

Varianz der Epikondylen- erfassung bei der navigierten Knieendopro- thesenimplantation

Die Rotation der femoralen Komponente beeinflusst erheblich die Kinematik einer Knieendoprothese, insbesondere des patellofemoralen Kompartiments [1, 2, 3, 9, 20, 21, 22]. Die chirurgische Epikondylenachse wird von vielen Autoren aufgrund biomechanischer und klinischer Untersuchungen zur Ausrichtung der femoralen Rotation empfohlen [17, 18]. Während der lateralen Epikondyle als anatomische Landmarke die Funktion des einzigen femoralen Ansatzes des lateralen Kollateralbandes zugeschrieben wird, werden 2 femorale Ansätze des medialen Seitenbandes differenziert. Die sog. chirurgische Epikondylenachse wird daher als Verbindung zwischen lateraler Epikondyle und dem Sulkus zwischen oberflächlichem und dem tiefen medialen femoralen Seitenbandansatz definiert [6, 16, 24]. Schon geringe Abweichungen von dieser Achse ($>3^\circ$) führen zu Instabilität, eingeschränkter Funktion und Schmerzen [1, 3, 9].

Am Leichenpräparat konnte gezeigt werden, dass die Identifikation der Epikondylen, insbesondere des medialen Epikondylus und Sulkus, ungenau und unzureichend reproduzierbar ist [13]. Dementsprechend unbefriedigend ist auch die Präzision der intraoperativen Bestimmung der Epikondylenachse mit konventioneller Instrumentation [14] aber auch bei navigierter Prothesenimplantation [4, 8, 11, 12, 19, 23].

Um die Genauigkeit der Erfassung der Epikondylenachse zu verbessern ist eine Fehleranalyse der intraoperativen Epikon-

dülenidentifikation erforderlich. Es ist bislang unklar, ob dieser Fehler zufällig verteilt oder systematisch ist und ob es Einflussfaktoren gibt, die eine Möglichkeit für eine Reduktion des Fehlers darstellen.

Ziel dieser Arbeit war es daher, die Abweichungen von intraoperativ mittels Navigation bestimmter Achsen und postoperativ computertomographisch objektiver chirurgischer Epikondylenachsen zu erfassen. Größe und statistische Verteilung der Abweichungen sollten bestimmt und die Korrelation mit möglichen Einflussfaktoren untersucht werden.

Material und Methoden

Patienten

In die prospektive, durch die Ethikkommission und durch das Bundesamt für Strahlenschutz genehmigte Studie wurden 32 Patienten (8 männlich, 24 weiblich) eingebracht. Einschlusskriterien waren das Vorliegen einer primären Gonarthrose, ausgeschlossen wurden Patienten, die an dem betreffenden Kniegelenk voroperiert waren oder aufgrund der vorliegenden Fehlstellung oder Instabilität nicht mit einem ungekoppelten Oberflächenersatz versorgt werden konnten. Dokumentiert wurden Geschlecht, Fehlstellung in der Frontalebene, präoperative Instabilität, präoperatives Bewegungsausmaß (ROM), operierte Seite (rechts/links), Implantatgröße und Body-Mass-Index (BMI).

Operation

Die Operation fand in Rückenlage ohne Abspreizung des kontralateralen Beins statt. Das Navigationsgerät stand entsprechend der Empfehlung des Herstellers in allen Fällen medial des operierten Kniegelenks. Der Operateur stand stets auf der rechten Seite, d. h. bei rechten Kniegelenken lateral, bei linken medial des Operationssitus.

In allen Fällen wurde ein zementierter ungekoppelter Oberflächenersatz mit rotierender Plattform Typ Solution Plus (Fa. Endoplus, Marl) mit dem Galileo-System® (Fa. Precision Implants AG, Aarau, Schweiz) von einem Operateur (G.M.) navigiert implantiert.

Die Operationen wurden in Blutleere (350 mmHg) nach Single-shot-Antibiose (Unacid) durchgeführt. Nach medial parapatellarem Zugang wurden der femorale und tibiale Referenzmarker fixiert und die anatomischen Landmarken eingelesen. Die Operationstechnik entsprach einem „femur first approach“.

Die chirurgische Epikondylenachse sollte erfasst werden. Dazu wurde der Sulkus zwischen dem femoralen Ansatz des oberflächlichen und tiefen medialen Kollateralbandes und die laterale Epikondyle in das Navigationssystem eingelesen. Die Femurkomponente wurde nach der in das Navigationsgerät eingelesenen Epikondylenachse ausgerichtet.

Computertomographische Bestimmung der Abweichung

Das dreidimensionale (3D-)Implantat-alignment wurde am 5. postoperativen Tag computertomographisch bestimmt. Entsprechend einem standardisierten Protokoll wurde ein 200 mm langer Scan (1 mm Schichtdicke) des Kniegelenks durchgeführt.

Folgende anatomischen Landmarken wurden in absoluten Raumkoordinaten (x, y, z) mit Image J (Public Domain, entwickelt am National Institutes of Health) bestimmt (■ **Abb. 1**):

- tiefster Punkt des Sulcus zwischen dem Ansatz des oberflächlichen und tiefen medialen Seitenbandes,
- höchster Punkt des Ansatzes des lateralen Seitenbandes,
- medialer femoraler Fixationspin,
- lateraler femoraler Fixationspin.

Die Artefaktbildung durch das Femurteil erschwert die Identifikation der Epikondylen erheblich. Durch getrennte Darstellung der Epikondylen (im Knochenfenster) und des Femurteils (ohne einschränkendes Fenster) mit anschließender mathematischer Überlagerung konnte dieser Fehler minimiert werden (s. ■ **Abb. 1**). Der Messfehler der derartig bestimmten Epikondylenachse beträgt ca. 1°. Die Genauigkeit des Navigationssystems wird ebenfalls mit ca. 1° angegeben.

Aus dem Winkel zwischen computertomographisch ermittelter chirurgischer Epikondylenachse und dem Femurteil einerseits und dem Winkel des Femurteils zur intraoperativ registrierten Epikondylenachse andererseits ergab sich der intraoperative Bestimmungsfehler (α).

Statistik

Die mittlere Abweichung unter Berücksichtigung der Richtung (Innen-/Außenrotation) wurde als arithmetisches Mittel und Standardabweichung angegeben. Der mittlere Fehler der Bestimmung der Epikondylenachse wurde als arithmetisches Mittel der Beträge von α mit Standardabweichung angegeben. Die Patienten wurden entsprechend der Merkmale Geschlecht und operierte Seite in jeweils 2 Gruppen eingeteilt und Unterschiede im

Zusammenfassung · Abstract

Orthopäde 2006 · 35:848–852 DOI 10.1007/s00132-006-0975-1
© Springer Medizin Verlag 2006

G. Matziolis · D. Krockner · S. Tohtz · C. Perka

Varianz der Epikondylenerfassung bei der navigierten Knieendoprothesenimplantation

Zusammenfassung

Hintergrund. Ziel dieser Arbeit war es den Fehler der Erfassung der Epikondylenachse (EA) bei navigierter Knieendoprothesenimplantation zu bestimmen und Einflussfaktoren auf diesen Fehler zu identifizieren.

Material und Methoden. 32 Patienten wurden navigiert knieendoprothetisch versorgt und die chirurgische EA aufgenommen. Postoperativ wurden CT durchgeführt und die Abweichung zur computertomographisch identifizierten chirurgischen EA bestimmt. Als mögliche Einflussfaktoren wurden Geschlecht, präoperative Fehlstellung, Stabilität und Bewegungsumfang, operierte Seite, Komponentengröße und Body-Mass-Index dokumentiert.

Ergebnisse. Die absolute Abweichung betrug $1,4 \pm 1,3^\circ$. Eine Orientierung des Femur-

teils nach der intraoperativ erfassten EA hätte 3 Ausreißer ($>3^\circ$ Abweichung) zur Folge. Die operierte Seite zeigte als einziger Faktor einen signifikanten Zusammenhang zur Genauigkeit der Bestimmung der EA. Der Fehler betrug bei linken Kniegelenken $0,9 \pm 0,7^\circ$ (maximal $2,4^\circ$), bei rechten $2,0 \pm 1,5^\circ$ (maximal 5° , $p=0,021$).

Schlussfolgerung. Der Operateur stand stets auf der rechten Seite, d. h. lateral bei rechten und medial bei linken Kniegelenken. Eine mediale Position des Operateurs zum Kniegelenk während der Erfassung der EA ist zu empfehlen.

Schlüsselwörter

Knieendoprothetik · Rotationsfehler · Epikondylenachse · Navigation

Variance of identification of femoral epicondyles in navigated total knee arthroplasty

Abstract

Background. The aims of this study were the quantification of the accuracy of registration of the epicondylar axis (EA) in navigated total knee arthroplasty (TKA) and the identification of presumed factors influencing this accuracy.

Methods. A total of 32 navigated TKAs were performed and the surgical EA registered. Postoperatively, the difference from the surgical EA determined by computed tomography was calculated. Presumed factors influencing the accuracy were sex, preoperative malalignment, stability and range of motion, operated side, body mass index, and component size.

Results. The absolute error was calculated to be $1.4 \pm 1.3^\circ$. Alignment according to the intraoperatively defined axes would have re-

sulted in three outliers ($>3^\circ$ malalignment). The operated side was the only factor showing a significant effect on the accuracy. The absolute error in left knee joints was calculated to be $0.9 \pm 0.7^\circ$ (max. 2.4°) and in right knee joints to be $2.0 \pm 1.5^\circ$ (max. 5° , $p=0.021$).

Conclusions. The surgeon stood on the patient's right side in every case, so that right knee joints were operated from the lateral and left ones from the medial side. A medial position of the surgeon to the knee joint during registration of EA is recommended because it results in a higher accuracy than a lateral position.

Keywords

Total knee arthroplasty · Malrotation · Epicondylar axis · Navigation

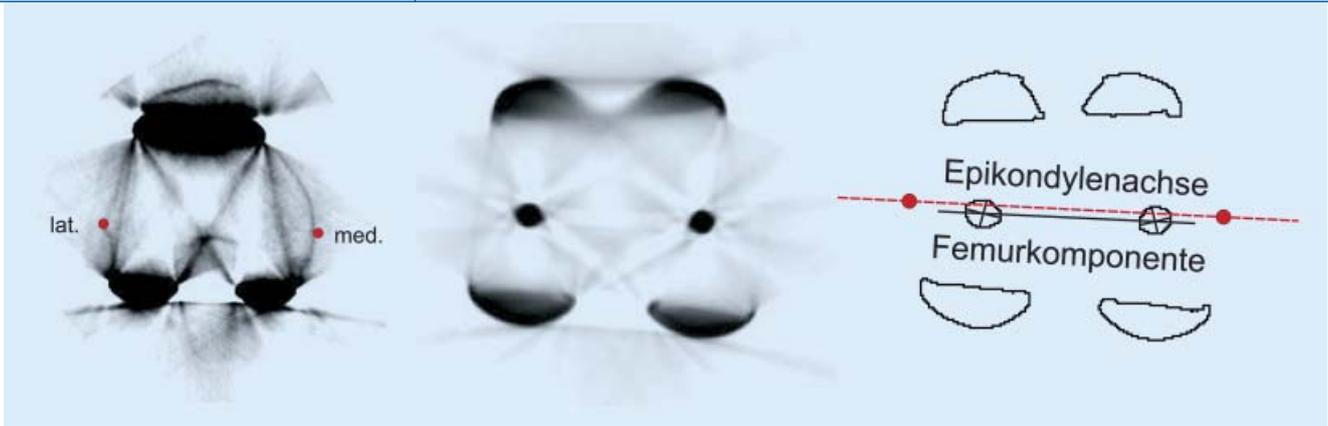


Abb. 1 ▲ CT-Ermittlung der chirurgischen Epikondylenachse als Verbindungslinie zwischen höchstem lateralen Punkt des distalen Femurs und tiefstem Punkt des Sulkus zwischen oberflächlichem und tiefem medialen Bandansatz

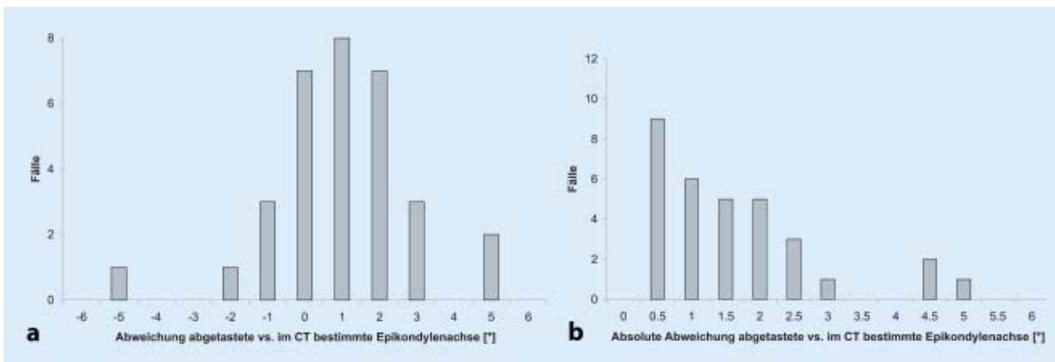


Abb. 2 ◀ Nominelle (a) und absolute (b) Abweichung der intraoperativ erfassten Achse von der chirurgischen Epikondylenachse

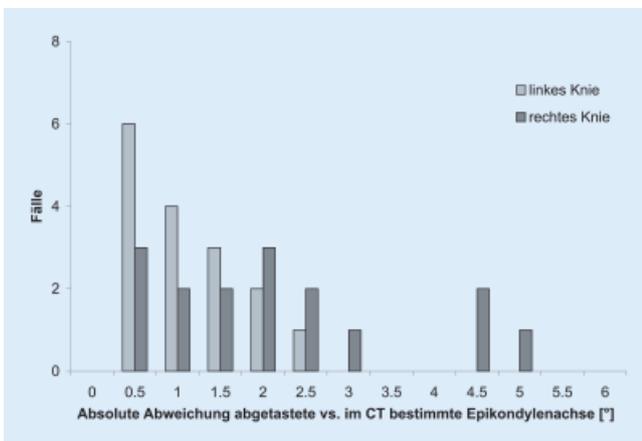


Abb. 3 ◀ Absolute Abweichung der intraoperativ erfassten Achse von der chirurgischen Epikondylenachse aufgeschlüsselt nach rechten und linken Kniegelenken

Mittelwert und dem Fehler von a mit dem Mann-Whitney-U-Test untersucht. Der Zusammenhang zwischen der präoperativen Fehlstellung und α wurde mittels Pearson-Korrelationskoeffizienten wiedergegeben. Das Signifikanzniveau wurde für alle statistischen Tests auf $p=0,05$ festgelegt.

Ergebnisse

Die intraoperativ erfasste Epikondylenachse wich im Durchschnitt $\alpha=0,5\pm 1,8^\circ$ ($5,0^\circ$ Innenrotation bis $4,4^\circ$ Außenrotation) von der computertomographisch ermittelten Epikondylenachse ab (Abb. 2a). Eine Orientierung des Femurteils einzig nach dieser Landmarke hätte 3 Ausreißer (10%) mit $>3^\circ$ Abweichung zur Folge gehabt. Der durchschnittliche Fehler betrug $\beta=1,4\pm 1,3^\circ$ (maximal $5,0^\circ$; s. Abb. 2b).

Geschlecht, präoperative Fehlstellung oder Instabilität zeigten statistisch keinen Zusammenhang zum Fehler in der Erfassung der chirurgischen Epikondylenachse. Selbst kontrakte und große Kniegelenke, quantifiziert durch präoperatives ROM (range of motion) und die Implantatgröße, waren nicht mit einer größeren Ungenauigkeit der Identifikation der Epikondylen vergesellschaftet. Adipositas konnte ebenfalls als Einflussgröße in der Erfassung der Epikondylenachse ausgeschlossen werden. Einzig die operierte Seite (rechts/links) zeigte einen statistisch signifikanten Zusammenhang zur Genauigkeit der Bestimmung der chirurgischen Epikondylenachse. So betrug der Fehler bei linken Kniegelenken $\beta=0,9\pm 0,7^\circ$ (maximal $2,4^\circ$), bei rechten $\beta=2,0\pm 1,5^\circ$ (maximal $5,0^\circ$, $p=0,021$; Abb. 3) ohne einen Trend in Richtung Innen- oder Außenrotation. Bei Einstellung der Rotation des Femurteils einzig nach der intraoperativ erfassten Epikondylenachse wären sämtliche Ausreißer rechte Kniegelenke gewesen.

Diskussion

Rotationsfehler der femoralen Komponente werden für Flexions- und/oder Midflexionsinstabilitäten, ein pathologisches Patella-Tracking sowie Einschränkungen des ROM verantwortlich gemacht [1, 2, 3, 5, 9].

Zur Einstellung der Rotation des Femurteils stehen neben der chirurgischen Epikondylenachse weitere Landmarken zur Verfügung. Die anatomische Epikondylenachse, definiert durch den höchsten Punkt der medialen und lateralen Epikondyle, die dorsale Kondylenachse als Verbindungslinie der dorsalsten Punkte des medialen und lateralen Kondylus und die Whiteside-Linie als Verbindung der tiefsten Punkte der femoralen Trochlea. Neben diesen rein anatomischen Landmarken findet auch die sog. Gap-Technik breite Anwendung, bei der die Rotation des Femurteils so eingestellt wird, dass ein symmetrischer Beugespalt resultiert [7, 10, 15].

Alle Landmarken haben spezifische Vor- und Nachteile, keine konnte sich bislang als Goldstandard durchsetzen. Die Datenlage ist widersprüchlich, ob die Ausrichtung nach der anatomischen oder chirurgischen Epikondylenachse Vorteile bietet [16, 24]. Bei knöcherner Pathologie (Kondylen- oder Trochleahypoplasie) ist der Einsatz der dorsalen Kondylenachse oder der Whiteside-Linie problematisch, bei ligamentärer Pathologie (Insuffizienz oder Kontraktur) erscheint die Gap-Technik schwierig. Die Epikondylen zeigen als Bandinsertionsstellen keine Abhängigkeit von knöchernen oder ligamentären Pathologien, erfordern jedoch zur Identifikation eine zusätzliche Präparation.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass die intraoperative Bestimmung der chirurgischen Epikondylenachse mit einem durchschnittlichen Fehler von $1,4 \pm 1,3^\circ$ (maximal $5,0^\circ$) behaftet ist. Dieser war unabhängig von der präoperativen Fehlstellung, der Instabilität, der ROM, der Implantatgröße und dem BMI. Bei sorgfältiger Exposition des Gelenks scheint also auch in schwierigen Fällen mit Adipositas oder großem und kontraktrem Gelenk eine genaue Identifikation der chirurgischen Epikondylenachse möglich.

Eine Möglichkeit, die Genauigkeit zu steigern, weist die durchgeführte Fehleranalyse. So zeigte sich als einzige Einflussgröße auf den Fehler in der Erfassung der chirurgischen Epikondylenachse die Seite der operierten Extremität. Eine Erklärung hierfür ist die Position des Operateurs zum Kniegelenk. Dieser stand in der vorliegenden Untersuchung stets auf der rechten Seite und daher bei rechten Kniegelenken lateral, bei linken medial des Gelenks. Daraus folgt, dass eine laterale Position zum Kniegelenk zu einem größeren Fehler in der Erfassung der Epikondylenachse führt als eine mediale. Auf die Identifikation des medialen Sulkus als anatomische Struktur zwischen 2 Bandansätzen scheint daher neben der Palpation die visuelle Orientierung eine entscheidende Rolle zu spielen, da diese bei medialer Position des Operateurs eingeschränkt wird. Die laterale Epikondyle scheint als prominente, einhöckerige Struktur primär durch Palpation gut lokalisierbar zu sein, sodass hier die visuelle Orientierung zweitrangig ist.

Die Vermutung, dass der mediale Sulkus schwieriger zu identifizieren ist und neben der Palpation eine visuelle Orientierung erfordert, spiegelt sich auch in der Studie von Jerosch et al. [13] wider. Hier konnte am Leichenpräparat gezeigt werden, dass die Varianz in der Palpation der lateralen Epikondyle 6,4 mm (maximal 13,2 mm), bei der medialen jedoch 9,7 mm (maximal 21,6 mm) beträgt.

Die vorliegenden Ergebnisse legen nahe, dass die visuelle Erfassung insbesondere des medialen Sulkus den Fehler in der Bestimmung der chirurgischen Epikondylenachse verringert.

Fazit für die Praxis

Eine mediale Position des Operateurs während der Erfassung der Epikondylen könnte zu einer höheren Genauigkeit in der Erfassung der chirurgischen Epikondylenachse führen.

Korrespondierender Autor

Dr. G. Matziolis

Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie, Charité-Universitätsmedizin Berlin Schumannstraße 20–21, 10117 Berlin Georg.Matziolis@Charite.de

Interessenkonflikt. Es besteht kein Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen. Die Präsentation des Themas ist unabhängig und die Darstellung der Inhalte produktneutral.

Literatur

1. Akagi M, Matsusue Y, Mata T et al. (1999) Effect of rotational alignment on patellar tracking in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 366: 155–163
2. Anouchi YS, Whiteside LA, Kaiser AD, Milliano MT (1993) The effects of axial rotational alignment of the femoral component on knee stability and patellar tracking in total knee arthroplasty demonstrated on autopsy specimens. *Clin Orthop Relat Res* 286: 170–177
3. Barrack RL, Schrader T, Bertot AJ et al. (2001) Component rotation and anterior knee pain after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 392: 46–55
4. Bathis H, Perlick L, Tingart M et al. (2004) Alignment in total knee arthroplasty. A comparison of computer-assisted surgery with the conventional technique. *J Bone Joint Surg Br* 86(5): 682–687
5. Berger RA, Crosssett LS, Jacobs JJ, Rubash HE (1998) Malrotation causing patellofemoral complications after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 356: 144–153
6. Berger RA, Rubash HE, Seel MJ et al. (1993) Determining the rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty using the epicondylar axis. *Clin Orthop Relat Res* 286: 40–47
7. Griffin FM, Math K, Scuderi GR et al. (2000) Anatomy of the epicondyles of the distal femur: MRI analysis of normal knees. *J Arthroplasty* 15(3): 354–359
8. Hart R, Janecek M, Cizmar I et al. (2006) Minimal-invasive und navigierte Implantation von Kniegelenkprothesen. Radiologische Analyse und frühe klinische Ergebnisse. *Orthopade (im Druck)*
9. Insall JN, Scuderi GR, Komistek RD et al. (2002) Correlation between condylar lift-off and femoral component alignment. *Clin Orthop Relat Res* 403: 143–152
10. Insall JN (1993) *Surgery of the knee*, 2nd edn. Churchill Livingstone, New York
11. Jenny JY, Boeri C (2004) Low reproducibility of the intra-operative measurement of the transepicondylar axis during total knee replacement. *Acta Orthop Scand* 75: 74–77
12. Jenny JY, Boeri C, Picard F, Leitner F (2004) Reproducibility of intra-operative measurement of the mechanical axes of the lower limb during total knee replacement with a non-image-based navigation system. *Comput Aided Surg* 9: 161–165
13. Jerosch J, Peucker E, Philipps B, Filler T (2002) Interindividual reproducibility in perioperative rotational alignment of femoral components in knee prosthetic surgery using the transepicondylar axis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 10: 194–197
14. Kinzel V, Ledger M, Shakespeare D (2005) Can the epicondylar axis be defined accurately in total knee arthroplasty? *Knee* 12: 293–296
15. Luring C, Hufner T, Perlick L et al. (2005) Weichteilmanagement bei der Varusgonarthrose. Der navigationsgestützte schrittweise mediale Bandrelease. *Orthopade* 34(11): 1118–1124

16. Matsuda S, Miura H, Nagamine R et al. (2003) A comparison of rotational landmarks in the distal femur and the tibial shaft. *Clin Orthop Relat Res* 2003: 183–188
17. Miller MC, Berger RA, Petrella AJ et al. (2001) Optimizing femoral component rotation in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 392: 38–45
18. Olcott CW, Scott RD (1999) The Ranawat Award. Femoral component rotation during total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 367: 39–42
19. Perlick L, Bathis H, Lerch K et al. (2004) Der navigationsgestützte bicondyläre Oberflächenersatz bei der sekundären Gonarthrose des RA-Patienten im Vergleich zur konventionellen Implantationstechnik. *Z Rheumatol* 63(2): 140–146
20. Romero J, Stahelin T, Wyss T, Hofmann S (2003) Die Bedeutung der axialen Rotationsausrichtung der Knieprothesenkomponenten. *Orthopade* 32(6): 461–468
21. Scuderi GR, Komistek RD, Dennis DA, Insall JN (2003) The impact of femoral component rotational alignment on condylar lift-off. *Clin Orthop Relat Res* 2003: 148–154
22. Scuderi GR, Insall JN (2000) Rotational positioning of the femoral component in total knee arthroplasty. *Am J Knee Surg*. 13(3): 159–161
23. Sparmann M, Wolke B, Czupalla H et al. (2003) Positioning of total knee arthroplasty with and without navigation support. A prospective, randomised study. *J Bone Joint Surg Br* 85(6): 830–855
24. Tanavalee A, Yuktanandana P, Ngarmukos C (2001) Surgical epicondylar axis vs anatomical epicondylar axis for rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty. *J Med Assoc Thai* 84(Suppl 1): 401–408

Recycling von Knie-Orthesen

Knie-Orthesen sind von den Herstellern für den einmaligen Einsatz am Patienten konzipiert. Im Zuge von Einsparungsmaßnahmen wird in einigen Bundesländern eine Wiederverwendung von Knie-Orthesen gefördert. Die Wiederverwendung kann aber die Gesundheit von Patienten gefährden.

Zu diesem Schluss kommen aktuelle Studien des Universitätsklinikums Freiburg sowie der Ruhr-Universität Bochum, die hygienische und mechanische Aspekte der Aufbereitung untersuchten. Der Aufbereitung werden vor allem durch die mechanischen Belastungen enge Grenzen gesetzt, wie das Institut für Konstruktionstechnik der Ruhr-Universität Bochum ermittelte. Hier wurden in einem eigens entwickelten Prüfgerät Knie-Orthesen getestet und deren langfristige Verwendung simuliert. Zwar bestanden alle getesteten Knie-Orthesen den Erst-Einsatz, im weiteren Testverlauf über insgesamt eine Million Belastungshübe zeigten jedoch alle Orthesen Verschleißerscheinungen. Um Gefahren für Patienten in einer postoperativen Phase sicher ausschließen zu können, muss die Aufbereitung von Knie-Orthesen beim jeweiligen Hersteller liegen. Nur dieser verfügt über die notwendigen technologischen und konstruktiven Kenntnisse, um die komplexe Mechanik einer Knie-Orthese zu bewerten.

Die am Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene des Freiburger Universitätsklinikums erfolgte Hygieneuntersuchung zeigte zudem, dass sich in gebrauchten Knie-Orthesen pathogene Keime befinden. So wurden in 57,1 Prozent der untersuchten Knie-Orthesen Schimmelpilze und in 25,0 Prozent Nonfermenter nachgewiesen. Besonders bei einer postoperativen Verwendung gefährden diese den Patienten. Ebenso kontaminieren Keime eines frisch operierten Patienten eine Knie-Orthese oft derart, dass ein weiterer Einsatz bedenklich ist. Die Ergebnisse der Untersuchung machten deutlich, dass Knie-Orthesen nur dann wiederaufbereitet werden können, wenn eine hygienische Qualität entsprechend RKI(Robert-Koch-Institut)-Richtlinien gewährleistet wird.

1. Stellungnahme zur hygienischen Aufbereitung von Knie-Orthesen,
Prof. Dr. med F. Daschner,
Dr. med S. Wenzler-Röttele,
PD Dr. med M. Dettenkofer,
Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene, Universitätsklinikum Freiburg,
Dezember 2005.

2. Mechanische Aspekte beim Wiedereinsatz von Knie-Orthesen,
Dr.-Ing. Ulrich Witzel,
Ruhr-Universität Bochum,
Institut für Konstruktionstechnik, Juni 2006

Quelle: Herstellerverband Eurocom