

# Robotik in der Endoprothetik – Wo stehen wir 2025?

Bikondylärer Kniegelenkersatz mit digitaler **Bandspannungsanalyse** und **Robotertechnologie**

Zürich (Schweiz). Die Robotik ist fester Bestandteil in der Endoprothetik. Dennoch sind einige Fragen offen, mit denen sich der Autor im Folgenden auseinandersetzt.

**V**erbessert die roboterassistierte OP-Technik die Resultate?

Die Resultate der Knie-Totalendoprothetik sind von patientenspezifischen Faktoren wie Geschlecht, Alter, Body-Mass-Index (BMI), mentalem Status und Co-Morbiditäten sowie von technischen Faktoren abhängig<sup>1</sup>. Eine hohe Patientenzufriedenheit wird insbesondere erreicht, wenn eine Schmerzfähigkeit, eine gute Gelenkstabilität und

zwischen den beteiligten Operateuren bei der manuellen Prüfung der Bandlaxität verringern<sup>4</sup>. Eine 2024 veröffentlichte Studie zu einem mechanischen, dynamisch-kraftkontrollierten Balancer (ExactechGPS, Blue-Ortho) berichtete über bessere klinische Ergebnisse im Vergleich zur Standardtechnik. Allerdings handelt es sich um eine einzelne Studie mit begrenzter Fallzahl – eine Bestätigung durch größere Studien steht noch aus<sup>5</sup>. Andere, mit roboterarmgeführte Operationsweisen, bedienen sich für die Gapanalyse ebenfalls eines mechanischen Federspanners (Velys, J & J) oder greifen gar auf eine einfache mechanische Spacertechnik (Mako, Stryker) zurück und

cal alignment) oder durch Berücksichtigung der individuellen mediolateralen Tibiaobliquität (mPTA) wie nach KA- (kinematic alignment), rKA- (restrictiv kinematic alignment), iKA- (inverse kinematic alignment) oder FA-Kriterien (functional alignment). Ein Computer-Algorithmus erstellt aus den Daten eine Voraussage, welche Femurposition eine ausgewogene Weichteilbalance ermöglichen würde. Der Operateur kann jederzeit die vorgeschlagene Implantatposition und Achsausrichtung verändern und damit auch die Balance selbst beeinflussen. Ist der Operateur und der Computer interaktiv zu einer Übereinstimmung für die virtuelle Femurkomponentenposition gekommen, werden die Parameter an den am distalen Femurknochen angeschraubten Miniroboter (OmniBot™, Corin) übermittelt, der die Schnittschablone an die entsprechenden Positionen bewegt, damit der Operateur die geführten Sägeschnitte am Femur ausführen kann. Anschließend kann mit aufgesetzter

Geht die Kombination einer femoral anatomisch basierten mit einer tibial weichteilanalytischen Implantationspositionierung noch einen Schritt weiter zur umfassenden individualisierten Knie-Totalendoprothetik?

Bei der klassischen Gap-Balancing-Technik wird die Tibia zuerst reseziert, dann der Spanner in den Streckspalt gelegt, der Femur distrahiert und dann die Position für die femorale Komponente bestimmt. Dieser Technik wird nachgesagt, dass sie häufiger zu Gelenklinienaberrationen führt<sup>6</sup>, aber nur, wenn die Tibia nach MA-Kriterien streng senkrecht zur mechanischen Achse, weniger jedoch, wenn die anatomische Tibiaobliquität berücksichtigt wird<sup>9</sup>. Der KA-Methode gelingt praktisch immer, die Gelenklinie auf die natürliche Höhe zu rekonstruieren<sup>10</sup>, indem distal am Femur die gleiche Menge Knochen medial und lateral reseziert wird. An der Tibia wird nach strengen KA-Kriterien auch die gleiche Menge Knochen medial und lateral reseziert. Die Gap-Analyse ist dabei sekundär, sie wird nach den Resektionen in einfacher Weise mechanisch mit konventionellen Spacern kontrolliert. Der elektronische Weichteilspanner Cori™ (Smith & Nephew) kann die Weichteilanalyse unter kontrollierter Gapdistraktion vor den Knochenresektionen durchführen. Die Stabilisierung des Gerätes und die Einstellung der konstanten Distraktionskraft erfolgen etwas umständlich manuell. Die neuste



José Romero

- Xu HY et al. Does Robotic-Assisted Total Knee Arthroplasty Improve Outcomes Over Conventional Techniques? A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. 3, 2025, J Arthroplasty 2025;40(3):446–456.
- Woelfle CA et al. Surgeon-Applied Stress and a Ligament Tensor Instrument Provide a Similar Assessment of Pre-resection Flexion Laxity During Robotic Total Knee Arthroplasty. Arthroplasty Today 2024;28:1–8.
- Valtanen RS et al. Improved Clinical Outcomes With Dynamic, Force-Controlled, Gap-Balancing in Posterior-Stabilized Total Knee Arthroplasty. J Arthroplasty 2024;39(8):218–223.
- Tsai KK et al. A new gap balancing technique with functional alignment in total knee arthroplasty using the MAKO robotic arm system: a preliminary study. BMC Surg 2024;24:232–243.
- Wakelin EA et al. Intra-operative laxity and balance impact 2-year pain outcomes in TKA: a prospective cohort study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2023;31(12):5535–5545.
- Babazadeh S et al. Gap balancing sacrifices joint-line maintenance to improve gap symmetry: a randomized controlled trial comparing gap balancing and measured resection. J Arthroplasty 2014;29(5):950–954.
- Orsi AD et al. Restricted Inverse Kinematic Alignment Better Restores the Native Joint Line Orientation While Achieving Similar Balance, Laxity, and Arithmetic Hip-Knee-Ankle Angle to Gap Balancing Total Knee Arthroplasty. Arthroplasty Today 2023;19:1–8.
- Sappey-Mariniere E et al. Unrestricted kinematic alignment corrects fixed flexion contracture in robotically aligned total knees without raising the joint line in extension. J Exp Orthop 2023;10(1):114–122.
- Orsi AD et al. Predictive Gap-balancing Reduces the Extent of Soft-tissue Adjustment Required After Bony Resection in Robot-assisted Total Knee Arthroplasty—A Comparison With Simulated Measured Resection. Arthroplasty Today 2022;20(16):1–8.
- Koenig JA et al. Accuracy of soft tissue balancing in robotic-assisted measured-resection TKA using a robotic distraction tool. The 19th Annual Meeting of the International Society for Computer Assisted Orthopaedic Surgery; 2019 Jun 19–22; New York, USA. EpiC Series in Health Sciences CAOS 2019;3:p210–p214.



Abb. 1: Gapdistraktionsanalyse mit dem BalanceBot nach Tibiaplateauresektion.

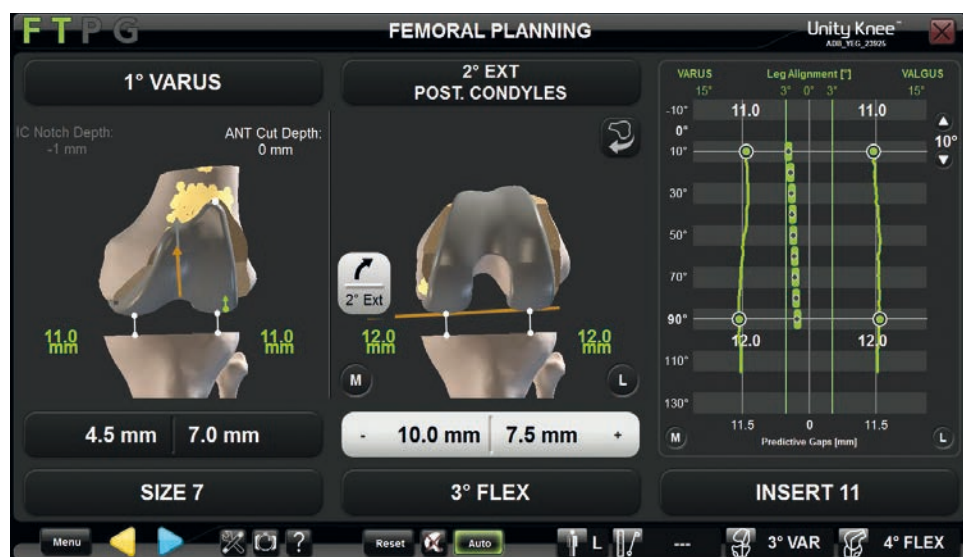


Abb. 2: Virtuelle Planung der femoralen Komponentenposition.



Abb. 3: Gapdistraktion mit dem Apollo vor den Resektionen.

Femurprobenkomponente der elektronischen Spanner wieder eingeführt werden, um das erreichte Balance- und Achsenresultat sowie die Druckverhältnisse der beiden Kompartimente mit der virtuellen Voraussage zu vergleichen (Abb. 2). In einer klinischen Studie mit dem BalanceBot wurde

gezeigt, dass Ein-Jahres-KOOS-Resultate besser waren, wenn die virtuelle vorausgesagte Balance innerhalb einer 1-mm-Differenz erreicht wurde. Bei Beachtung der natürlichen Tibiaobliquität in unseren ersten 118 konsekutiven Varus-Fällen musste nie und in den ersten 57 konsekutiven Valgus-Fällen nur in fünf Fällen ein Weichteil-Release (8,7%) durchgeführt werden (gegenüber 28% der Varus-Fälle und 87% der Valgus-Fälle bei Anwendung der MA-Methode in unserer historischen Vergleichsserie). In einer Studie<sup>7</sup> mit 310 operierten Kniegelenken mit digitalem Bandspanner und roboterassistierter Schnittführung wurde gezeigt, dass eine klinisch relevante Schmerzverbesserung (KOOS Pain) mit dem ausgewogenen Weichteilbalancing assoziiert war, nicht aber mit der Achsausrichtung.

Entwicklung eines elektronischen, motorgetriebenen, anwenderunabhängigen, kraftkontrollierten Weichteilspanners, der vor den Knochenresektionen die Weichteilbalance analysiert, stellt der Apollo™ (Corin) dar (Abb. 3). Dieser wird mit Pins am Knochen befestigt, was die Genauigkeit der Datenakquisition steigert und die Untersucherunabhängigkeit der Datenanalyse über die ganze Flexionsamplitude sichert. Die femoralen und tibialen Schnittebenen für den Miniroboter können so optimal aufeinander abgestimmt werden, indem das Femur nach KA-Kriterien angegangen wird, was die patientenspezifische Gelenklinienposition reproduziert. Die Tibiaresektion kann dann auf die individualisierte Bandspannung und Achsausrichtung abgestimmt werden.

## Literatur:

- Bonasia DE et al. Modifiable and Nonmodifiable Predictive Factors Associated with the Outcomes of Total Knee Arthroplasty. 2019, Joints 2019;7(1):13–18.
- Jiang Y et al. Predictors of Patient-Reported Pain and Functional Outcomes Over 10 Years After Primary Total Knee Arthroplasty: A Prospective Cohort Study. J Arthroplasty 2017;32(1):92–100.e2.

► **Autor:** Prof. Dr. med. José Romero  
Endoclinic Zürich  
Kniechirurgie  
Witellikerstr. 40, 8032 Zürich, Schweiz  
E-Mail: jose.romero@endoclinic.ch

► **Mittwoch, 29.10.** 15:30–16:30 Uhr  
New York 3

-beweglichkeit sowie die präoperativ erwartete Mobilität eintritt<sup>2</sup>. Roboterassistierte Operationstechniken streben an, diesem Ziel mittels einer präziseren und konsistenteren Implantatpositionierung sowie einer exakteren Achsausrichtung näherzukommen. Aktuelle Metaanalysen belegen, dass mit roboterassistierten Verfahren weniger Ausreißer in den radiologischen Parametern auftreten, stellen aber infrage, ob hinsichtlich der klinischen Ergebnisse eine signifikante Überlegenheit gegenüber der konventionellen Operationstechnik erzielt werden kann<sup>3</sup>. Es herrscht Konsens, dass die Gap-Analyse ein wichtiger Bestandteil einer ausgereiften Operationstechnik darstellt. Die Anwendung eines Bandspanners lässt die Analyse der Gapverhältnisse zu und kann intraoperative Beurteilungsdiskrepanzen

geben dazu gute klinische Resultate an<sup>6</sup>.

Ist die digitalbasierte dynamische Weichteilanalyse über den ganzen Flexionsradius der nächste Mosaikstein zur Verbesserung der Resultate?

Seit 2017 steht der bislang einzige elektronische, motorgetriebene, also anwenderunabhängige, kraftkontrollierte Weichteilspanner (BalanceBot™, Corin) für den klinischen Gebrauch zur Verfügung, der in Real-Time eine dynamische Gapdistraktionsanalyse über den ganzen Flexionsradius ermöglicht, bevor am Femur die Knochenschnitte getätigt werden. Dazu muss zwingend zuerst die proximale Tibiaplateauresektion erfolgen (Abb. 1). Dies erfolgt navigiert nach Präferenz der Chirurgen entweder streng senkrecht zur Tibiaachse nach MA-Kriterien (mechani-