

Die Knie- und Hüftendoprothetik hat sich zu einem Standard-eingriff in der Orthopädie entwickelt.

Der Erfolg einer endoprothetischen Versorgung hängt neben vielen anderen Faktoren auch von der möglichst korrekten Implantation des Kunstgelenkes ab. Sowohl in der Standard-endoprothetik, aber insbesondere auch in schwierigen Situationen kann durch die zusätzliche Unterstützung eines Navigationssystems die Implantationsgenauigkeit verbessert und damit die Häufigkeit von Folgeproblemen minimiert werden.

Besonders hilfreich ist diese Unterstützung, wenn eine normale Ausrichtung aufgrund von veränderten Knochenformen nicht möglich ist.

*Total knee and hip arthroplasties have become a standard procedure in orthopaedic surgery. The success of total arthroplasties depends on a number of factors. One of these is the positioning of the implant. A computer-assisted navigation system is able to improve the accuracy of implant positioning in standard operations, and especially in difficult situations. Problems arising as a consequence of malpositioning can be minimised.*

Jörg Lützner, Stephan Kirschner und Klaus-Peter Günther

## Möglichkeiten der navigationsgestützten Knie- und Hüftendoprothetik<sup>1</sup>

### 1 Einleitung

Der endoprothetische Gelenkersatz am Knie- und Hüftgelenk gehört nicht nur zu den häufigsten, sondern auch zu den erfolgreichsten operativen Eingriffen in der Medizin. 2006 wurden in Deutschland etwa 125 000 Knie- und 150 000 Hüftendoprothesen eingesetzt [4]. Vor dem Hintergrund einer weiter alternden Gesellschaft ist mit einer Zunahme der Implantationszahlen in den nächsten Jahren zu rechnen. Aber auch infolge höherer sportlicher Leistungsansprüche und damit häufig einhergehender Gelenkschäden nimmt die Anzahl versorgungsbedürftiger Knie- und Hüftarthrosen zu.

In langfristigen Nachuntersuchungen zeigte sich, dass bei mittlerweile mehr als 95 % der operierten Patienten das Kunstgelenk eine Standzeit von 10 Jahren und mehr aufweist. In der Regel ist mit dem Eingriff eine substantielle Verbesserung von Schmerzen, Funktion und Lebensqualität verbunden. Dennoch sind etwa 10 % aller Patienten nicht mit ihrem Kunstgelenk zufrieden.

Der Erfolg einer endoprothetischen Versorgung hängt neben vielen anderen Faktoren auch von der möglichst korrekten Implantation des Kunstgelenkes ab. Sowohl in der Standardendoprothetik, aber insbesondere auch in schwierigen Situationen, wenn eine normale Ausrichtung aufgrund von veränderten Knochenformen oder im Rahmen von unfallbedingten Veränderungen nicht möglich ist, kann durch die zusätzliche Unterstützung eines Navigationssystems die Implantationsgenauigkeit

verbessert und damit die Häufigkeit von Fehlern und deren Folgeproblemen minimiert werden.

### 2 Navigation

Navigationssysteme für die Knie- und Hüftendoprothetik bestehen aus einer Infrarotkamera, aktiven (selbst sendenden) oder passiven (reflektierenden) Trackern, die am zu navigierenden Knochen befestigt werden, und einer Basisstation mit Computer und entsprechender Navigationssoftware. Durch einen oder mehrere fest am Knochen verankerte Tracker bestehen fixe Referenzpunkte, sodass das Bein während der Operation bewegt werden kann. Zu diesen Referenzpunkten werden mit einem speziellen Instrument, welches ebenfalls von der Kamera erkannt wird, weitere Orientierungspunkte und Gelenkflächen abgetastet. Dadurch entsteht ein virtuelles dreidimensionales Bild des entsprechenden Knochens. Anhand dieses Bildes wird dann am Bildschirm die Größe und Positionierung der Prothese geplant. Diese Planung wird mit Hilfe von speziellen, Echtzeit-navigierten Instrumenten bei der Implantation des Kunstgelenkes umgesetzt.

<sup>1</sup> Die Arbeiten zur computerassistierten Navigation in der Knieendoprothetik erfolgten mit Unterstützung durch die Firma Stryker, Mahwah/USA und beim Oberflächenersatz am Hüftgelenk durch das BMBF (OrthoMIT-Verbundprojekt zu „Minimalinvasiver Operationstechnik in der Orthopädie“) und die Firma Zimmer, Warsaw/USA.



Bild 1. Zustand nach Implantation einer Oberflächen-Knie-Totalendoprothese

### 3 Knieendoprothetik

Das künstliche Kniegelenk besteht aus einer Oberschenkel- und einer Unterschenkelkomponente, die in der Regel mittels Knochenzement verankert werden. Dazwischen befindet sich ein Polyethyleninlay (Bild 1). Ziel der Operation ist einerseits die Wiederherstellung einer durch die Arthrose veränderten Beinachse (Hüftgelenkszentrum – Mitte des oberen Sprunggelenkes), gleichzeitig aber auch

stabile Bandverhältnisse über den ganzen Bewegungsumfang und eine gute Kniescheibenführung. Insbesondere die Stabilität in Beugung und die Kniescheibenführung werden wesentlich durch die Rotation der Prothesenkomponenten beeinflusst.

Der Erfolg von Knieendoprothesen hängt unter anderem von der Implantationsgenauigkeit bezüglich Beinachse und der dreidimensionalen Ausrichtung der Prothesenkomponenten ab. Verschiedene Studien haben



Bild 2. Bildfreie Navigation (Fa. Stryker, Mahwah/USA) bei der Implantation einer Knieendoprothese

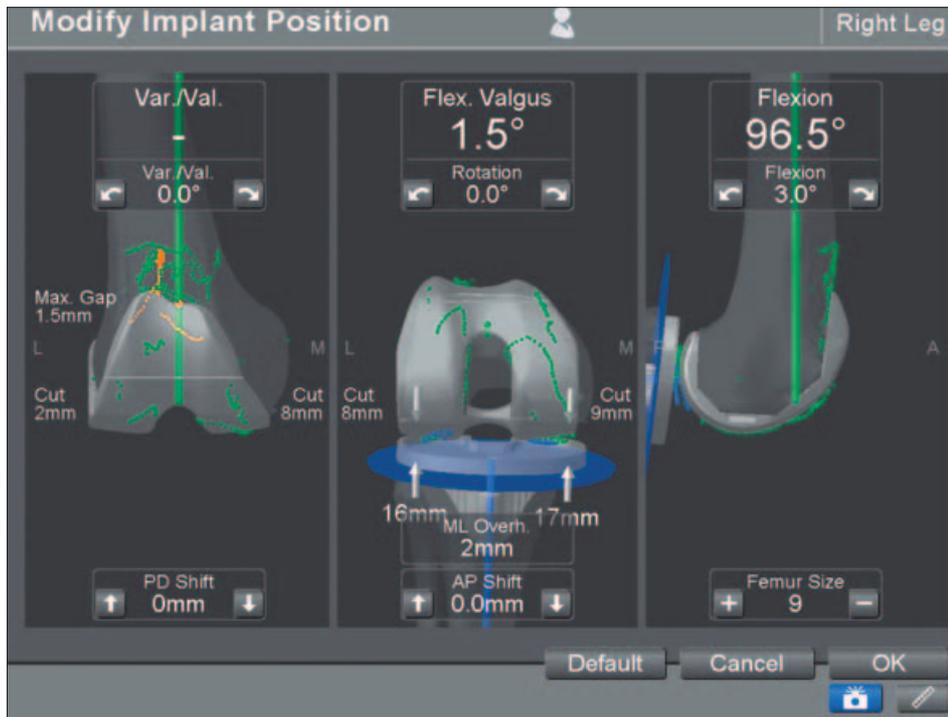


Bild 3. Intraoperative Planung der Positionierung der Femurkomponente (grüne Punkte entsprechen den vorher abgetasteten Knochenpunkten). Die Prothese kann in der Größe und der Positionierung in allen 3 Achsen durch den Operateur eingestellt werden, bis eine bestmögliche Passform erreicht ist.

höhere Revisionsraten und schlechtere klinische Ergebnisse bei Achsabweichungen [3, 9, 13, 18] oder Rotationsfehlern [8, 19] gezeigt. Biomechanische Studien konnten zudem demonstrieren, dass es bereits bei 3° Varus (O-Bein)- oder Valgus (X-Bein)-Achsabweichung oder 10° Rotationsfehlern der Tibiakomponente zu einer Veränderung der Kraftübertragung kommt [10, 22] und damit von einem vorzeitigen Implantatversagen auszugehen ist.

Eine Achsabweichung von 3° wird daher als Toleranzniveau akzeptiert. Diese Genauigkeit wurde aber nur in 70 % bis 80 % aller konventionellen Implantationen erreicht.

Mittels computerassistierter Navigation konnte der Anteil innerhalb dieses Toleranzbereiches in prospektiv-randomisierten Studien auf 85 % bis 100 % gesteigert werden [5, 6, 11, 15, 20, 21].

In der Knieendoprothetik hat sich die bildfreie Navigation, d. h. ohne aufwendige präoperative Bildgebung, durchgesetzt (Bild 2). Intraoperativ wird ein virtuelles dreidimensionales Bild erstellt und anhand dessen die korrekte Ausrichtung der Prothesenkomponenten unterstützt. Dabei werden zunächst verschiedene Landmarken digitalisiert.

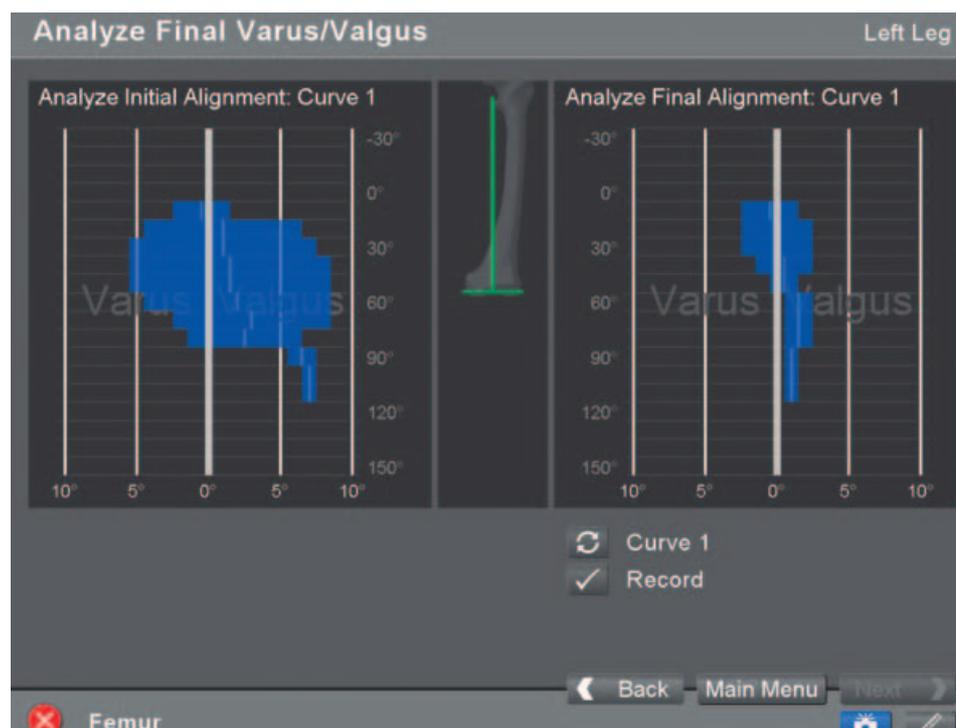


Bild 4. Analyse von Beinachse und Stabilität über den gesamten Bewegungsumfang präoperativ (links) und am Ende der Operation (rechts). Ziel ist eine möglichst gerade Beinachse (0°) und eine gute Stabilität (geringer Ausschlag der blauen Balken nach links und rechts).



Bild 5. Posttraumatische Gonarthrose mit massiver Deformierung des gesamten Oberschenkelknochens. Links: Implantation einer Knie totalendoprothese mit Navigationsunterstützung, rechts: postoperativ korrekte Beinachse Hüftkopffzentrum – Mitte Kniegelenk – Mitte Sprunggelenk

Zuerst wird das Hüftkopffzentrum kinematisch ermittelt, verschiedene Punkte im Kniegelenk werden direkt über den Operationszugang abgetastet und die Mitte des Sprunggelenkes wird über Innen- und Außenknöchel errechnet. Danach erfolgt eine erste Analyse des Bewegungsumfanges, der Achsfehlstellung und inwieweit diese korrigierbar ist. Nun erfolgt die navigationsgestützte Resektion der Gelenkflächen von Femur (Oberschenkelknochen) und Tibia (Schienbein) genau 90° zur Belastungsachse. Dabei kann die gewünschte Position der Komponente dreidimensional eingestellt werden (Bild 3). Anschließend wird mit den Probeimplantaten eine erneute Analyse durchgeführt. Besteht jetzt noch keine korrekte Achse oder eine ungleichmäßige Bänderspannung, folgt ein Weichteilrelease<sup>2</sup>, bis ein gleichmäßiger Streck- und Beugespalt erreicht ist. Danach erfolgt das Zementieren der endgültigen Komponenten unter Kontrolle des Navigationssystems und eine Abschlussanalyse (Bild 4).

Der Vorteil dieser Operationstechnik besteht in der hohen Präzision, mit der auch schwierige Situationen bewältigt werden können (Bild 5). In einer aktuellen Meta-Analyse der verfügbaren Literatur konnte nachgewiesen werden, dass die Navigation zu einer höheren Präzision bei der Achsausrichtung führt [1]. Dies konnten wir in einer eigenen Untersuchung bestätigen [14]. Nachteilig ist der erhöhte Zeitaufwand durch die Navigation. In unserer Studie betrug der Unterschied 9 Minuten.

Während die Achsabweichung anhand einer Röntgenanznahme gemessen werden kann, ist für die Bestimmung der Rotationsausrichtung eine Computertomografie unerlässlich. Deshalb gibt es dazu bisher wenig Daten. In einer eigenen prospektiv-randomisierten, CT-kontrollierten Studie [14] wurde die Rotationsausrichtung der Femur- und Tibiakomponente bei 40 konventionell und 40 navigiert implantierten Knieendoprothesen untersucht. Es konnte kein Unterschied zwischen konventioneller und computerassistierter Implantation für die Genauigkeit der Rotationsausrichtung festgestellt werden. Hier scheint die Erfahrung des Operateurs eine größere Rolle zu spielen.

## 4 Hüftendoprothetik

Beim künstlichen Hüftgelenk wird in der Regel auf Beckenseite die Hüftpfanne ersetzt und am Oberschenkel der Hüftkopf entweder durch eine schaftbasierte Prothese ersetzt (Bild 6) oder mit einer Kappe – dem sogenannten Oberflächenersatz – überzogen (Bild 7). Trotz der standardisierten Operationstechnik gibt es unterschiedliche Risiken, die mit dem Ersatz eines künstlichen Hüftgelenkes verbunden sein können. Dazu gehören auch mechanisch verursachte Komplikationen wie beispielsweise

- eine Beschädigung des Knochenlagers beim Prothesenbau (Knochenbruch, übermäßige Knochenentfernung durch Fehlplatzierung)
- das sogenannte „Impingement“ (Anschlagen des Prothesenhalses am Pfannenrand, z. B. bei der Hüftbeugung)
- eine Luxation (Auskugelung des Prothesenkopfes aus der Pfanne auf Grund unzureichender Weichteilspannung oder falscher Platzierung der Komponenten)
- ein verstärkter Abrieb der Gleitpaarungen (z. B. aufgrund zu steiler Implantation der Hüftpfanne).

Nach unterschiedlichen Literaturangaben muss davon ausgegangen werden, dass bei etwa 5 % der Patienten mit Hüftendoprothese mit einer solchen Komplikation gerechnet

werden muss. Die oft guten Ergebnisse von großen Zentren täuschen darüber hinweg, dass entsprechende Fehler gerade solchen Operateuren unterlaufen können, die nur wenige Patienten versorgen. So reicht beispielsweise die Luxationsrate aufgrund fehlerhafter Platzierung der Prothesenkomponenten von 2 % bis 4 % [24] und es zeigt sich eine klare Korrelation mit der Erfahrung des Operateurs.

Vor diesem Hintergrund ist verständlich, dass seit Jahren nach Möglichkeiten gesucht wird, diese operationsbedingten Risiken und Fehlermöglichkeiten zu minimieren. Neben sorgfältiger Planung, intraoperativer Röntgenüberprüfung und bestmöglichem Training der Operateure wird zunehmend diskutiert, ob computerassistierte Navigationsverfahren, die sich in der Knieendoprothetik bewährt haben, eine zusätzliche Sicherheit geben können. Sowohl die Einbringung der Pfanne als auch des Schaftes bzw. der Kopfkappe kann navigationsgestützt erfolgen.

### 4.1 Pfannennavigation

Gerade bei der Einbringung von Hüftpfannen ist die Orientierung für den Operateur nicht immer einfach. Das menschliche Becken ist sehr komplex aufgebaut und kann eine sehr unterschiedliche Form bzw. Lage der anatomischen Hüftpfanne aufweisen. Die anzustrebende Ausrichtung einer künstlichen Hüftpfanne beim Gelenkersatz (etwa 45° Inklination und 10° bis 20° Anteversion) bezieht sich auf den Normalfall und berücksichtigt nicht anatomische oder funktionelle Besonderheiten (wie z. B. eine unterschiedliche Beckenkipfung beim Stehen und Gehen, die bei vielen Menschen zu beobachten ist). Auch kann die intraoperative Orientierung durch ungünstige Weichteilverhältnisse (z. B. Übergewicht und Narben), nach Voroperationen und im Rahmen von minimalinvasiver Endoprothetik erschwert sein. In diesen Fällen besteht die Gefahr einer Fehlplatzierung der Hüftpfanne, aus der sich dann möglicherweise die o. g. Komplikationsmöglichkeiten entwickeln (Impingement, Luxation, Prothesenabrieb).

Verschiedene Autoren konnten in den vergangenen Jahren zeigen, dass durch computerassistierte Einbringung die Genauigkeit der Platzierung verbessert werden kann [16, 17]. Um den Fräsvorgang bzw. die Einbringung des Implantats navigieren zu können, ist die Erstellung eines virtuellen Abbildes der anatomischen Pfanne und ihrer Lage im Raum erforderlich. Dies kann auf unterschiedliche Weise geschehen:

- präoperative Anfertigung eines Bilddatensatzes vom zu operierenden Bereich (z. B. durch ein Schnittbildverfahren) und intraoperativer Abgleich mit der tatsächlichen Anatomie
- bildgestützte Navigation mittels intraoperativer Röntgen-Durchleuchtung in mehreren Ebenen
- bildfreie Navigation (Erstellen eines virtuellen Bildes durch alleinige intraoperative Abtastung von wichtigen Landmarken).

Je nach dem gewählten Verfahren werden dann entweder vor oder während des Eingriffs wichtige Eckdaten für die

<sup>2</sup> Bei der Arthrose kommt es meist zu einer einseitigen Abnutzung des Gelenks und damit zu einer Achsveränderung in Richtung O-Bein oder X-Bein. Dadurch verkürzen sich die Weichteile (Kapsel, Bänder) auf der konkaven Seite und sind auf der konvexen Seite überdehnt und damit verlängert. Beim „Weichteilrelease“ versucht man diese Ungleichheit wieder auszugleichen, in der Regel durch eine Verlängerung der Weichteile der verkürzten Seite. Das Ziel ist ein gerades Bein.



Bild 6. Zustand nach Implantation einer zementfreien schaftbasierten Hüftendoprothese

Implantation (Größe und Lage der künstlichen Pfanne) festgelegt und sowohl der Fräsvorgang als auch das endgültige Einschlagen navigiert.

#### 4.2 Navigation der Femurkomponente

Bei der Verwendung konventioneller schaftbasierter Endoprothesen muss der Markraum im Oberschenkelknochen eröffnet werden, um nach entsprechender Ausfräsung den Prothesenstiel möglichst passgenau einzubringen. Dabei kann es gelegentlich zu Fehlplatzierungen oder Knochenbrüchen kommen. Auch die optimale Einstellung von Beinlänge und Hebelarmen durch Wahl der entsprechenden Prothesenhalslänge bzw. des richtigen Schenkelhals-Schaftwinkels ist nicht immer einfach möglich. Einige Navigationssysteme bieten hier eine Unterstützung an und



Bild 7. Zustand nach Implantation einer Oberflächenersatzhüftendoprothese

es wird derzeit geprüft, inwieweit dadurch eine Optimierung der Ergebnisse erreichbar ist.

Der Oberflächenersatz (Bild 6) am Hüftgelenk ist eine Alternative zum konventionellen schaftbasierten Gelenkersatz, da man den Hüftkopf dabei nicht vollständig entfernen muss. Dem Vorteil einer somit sparsamen Knochenresektion steht jedoch der operationstechnische Anspruch entgegen. Der Eingriff unterscheidet sich grundsätzlich von herkömmlicher Endoprothetik und erfordert eine große Erfahrung des Operateurs. Die Fräsung des Hüftkopfes sowie die Platzierung der Komponenten muss mit größtmöglicher Präzision erfolgen, um keine Verkippung des Implantats bzw. eine Beschädigung des Prothesenlagers zu riskieren, da beides zu einer frühen Auslockerung oder einem Schenkelhalsbruch führen kann. Während in größeren Zentren die Rate an postoperativen Schenkelhalsfrakturen beim Oberflächenersatz unter 1 % liegt, weisen weniger erfahrene Operateure deutlich häufigere Frakturraten zwischen 2 % und 4 % auf.

Da die Oberflächenersatzendoprothetik an der Orthopädischen Universitätsklinik in Dresden seit mehreren Jahren erfolgreich praktiziert wird, haben wir gemeinsam mit einer internationalen Anwendergruppe geprüft, ob die Genauigkeit des Operationsablaufes durch Computernavigation verbessert werden kann und sich damit weniger erfahrenen Anwendern eine Hilfestellung in die Hand geben lässt. Im Rahmen einer prospektiven Kohorten-Studie wurden deshalb insgesamt 51 Patienten mit einem navigierten Oberflächenersatz (*Navitrack*<sup>®</sup> surgical navigation system – *Zimmer*<sup>®</sup> *CAS Durom*) versorgt und das Behandlungsergebnis mit 88 konventionell operierten Oberflächenersatzhüftendoprothesen verglichen [7]. Das Geschlecht (71 % bzw. 78 % männlich), das Durchschnittsalter (48,1 Jahre bzw. 48,3 Jahre) und das Gewicht der behandelten

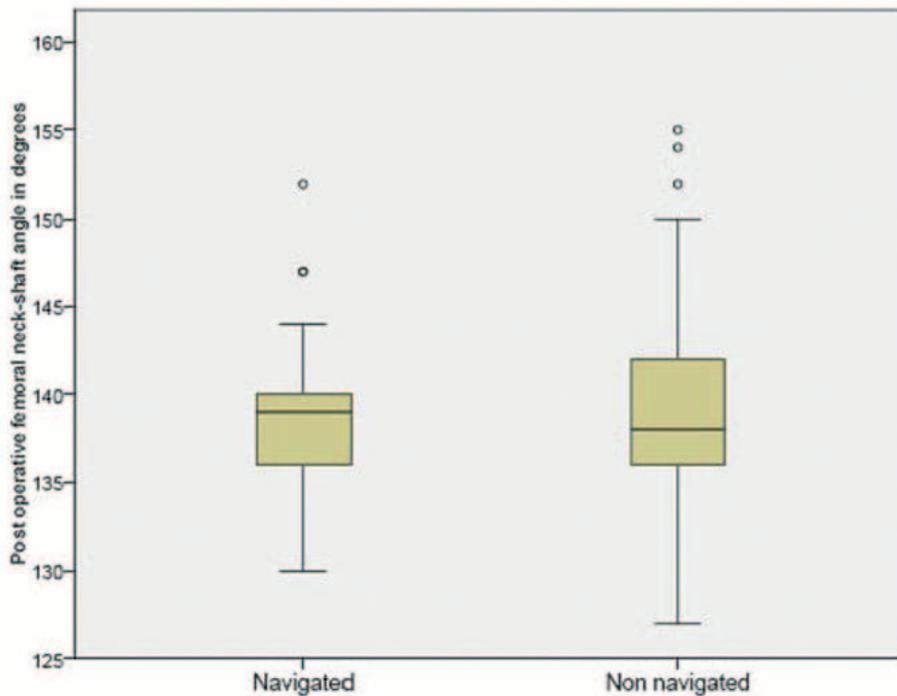


Bild 8. Streuung des postoperativen Schenkelhals-Kappenstiel-Winkels (Grad) in navigierter und konventionell operierter Patientengruppe bei Oberflächen-Hüftendoprothesen

Patienten (Body-Mass-Index von 26,5 bzw. 27,0 kg/m<sup>2</sup>) zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen navigierter und konventionell operierter Patientengruppe. Die Eingriffe wurden jeweils durch einen erfahrenen Operateur in den Universitätskliniken in Dresden und Montreal (Kanada) durchgeführt. Vor und nach der Operation erfolgte die Bestimmung des Schenkelhals-Schaftwinkels bzw. des Winkels zwischen Prothesenstiel und Oberschenkelchaft (Prothesenstiel-Schaft-Winkel). Weiterhin wurde während der Operation dokumentiert, ob es zu einer Verletzung des Schenkelhalses im Rahmen der Fräsung kam.

Bei der Nachuntersuchung zeigte sich zwar kein signifikanter Unterschied zwischen navigierter und konventionell operierter Gruppe hinsichtlich des durchschnittlich gemessenen präoperativen Schenkelhalschaftwinkels sowie der geplanten und tatsächlich erreichten Prothesenstiel-Schaft-Winkel. Allerdings wiesen 33 Patienten (38 %) in der konventionell operierten Gruppe eine Abweichung der Kappenplatzierung von mehr als 5° zum präoperativ geplanten Winkel auf, während dies bei keinem einzigen navigierten Patienten der Fall war. Aus Bild 8 geht weiterhin hervor, dass die Streubreite der postoperativen Prothesenstiel-Schaft-Winkel in der nicht navigierten Gruppe deutlich größer war als in der navigierten Gruppe. Aus früheren Untersuchungen wissen wir, dass insbesondere eine zu flache Platzierung der Kopfkappe (Prothesenstiel-Schaft-Winkel < 130°) ein deutliches Risiko für die frühzeitige Auslockerung der Prothese bzw. einen Schenkelhalsbruch darstellt [12, 23]. Deshalb deutet das Ergebnis unserer Untersuchung darauf hin, dass sich mit computerassistierter Navigation möglicherweise ein entsprechendes Risikopotenzial vermindern lässt. Auch konnten wir zeigen, dass es in der konventionell operierten Gruppe in vier Fällen zu einem diskreten Anfräsen des Schenkelhalses von weniger als 2 mm gekommen ist, während in der computernavigierten Gruppe keine Knochenverletzung erfolgte. Allerdings

führt die Computernavigation noch zu einer diskreten Verlängerung der Operationszeit, denn die Schnitt-Naht-Zeiten lagen bei navigierten Eingriffen um 6 Minuten höher als bei konventionellen Implantationen. Aus der durchgeführten Untersuchung können wir dennoch schlussfolgern, dass mit Computernavigation beim Oberflächenersatz eine bessere Umsetzung der präoperativen Planung bei der Kappenpositionierung erreichbar ist. In weiteren Studien muss geprüft werden, ob entsprechende Effekte bei weniger erfahrenen Operateuren möglicherweise noch in verstärktem Maß zu beobachten sind. Da wir aus der kurzfristigen Beobachtungszeit keine Schlussfolgerung auf die klinischen Ergebnisse ziehen können, müssen Folgeuntersuchungen zur klinischen Relevanz angeschlossen werden.

## 5 Ausblick

Neben dem etablierten Einsatz computerassistierter Navigationsverfahren in der primären Knie- und Hüftendoprothetik gibt es erste Arbeiten zur Unterstützung von Revisionseingriffen durch neue Technologien. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten *OrthoMIT*-Forschungsprojektes wird derzeit beispielsweise geprüft, ob sich die Entfernung von Zementbestandteilen, die bei gelockerten Endoprothesen häufig eine große Anforderung an den Operateur darstellen, durch Computernavigation verbessern lässt. Hier wäre auf Grund einer meist sehr schlechten Übersichtlichkeit eine Erleichterung der Operationsabläufe sehr wünschenswert. Auch gibt es im *OrthoMIT*-Forschungsverbund erste Arbeiten zu einer Weiterentwicklung des navigierten Oberflächenersatzes [2, 7] sowie der Kombination von intraoperativem Ultraschall und Navigation. Die Erstellung eines virtuellen Bildes vom Operationsfeld bzw. die Führung der Instrumente erfordert in der Regel noch das Einbringen von Referenzen über zusätzliche Hautschnitte

(z. B. am Becken auf der gegenüberliegenden Seite). Möglicherweise kann durch eine intraoperative Abtastung mittels Ultraschall hier ein Weg entwickelt werden, die Morbidität für den Patienten zusätzlich zu verringern.

Insgesamt muss jedoch noch kritisch angemerkt werden, dass bislang ungeklärt ist, ob und in welchem Ausmaß durch den Einsatz von computerassistierten Navigationsverfahren auch in relevanter Weise das klinische Behandlungsergebnis verbessert werden kann.

## Literatur

- [1] *Bauwens, K.; Matthes, G.; Wich, M.; Gebhard, F.; Hanson, B.; Ekkernkamp, A.; Stengel, D.*: Navigated Total Knee Replacement. A Meta-Analysis. In: *J Bone Joint Surg Am* **89** (2007) 2, S. 261 – 269
- [2] *Belei, P.; Skwara, A.; De La Fuente, M.; Schkommodau, E.; Fuchs, S.; Wirtz, D. C.; Kamper, C.; Radermacher, K.*: Fluoroscopic navigation system for hip surface replacement. In: *Comput Aided Surg* **12** (2007) 3, S. 160 – 167
- [3] *Berend, M. E.; Ritter, M. A.; Meding, J. B.; Faris, P. M.; Keating, E. M.; Redelman, R.; Faris, G. W.; Davis, K. E.*: Tibial component failure mechanisms in total knee arthroplasty. In: *Clin Orthop Relat Res* **428** (2004), S. 26 – 34
- [4] *BQS*: BQS-Qualitätsreport 2006. <http://www.bqs-qualitaetsre-port.de/2006/ergebnisse/>, 2006
- [5] *Chauhan, S. K.; Scott, R. G.; Bredahl, W.; Beaver, R. J.*: Computer-assisted knee arthroplasty versus a conventional jig-based technique. A randomised, prospective trial. In: *J Bone Joint Surg Br* **86** (2004) 3, S. 372 – 377
- [6] *Ensini, A.; Catani, F.; Leardini, A.; Romagnoli, M.; Giannini, S.*: Alignments and clinical results in conventional and navigated total knee arthroplasty. In: *Clin Orthop Relat Res* **457** (2007), S. 156 – 162
- [7] *Ganapathi, M.; Vendittoli, P. A.; Lavigne, M.; Günther, K. P.*: Accuracy of femoral component position is better with navigated hip resurfacing. In: *Clin Orthop* (im Druck)
- [8] *Hofmann, S.; Romero, J.; Roth-Schiffel, E.; Albrecht, T.*: Rotational malalignment of the components may cause chronic pain or early failure in total knee arthroplasty. In: *Orthopäde* **32** (2003) 6, S. 469 – 476
- [9] *Jeffery, R. S.; Morris, R. W.; Denham, R. A.*: Coronal alignment after total knee replacement. In: *J Bone Joint Surg Br* **73** (1991) 5, S. 709 – 714
- [10] *Kessler, O.; Lacatusu, E.; Sommers, M. B.; Mayr, E.; Bottlang, M.*: Malrotation in total knee arthroplasty: Effect on tibial cortex strain captured by laser-based strain acquisition. In: *Clin Biomech* (Bristol, Avon), 2006
- [11] *Kim, S. J.; MacDonald, M.; Hernandez, J.; Wixson, R. L.*: Computer assisted navigation in total knee arthroplasty: improved coronal alignment. In: *J Arthroplasty* **20** (2005) 7, Suppl. 3, S. 123 – 131
- [12] *Knecht, A.; Witzleb, W. C.; Günther, K. P.*: Oberflächenersatz am Hüftgelenk. In: *Orthopäde* **34** (2005) 1, S. 79 – 89; hier 90
- [13] *Lotke, P. A.; Ecker, M. L.*: Influence of positioning of prosthesis in total knee replacement. In: *J Bone Joint Surg Am* **59** (1977) 1, S. 77 – 79
- [14] *Lützner, J.; Krummenauer, F.; Wolf, C.; Günther, K. P.; Kirschner, S.*: Computer-assisted and conventional total knee arthroplasty – A prospective, randomized study with radiographic and CT evaluations. In: *Journal of Bone and Joint Surgery B* (2008)
- [15] *Matziolis, G.; Kroker, D.; Weiss, U.; Tohtz, S.; Perka, C.*: A prospective, randomized study of computer-assisted and conventional total knee arthroplasty. Three-dimensional evaluation of implant alignment and rotation. In: *J Bone Joint Surg Am* **89** (2007) 2, S. 236 – 243
- [16] *Noble, P. C.; Sugano, N.; Johnston, J. D.; Thompson, M. T.; Condit, M. A.; Engh, C. A., Sr.; Mathis, K. B.*: Computer simulation: how can it help the surgeon optimize implant position? In: *Clin Orthop Relat Res* **417** (2003), S. 242 – 252
- [17] *Parratte, S.; Argenson, J. N.; Flecher, X.; Aubaniac, J. M.*: Computer-assisted surgery for acetabular cup positioning in total hip arthroplasty: comparative prospective randomized study. In: *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* **93** (2007) 3, S. 238 – 246
- [18] *Ritter, M. A.; Faris, P. M.; Keating, E. M.; Meding, J. B.*: Postoperative alignment of total knee replacement. Its effect on survival. In: *Clin Orthop Relat Res* **299** (1994), S. 153 – 156
- [19] *Romero, J.; Stahelin, T.; Binkert, C.; Pfirrmann, C.; Hodler, J.; Kessler, O.*: The clinical consequences of flexion gap asymmetry in total knee arthroplasty. In: *J Arthroplasty* **22** (2007) 2, S. 235 – 240
- [20] *Saragaglia, D.; Picard, F.; Chaussard, C.; Montbarbon, E.; Leitner, F.; Cinquin, P.*: Computer-assisted knee arthroplasty: comparison with a conventional procedure. Results of 50 cases in a prospective randomized study. In: *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* **87** (2001) 1, S. 18 – 28
- [21] *Sparmann, M.; Wolke, B.; Czupalla, H.; Banzer, D.; Zink, A.*: Positioning of total knee arthroplasty with and without navigation support. A prospective, randomized study. In: *J Bone Joint Surg Br* **85** (2003) 6, S. 830 – 835
- [22] *Werner, F. W.; Ayers, D. C.; Maletsky, L. P.; Rullkoetter, P. J.*: The effect of valgus/varus malalignment on load distribution in total knee replacements. In: *J Biomech* **38** (2005) 2, S. 349 – 355
- [23] *Witzleb, W. C.; Arnold, M.; Krummenauer, F.; Knecht, A.; Ranisch, H.; Günther, K. P.*: Birmingham hip resurfacing arthroplasty: Short term clinical and radiographic outcome. In: *Eur J Med Res* (im Druck)
- [24] *Ziegler, J.; Amlang, M.; Bottesi, M.; Kirschner, S.; Witzleb, W. C.; Günther, K. P.*: Ergebnisse endoprothetischer Versorgung bei Patienten vor dem 50. Lebensjahr. In: *Orthopäde* **36** (2007) 4, S. 325 – 336

Manuskripteingang: 15.11.2007

Angenommen am: 28.1.2008



### Lützner, Jörg

Dr. med.

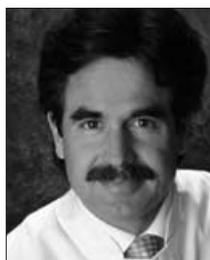
Studium Humanmedizin von 1989 bis 1996 an der Humboldt-Universität zu Berlin und an der TU Dresden ♦ 1997 Promotion zum Dr. med. ♦ von 1997 bis 2000 Arzt an der Orthopädischen Praxis Dr. Schmidt, Dresden, am Kantonsspital Liestal/Schweiz und am Klinikum Weiden ♦ von 2000 bis 2003 wissenschaftlicher Mitarbeiter, seit 2004 Facharzt für Orthopädie, seit 2008 Oberarzt an der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden



### Kirschner, Stephan

Dr. med.

Studium Humanmedizin von 1989 bis 1996 an der Medizinischen Hochschule Hannover ♦ 1997 Promotion zum Dr. med. ♦ von 2004 bis 2005 Oberarzt, seit 2006 Geschäftsführender Oberarzt an der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden



### Günther, Klaus-Peter

Prof. Dr. med. habil.

Studium Humanmedizin von 1978 bis 1985 an der Universität München ♦ 1986 Promotion zum Dr. med. ♦ 1997 Habilitation zum PD Dr. med. habil. ♦ seit 2001 Professor für Orthopädie und Direktor der Klinik und Poliklinik für Orthopädie, Universitätsklinikum Carl Gustav Carus der TU Dresden