. m.



Dr. med. Christina B. Kremer, Fachärztin für Innere Medizin  
und Nephrologie, Fachärztin für Arbeitsmedizin,  
Sozialmedizin u. a. m.



Dr. med. Rainer G. Diehl, Facharzt für Allgemeinmedizin,  
Sozialmedizin, Rehabilitationswissenschaft, Facharzt für  
Physikalische & Rehabilitative Medizin, Physikalische  
Therapie & Balneologie, Sportmedizin u. a. m.

Das Curriculum Sozialmedizin der Bundesärztekammer – praxisnah aufbereitet von anerkannten Kursleitern und Referenten:

Begleitbuch im Rahmen des „Y-Modells“ zum

- Grundkurs des Weiterbildungscurriculums „Rehabilitationswesen“
- Fortbildungscurriculum „(Grundlagen der) Medizinische(n) Begutachtung“

Im Berufsalltag eignet es sich auch als Handbuch zu Themen der Prävention, Kuration, Rehabilitation, Patientenberatung, Begutachtung und zur Zusammenarbeit mit den Institutionen des Gesundheits- und Sozialwesens.

Modul I–IV

- Grundlagen der Sozialmedizin und der Rehabilitation
- Soziale Sicherungssysteme und Versorgungsstrukturen
- Grundlagen und Grundsätze der Gesundheitsförderung, Prävention und Rehabilitation
- Leistungsarten, Leistungsformen und Organisation der Rehabilitation

Modul V–VIII

- Arbeitsmedizinische Grundlagen
- Grundlagen ärztlicher Begutachtung unter Berücksichtigung sozialmedizinisch relevanter leistungsrechtlicher Begriffe und Vorgaben
- Trägerspezifische und -übergreifende Begutachtung
- Beurteilungskriterien bei ausgewählten Krankheitsgruppen

Ideal für die tägliche Arbeit und Weiterbildung – der Klassiker jetzt in erweiterter Neuauflage

> Sichern Sie sich jetzt den Immer-dabei-Begleiter am Ultraschallgerät!



Bestellen Sie jetzt:

Bestellen Sie direkt beim Deutschen Ärzteverlag oder in Ihrer Buchhandlung. Versandkostenfreie Lieferung innerhalb Deutschlands bei Online Bestellung.  
\*Alle Preise verstehen sich inkl. gesetzlicher Mehrwertsteuer und zzgl. Versandkosten in Höhe von 4,90 € (zzgl. MwSt.). Irrtümer und Preisänderungen vorbehalten.



[shop.aerzteverlag.de/sozialmedizin](http://shop.aerzteverlag.de/sozialmedizin)



02234 7011-335



[kundenservice@aerzteverlag.de](mailto:kundenservice@aerzteverlag.de)

02234 7011-470

 **Deutscher  
Ärzteverlag**