

J. Romero<sup>1</sup> · T. Stähelin<sup>1</sup> · T. Wyss<sup>2</sup> · S. Hofmann<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kniechirurgie, Orthopädische Universitätsklinik Balgrist, Zürich

<sup>2</sup> Orthopädische Klinik, Bürgerspital, Solothurn

<sup>3</sup> Allgemeines und Orthopädisches LKH, Stolzalpe

# Die Bedeutung der axialen Rotationsausrichtung der Knieprothesenkomponenten

## Zusammenfassung

Innenrotationsfehler der tibialen und femoralen Komponente haben für das endoprothetisch versorgte Kniegelenk komplexe kinematische Auswirkungen auf das Femoropatellargelenk und die femorotibiale Stabilität in Flexion. Eine kombinierte tibiale und femorale Malrotation fördert eine Luxationsneigung der Patella. Die Innenrotationsfehlposition der Femurkomponente erzeugt einen asymmetrischen Flexionsspalt. Dies kann lateral eine verstärkte Laxität oder medial einen engen Beugespalt erzeugen. Die Folge ist entweder eine laterale Flexionsinstabilität mit klinischen Symptomen wie medialer Tibiakopfschmerz, Schwierigkeiten aus sitzender Position aufzustehen und Unsicherheitsgefühl beim Bergabgehen, oder einer Flexionshemmung, die sich zur Arthrofibrose entwickeln kann.

Drei Methoden der ossär sich orientierenden Rotationspositionierung der femoralen Komponente haben sich in der täglichen Praxis durchgesetzt: 1. Referenz an den posterioren Kondylen mit standardmäßiger Außenrotationskorrektur von 3°. 2. Ausrichtung senkrecht zur a.-p.-Linie (Whiteside's line). 3. Ausrichtung parallel zur Epikondylarachse. Letztere hat zunehmend an Bedeutung gewonnen, weil die Epikondylarachse eine gute Approximation der natürlichen Flexionsachse des Kniegelenks darstellt. Alle 3 Methoden haben den Nachteil, dass nicht immer ein rechtwinklig symmetrischer Flexionsspalt erzielt wird, was kinematisch einer relativen Rotationsfehlstellung entspricht.

Die sich an den Weichteilen orientierende Methode stellt die femorale Komponente streng parallel zur Tibiaresektionsfläche ein, nachdem ein allfälliger Release der kontraktiven Seitenbänder den Extensionsspalt symmetrisch ausbalanciert hat, sodass die mechanische Achse der Tibia und des Femurs nach Distraction mit einem Spanninstrument in einer Geraden durch die Mitte des Kniegelenks zu liegen kommt. Damit ergibt sich ein symmetrisch ausbalanciertes Kniegelenk in Flexion und Extension. Die Methode hat aber den Nachteil, dass die femorale Komponente allenfalls nicht parallel zur Flexionsachse des natürlichen Kniegelenks zu liegen kommt. Es besteht noch keine Erkenntnis darüber, ob ein rechteckig symmetrischer Flexionsspalt oder eine Flexionsachsenausrichtung die besseren klinischen Ergebnisse liefert.

Die Rotationspositionierung der tibialen Komponente nach der Tuberositas tibiae weist wohl das geringste Fehlerpotential aus. Die Methode der spontanen Ausrichtung der Tibiakomponente bei Probereposition in Extension, entsprechend der Rotationsposition der Femurkomponente, kann zur Innenrotationsfehlstellung der Tibiakomponente führen, falls die Femurkomponente bereits nach innen malrotiert ist. Damit potenziert sich der Gesamttinnenrotationsfehler.

## Schlüsselwörter

Knieendoprothetik · Kinematik · Malalignment · Rotationsfehler · Patellaluxation · Instabilität

Die korrekte Positionierung der Knie-totalendoprothese muss 3 axialen (Varus/Valgus, Innen-/Außenrotation, Flexion/Extension) und 3 translatorischen (medial/lateral, anterior/posterior, proximal/distal) Ausrichtungen der tibialen und femoralen Komponente gerecht werden, um die Voraussetzung für eine einwandfreie Funktion und Langlebigkeit des ersetzten Kniegelenks zu schaffen.

Es ist ausführlich untersucht, dass Fehlpositionierungen in der Koronarebene ohne Respektierung der mechanischen Achse (Varus- oder Valgusfehlstellungen) zur einseitigen Tibiaplateauüberlastung mit Kompromittierung der ossären Verankerung [15] und zur vermehrter Polyethylen(PE-)abnützung [24, 32] führen.

Die komplexesten Störungen der femorotibialen Kinematik werden durch axiale Innenrotationsfehlstellungen der femoralen Komponente bewirkt. Die gekoppelte Rotation (Abb. 1) und die Varus-Valgus-Position des Unterschenkels (Abb. 2) während der Flexion [29] werden dabei nachhaltig beeinflusst. Dies führt zur Laxitätserhöhung in zunehmender Flexion und bei zusätzlich kombinierter Innenrotationsfehlstellung der

© Springer-Verlag 2003

Dr. J. Romero  
Kniechirurgie,  
Orthopädische Universitätsklinik Balgrist,  
Forchstraße 340, CH-8008 Zürich, Schweiz  
E-Mail: Jose.Romero@balgrist.ch

## Significance of axial rotation alignment of components of knee prostheses

### Abstract

Increased internal malrotation of the tibial and femoral components affects kinematics of the patellofemoral joint and the flexion gap. A combined tibial and femoral malrotation may lead to maltracking of the patella. Isolated internal malrotation of the femoral component results in an asymmetric flexion gap. Clinically, the patients suffer from either lateral instability or medial stiffness in flexion. Lateral flexion instability leads to medial tibial pain, difficulties standing up from a chair, or instability during descending stairs or walking downhill. Medial stiffness in flexion may lead to secondary arthrofibrosis.

There are three methods for determining femoral rotation by bony landmarks: (1) posterior condyles with 3° of external rotation, (2) anterior-posterior axis according to Whiteside, and (3) transepicondylar axis. The transepicondylar axis approximates the flexion axis of the knee. All three bony landmarks have the disadvantage that they will not create a symmetric flexion gap in all cases.

The balanced flexion gap technique seeks to achieve a perfectly balanced extension gap first, and then aligns the femoral component parallel to the tibial resection plane when the knee is under symmetric distraction in 90° of flexion. The soft tissue releases for varus or valgus contraction have to be performed in extension first until the mechanical axis passes through the center of the knee, the center of the femoral head, and the center of the ankle. Using these methods, both, extension and flexion gap will become rectangular. The balanced flexion gap method has the disadvantage that the femoral component will not be aligned parallel to the epicondylar axis in some cases. It is not known which of the two methods will produce better clinical results.

Rotational positioning of the tibial component referenced on the tibial tuberosity represents the most reliable method. Placing the tibial component according to the femoral component using the floating technique may increase an internal malrotation problem of the femur if present.

### Keywords

Knee endoprosthesis · Kinematics · Malalignment · Patella luxation · Rotation failure · Instability

## Zum Thema: Knieendoprothetik

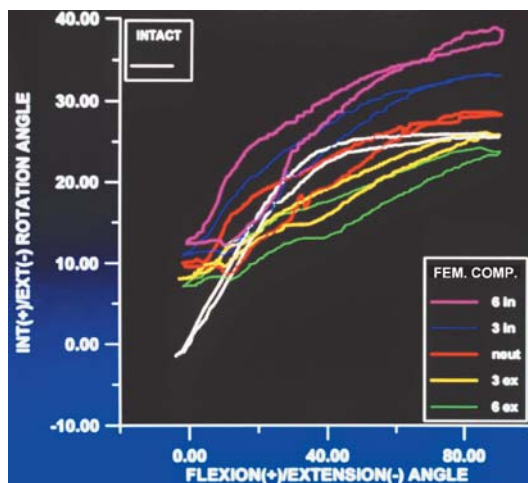


Abb. 1 ◀ Tibiarotation während der Knieflexion von 0° bis 90° („screw home mechanism“) eines Kadaverkniegelenks vor (weiße Kurve) und nach Implantation einer Knie-Endoprothese mit verschiedenen Rotationspositionen der femoralen Komponente (grün: 6° Außenrotation, gelb: 3° Außenrotation, rot: parallel zu den dorsalen Kondylen, blau: 3° Innenrotation, violett: 6° Innenrotation). Eine Innenrotationsposition von 6° weicht am stärksten vom intakten Knie ab

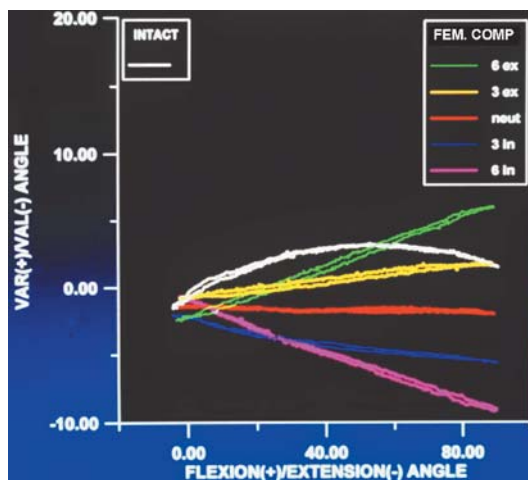


Abb. 2 ◀ Varus-Valgus-Exkursion während der Knieflexion von 0° bis 90° eines Kadaverkniegelenks vor (weiße Kurve) und nach Implantation einer Knie-Endoprothese mit verschiedenen Rotationspositionen der femoralen Komponente (grün: 6° Außenrotation, gelb: 3° Außenrotation, rot: parallel zu den dorsalen Kondylen, blau: 3° Innenrotation, violett: 6° Innenrotation). Eine Innenrotationsposition von 6° weicht am stärksten vom intakten Knie ab

tibialen Komponente zu Zentrierungsabweichungen der Patellaführung [6].

### Auswirkungen der Malrotation auf das Femoropatellargelenk

Ein intaktes Kniegelenk mit lateralisierter Tuberositas tibiae, klinisch durch einen erhöhten Q-Winkel und radiologisch durch eine vergrößerte TA-GT-Distanz [13] erkennbar, oder Kniegelenke mit Trochleadysplasie, haben eine Patellaluxationsneigung, letztere nicht nur wegen einer flachen, aber auch wegen einer medialisierten Trochlea, die Folge einer Hypoplasie des medialen Femurkondylus ist. Auch diese Situation entspricht einer relativen Vergrößerung des Q-Winkels, weshalb auf die Patella bei einer Quadrizepskontraktion ein resultierender Kraftvektor nach lateral stärkeren Ausmaßes wirkt.

In der Knieendoprothetik entspricht eine Innenrotationsfehlstellung des Tibiaplateaus einer relativen Latera-

lisierung der Tuberositas tibiae und eine Innenrotation der femoralen Komponente einer Medialisierung der endoprothetischen Trochlea, was beides die Lateralisationstendenz der Patella fördert (Abb. 3).

An einem Kollektiv von 20 Patienten mit patellofemorale Komplikationen nach Knieendoprothese konnten Berger et al. [6] nachweisen, dass diese Kniegelenke deutlich mehr kombinierte Innenrotationspositionierungen der tibialen und femoralen Komponente aufwiesen als eine asymptotische Gruppe. Als Referenz für die Beurteilung der Rotationsposition der femoralen Komponente wurde die chirurgische Epikondylarachse gewählt, die als Verbindung des medialen Epikondylarsulkus mit der lateralen Epikondylarprominenz definiert ist [5]. Die Rotationsposition der tibialen Komponente wurde auf die Tuberositas tibiae bezogen.

Die Patella wies bei geringer kombinierter Komponenteninnenrotation

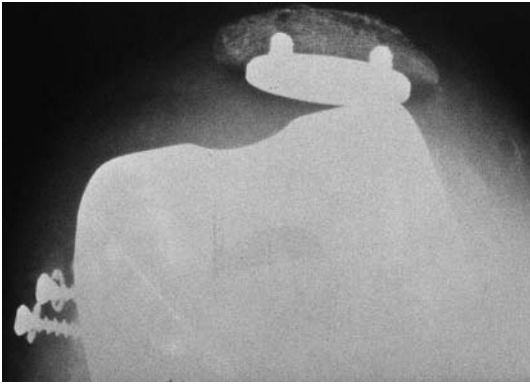


Abb. 3 ▲ Endoprothetisch versorgte Kniegelenke mit Innenrotationsfehlstellungen der tibialen und femoralen Komponente gehen häufiger mit patellofemorale Komplikationen einher. Zudem erzeugt eine ausgeprägte Innenrotationsposition der Femurkomponente entweder einen weiten lateralen oder engen medialen Flexionsspalt. In diesem Beispiel wurde ungünstigerweise versucht, die Bandspannungsasymmetrie in Flexion durch eine femoralseitige Seitenbandversetzung medial anzugehen

(<3°) eine Lateralisationstendenz und eine Kippung (patellar tilt), bei mäßiger (3–7°) eine Subluxation und bei ausgeprägter (>7°) eine Luxation mit Patallakomponentenfehlschlag auf. Bei der Kontrollgruppe wurde eine kombinierte Außenrotationsposition von 0–10° gemessen. Akagi et al. [1] wiesen ebenfalls eine bessere Patellaführung nach, wenn die femorale Komponente in 3–5° Außenrotation eingebracht war, als bei Implantation parallel zu den dorsalen Femurkondylen.

Barrack et al. [4] stellten 14 endoprothetisch ersetzte Gelenke mit vorzeitigem Knieschmerz einer gleich großen Gruppe von asymptomatischen Gelenken mit vergleichbarer Alters- und Geschlechtsverteilung und vergleichbarem Zeitraum seit dem Eingriff gegenüber. Bei den symptomatischen Kniegelenken lag die mittlere Rotationsposition der Femurkomponente bezüglich der Epikondylarachse bei 1,5° Außenrotation (5° Innenrotation bis 7° Außenrotation) und der Tibiakomponente bezüglich der Tuberositas tibiae bei 6° Innenrotation (15° Innenrotation bis 6° Außenrotation). Die Tibiakomponente der asymptomatischen Kniegelenke wies im Mittel 6° mehr Außenrotation auf und die Berechnung der kombinierten Komponentenrotation ergab ebenfalls eine vermehrte Außenrotation von 7°. Die Femurkomponenten alleine zeigten keine signifikanten Unterschiede. Die Häufigkeit eines Patellatils oder einer Patella-

subluxation war in der symptomatischen und asymptomatischen Gruppe gleich.

### Auswirkungen der Malrotation auf den Flexionsspalt

In der klassischen Knieendoprothetik haben die Knochenresektionen an Tibia und Femur nicht nur zum Ziel, die Komponenten senkrecht auf die mechanische Achse auszurichten, sondern auch einen symmetrischen Extensions- und Flexionsspalt (Abb. 4) herzustellen [16]. Nach Resektion der hinteren Kondylen soll ein rechteckiger Flexionsspalt entstehen, wie dies für den Extensionsspalt gewünscht ist. Die symmetrische Weite des Flexionsspalts soll identisch mit der symmetrischen Weite des Extensions-

spalts sein, damit eine optimale Kinematik des Prothesenkniees für Beweglichkeit und Stabilität gewährleistet ist.

Die Resektion des Tibiaplateaus senkrecht zur mechanischen Tibiaachse führt meist aufgrund der anatomischen Varusinklination des Tibiaplateaus [25] von durchschnittlich 3° zur vermehrten Knochenresektion lateral. Falls die posterioren Femurkondylen selbst als Referenz für deren Resektion verwendet werden, entsteht bei dorsaler Resektion der gleichen Knochendicke medial und lateral ein Flexionsspalt von trapezoidaler Konfiguration, der lateral weiter ist als medial, was einer Flexionsspaltsymmetrie von 3° entspricht.

Eine experimentelle Studie [30] an Leichenkniegelenken konnte bei einer relativen Innenrotationsposition der femoralen Komponente von 3° noch keine signifikant vermehrte Laxität lateral nach Applikation von 15 Nm Varusstress in 90° Beugung und axialer Belastung von 150 N nachweisen. Bei 6° relativer Innenrotationsposition aber konnte eine vermehrte Öffnung des Flexionsspalts auf der lateralen Seite festgestellt werden (Abb. 5). In Extension hatten die getesteten Rotationspositionen der femoralen Komponente keine Auswirkungen auf die Laxität (Abb. 6). Zu ähnlichen Resultaten kamen Anouchi et al. [2] auch bei unbelasteten Leichenkniegelenken.

Neuere Instrumentationssysteme verwenden die axiale Femurkomponentenausrichtung um diese Flexionsspaltsymmetrie zu kompensieren. Dabei wird die posteriore Kondylenreferenz zwar beibehalten, zusätzlich ist aber eine Außenrotation der dorsalen Resektionsebene von 3° im Ausrichteinstrument eingebaut. Die Flexionsspaltsymmetrie

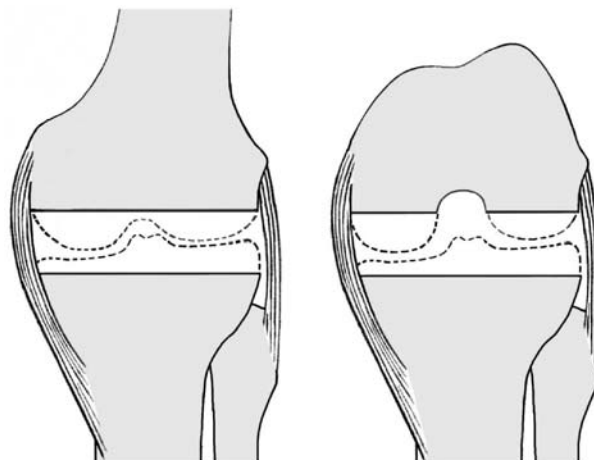


Abb. 4 ◀ Die Höhe und Neigung der Resektionsebenen verfolgen in der klassischen Knieendoprothetik das Ziel, einen symmetrisch rechteckigen Extensions- und Flexionsspalt gleicher Distanz zu erzeugen

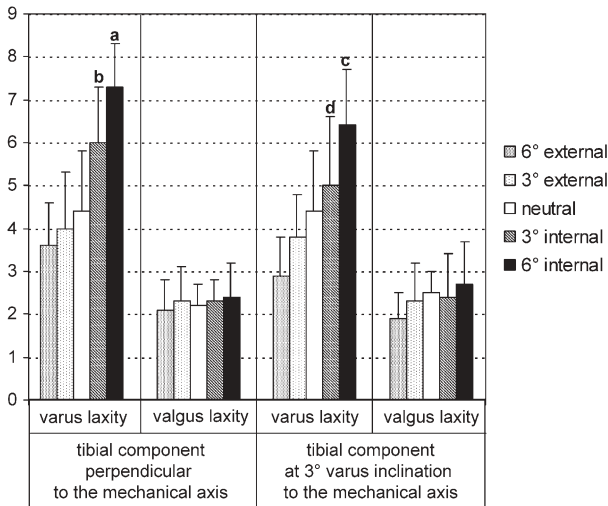


Abb. 5 ▲ Varus- und Valgus-Laxitäts-Mittelwerte (von 10 Kadaverkniegelenken) in mm bei Applikation von 10 Nm Drehmoment in 60° Knieflexion nach Implantation einer Totalendoprothese mit der femoralen Komponente in anatomischer Neutralstellung (parallel zu den hinteren Kondylen), sowie in 3° und 6° Innen- und Aussenrotation. (<sup>a</sup>signifikanter Unterschied zu 6° und 3° Aussenrotation und zur Neutralstellung, <sup>b</sup>signifikanter Unterschied zu 6° und 3° Aussenrotation,  $p < 0.01$ ,  $F = 11.28$ ; <sup>c</sup>signifikanter Unterschied zu 6° und 3° Aussenrotation,  $p < 0.001$ ,  $F = 9.315$ ) (Entnommen mit Erlaubis aus: Romero, J., Duronio, J. F., Sohrabi, A., Alexander, N., MacWilliams, B. A., Jones, L. C., and Hungerford, D. S. Varus and Valgus Flexion Laxiy of Total Knee Alignment Methods in loaded Cadaveric Knees. Clin Orthop 394:243-253, 2002)

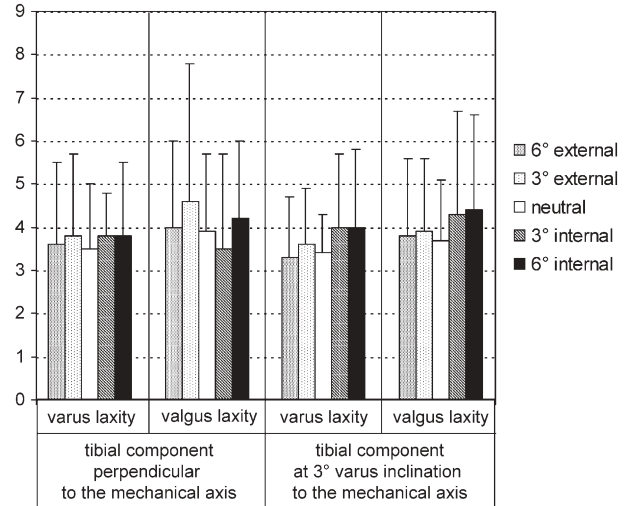


Abb. 6 ▲ Varus- und Valgus-Laxitäts-Mittelwerte (von 10 Kadaverkniegelenken) in mm bei Applikation von 10 Nm Drehmoment in 0° Knieflexion nach Implantation einer Totalendoprothese mit der femoralen Komponente in anatomischer Neutralstellung (parallel zu den hinteren Kondylen), sowie in 3° und 6° Innen- und Aussenrotation. Es ergeben sich keine signifikanten Laxitätsunterschiede. (Entnommen mit Erlaubis aus: Romero, J., Duronio, J. F., Sohrabi, A., Alexander, N., MacWilliams, B. A., Jones, L. C., and Hungerford, D. S. Varus and Valgus Flexion Laxiy of Total Knee Alignment Methods in loaded Cadaveric Knees. Clin Orthop 394:243-253, 2002)

kann auch durch ein Prothesenmodell kompensiert werden, das unterschiedliche Radien an den dorsalen Kondylen aufweist [20, 28]. Falls die Flexionsspaltasymmetrie nicht auskorrigiert wird, bleibt eine unilaterale vermehrte Laxität. Wird diese vergrößerte unilaterale Flexionsdistanz fälschlicherweise mit einem dickeren PE-Einsatz geschlossen, entsteht eine Enge des Beugespalts auf der Gegenseite.

Laskin [23] wies anhand von 2 Vergleichsgruppen nach, dass Patienten ohne eine Außenrotationskorrektur der femoralen Komponente postoperativ vermehrt an medialem Tibiakopfschmerz und Bewegungseinschränkung litten. Auch Boldt et al. [7] konnten bei Patienten mit Arthrofibrose nach Knie-totalendoprothese eine erhöhte Innenrotationfehlstellungsrate der femoralen Komponente gegenüber einer Gruppe mit postoperativ gutem Resultat feststellen. Es liegen jedoch noch keine klinischen Daten vor, welcher Grad der Flexionsdysbalance Symptome bewirkt.

Dennis et al. [9] haben nachgewiesen, dass ein unilaterales Öffnen des Gelenkspalts in Flexion unter Belastung (condylar lift off) bei Patienten mit sub-

jektiv erfolgreich implantierten Kniegelenken durchaus anzutreffen ist und mit einer Malrotation korreliert [18]. Bei Kniegelenken mit mobilem Gleitlager ist es zur Realisierung des Konzepts wünschenswert, dass die laterale im Vergleich zur medialen Seite eine vermehrte Laxität aufweist. Es ist aber beschrieben worden, dass eine zu ausgeprägte

Laxität in Flexion die Ursache von unklaren Kniescherzen nach Knie-totalendoprothese sein kann [27].

Die Kinematik des Prothesenkniees ist jedenfalls bei Innenrotationsfehlstellung der femoralen Komponente erheblich verändert [29] und bewirkt entweder eine unilaterale Flexionsinstabilität oder einen unilateral zu engen Flexions-

Abb. 7 ► Die Rotationsposition lässt sich mit einer transversalen Computertomographieaufnahme auf Epikondylenhöhe feststellen. Die Transepikondylarachse bildet in diesem Beispiel mit der Tangente an die dorsalen Kondylen einen Winkel von 10°, was einer ausgeprägten Innenrotationsfehlstellung der femoralen Komponente entspricht

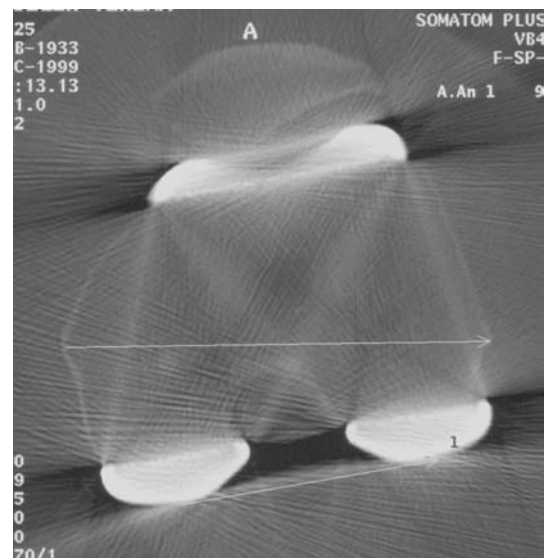




Abb. 8 ◀ Mit der radiologischen Varus-Valgus-Stressuntersuchung unter dem Bildwandler lässt sich eine pathologische Aufklappbarkeit des endoprothetisch versorgten Kniegelenks nachweisen. Für die Stabilitätsprüfung in Flexion wird das Bein mit 80° gebeugter Hüfte auf einem Gestell positioniert. Der Röntgenstrahl wird mit 5° Reklination auf das 90° gebeugte Knie zentriert, was eine Darstellung des Flexionsspalts erlaubt

spalt. Dieser Umstand kann einer der Gründe für eine verkürzte Lebensdauer des PE sein [32].

### Klinische Abklärung der Malrotation

Schmerzen über der Patella und am medialen Tibiakopf, erschwertes Aufstehen aus sitzender Position und Unsicherheit bei Bergabgehen sind die wichtigsten Symptome der Malrotation. Im klassischen Fall findet sich eine vermehrte Aufklappbarkeit des Gelenks in Flexion bei stabilen Verhältnissen in Extension und guter Beweglichkeit. Eine Beugehemmung kann aber ebenfalls Ausdruck einer Malrotation der femoralen Komponente sein. Eine chronische Ergussbildung kann vorhanden sein, wenn die Malrotation zu einem vermehrten PE-Abrieb geführt hat.

Die Abklärung eines schmerzhaften Kniegelenks nach Totalendoprothese erfordert selbstverständlich immer die Suche nach einer Infektion und einer Lockerung. Falls beides ausgeschlossen ist, drängt sich die Beurteilung der Rotationsposition der femoralen Komponente auf; dabei wird der Winkel zwischen der Tangente an den dorsalen Prothesenkondylen und der chirurgischen Epikondylarachse gemessen (Abb. 7). Ein Winkel von 0° ist als gewünschte Rotationspositionierung akzeptiert. Die Bestimmung der klinischen Epikondylarachse (Verbindung des prominentesten Punktes des medialen Epikondylus mit dem prominentesten Punkt des lateralen

Epikondylus) hat sich dabei gegenüber der chirurgischen Epikondylarachse (Verbindung des Sulkus am medialen Epikondylus mit dem prominentesten Punkt am lateralen Epikondylus) als zuverlässiger erwiesen [35]. Die tibiale Komponente wird als Winkelabweichung von der Tuberositas tibiae gemessen [6].

Die Varus-Valgus-Stressuntersuchung des Kniegelenks in Flexion [31] unter dem Röntgenbildverstärker (Abb. 8) kann eine unilaterale Instabilität bei Malrotation der femoralen Komponente nachweisen (Abb. 9).

### Wie stellt man intraoperativ eine korrekte Rotationsposition der femoralen und tibialen Komponente ein?

Bevor beantwortet werden kann, wie eine Malrotation zu verhindern sei, muss die Frage geklärt werden, wie eine korrekte Rotationsposition definiert ist. Dazu existiert jedoch keine einheitliche Ansicht. Man unterscheidet 2 verschiedene Methoden. Einerseits die Ausrichtung der Komponenten nach anatomischen Landmarken am Knochen und andererseits die weichteilorientierte Methode.

#### Femur

Die folgenden ossär orientierten Methoden haben sich zur Positionierung der femoralen Komponente durchgesetzt:

- ▶ Referenz an den posterioren Kondylen mit standardmäßiger Außenrotationskorrektur von 3°,
- ▶ Ausrichtung senkrecht zur a.-p.-Linie nach Whiteside [33],
- ▶ Ausrichtung parallel zur chirurgischen Epikondylarlinie.

Alle 3 Methoden haben zum Ziel, die bestehende Femuranatomie, die allerdings bei stark arthrotischen Veränderung deformiert sein kann, zu reproduzieren, ohne dabei primär die Bandspannung zu berücksichtigen, die für die Erzielung eines symmetrischen Flexionsspalts verantwortlich ist. Im Idealfall erzeugen alle 3 Methoden die gleiche Rotationsposition (Abb. 10), da die a.-p.-Linie üblicherweise senkrecht auf der Transepikondylarachse steht [3] und die Tangente an die dorsalen Kondylen gegenüber der Transepikondylarachse 3° nach innen rotiert ist [5].

Falls ein rechteckig-symmetrischer Extensions- und Flexionsspalt als oberstes Ziel der Ligamentbalance angestrebt wird, kann jedoch keine dieser Metho-



Abb. 9 ▲ Die Varusstressaufnahme in Flexion zeigt in diesem Beispiel eine Aufklappbarkeit lateral von 12°. Es handelt sich um das gleiche Knie wie in Abb. 7 mit der starken Innenrotationsfehlstellung der femoralen Komponente. Medial und lateral in Extension und medial in Flexion war das Knie stabil. Der Patient leidet an einer lateralen Flexionsinstabilität, die sich klinisch mit Schmerzen der Pes-anserinus-Sehnen am medialen Tibiakopf, mit Schwierigkeiten aus sitzender Position aufzustehen und mit einem Unsicherheitsgefühl beim Bergabgehen manifestiert

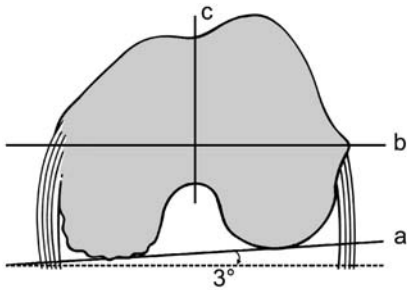


Abb. 10 ▲ **Ossäre Landmarken zur axialen Rotationsausrichtung der femoralen Komponente:** a) Aussenrotationskorrektur von 3° zur Tangente an die dorsalen Kondylen. b) Transepikondylar-Achse. c) Anteroposteriore Linie („White side line“)

den in allen Fällen den Flexionsspalt symmetrisch ausrichten. Olcott et al. [26] haben festgestellt, dass mit einer instrumentellen Standardaußenrotationskorrektur von 3° nur in 70% aller Fälle ein symmetrischer Flexionsspalt erzielt werden konnte, bei Valguskniegelenken gar nur in 50%. Diese intraoperativ an 100 konsekutiv operierten Patienten durchgeführte Studie wies auch nach, dass die anderen beiden ossär orientierten Methoden der axialen Rotationsausrichtung für die femorale Komponente nicht in der Lage sind, in jedem Fall einen symmetrischen Flexionsspalt zu erzeugen.

Bei Ausrichtung senkrecht zur a.-p.-Achse, die im Wesentlichen durch die Trochlea femoris bestimmt wird, entstand in 83% aller Fälle ein symmetrischer Flexionsspalt, bei präoperativen Valguskniegelenken in 77% der Fälle. Die Anwendung der Transepikondylarachse erzielte am häufigsten einen symmetrischen Flexionsspalt, nämlich in 90% der Fälle (bei Valgus-Kniegelenken in 86%).

Die Transepikondylarachse, die den medialen und lateralen Epikondylus miteinander verbindet, hat als Referenz zur Ausrichtung der femoralen Komponente in letzter Zeit aus kinematischen Überlegungen an Bedeutung gewonnen. Sie stellt eine gute Approximierung der Achse dar, um die das Kniegelenk die Beugebewegung ausführt [8, 14]. Bei standardmäßiger Verwendung der Transepikondylarachse muss allerdings in Kauf genommen werden, dass in 10–14% der Fälle der Flexionsspalt nicht symmetrisch wird. Dies kann auch damit zusammenhängen, dass intraoperativ die Transepikondylarachse nur ungenau zu bestimmen ist [19].

Die ossäre Methode bedient sich bei Vorliegen einer Bandspannungsasymmetrie des Weichteilrelease erst nach Durchführung aller Knochenresektionen und bei eingesetztem Blockspacer oder eingebrachten Probekomponenten. Falls in Extension und Flexion dann unterschiedliche Bandspannungsverhältnisse vorliegen, besteht die Gefahr, dass ein Weichteilrelease der kontraktiven Seite zur Herstellung eines symmetrischen Extensionsspalts zur unkontrollierbaren Destabilisierung der Spannung in Flexion beiträgt. Krackow et al. [21, 22] haben nachgewiesen, dass ein medialer oder lateraler Weichteilrelease eine unterschiedliche Wirkung auf die Stabilität in Flexion und Extension haben.

Mit der weichteilorientierten Technik (Abb. 11) wird der Erzielung eines rechteckigen Flexionsspalts höchste Priorität zugemessen. Die Operationstechnik bedient sich eines Spanninstrumentes (Abb. 12), das den Flexionsspalt medial und lateral gleichmäßig distrahiert, bevor die dorsalen Kondylen reseziert werden. Die Rotation der femoralen Komponente wird dann parallel zum vorher senkrecht zur mechanischen Achse resezierten Tibiaplateau eingestellt. Voraussetzung ist jedoch, dass bei einseitig kontraktiven Kniegelenken der

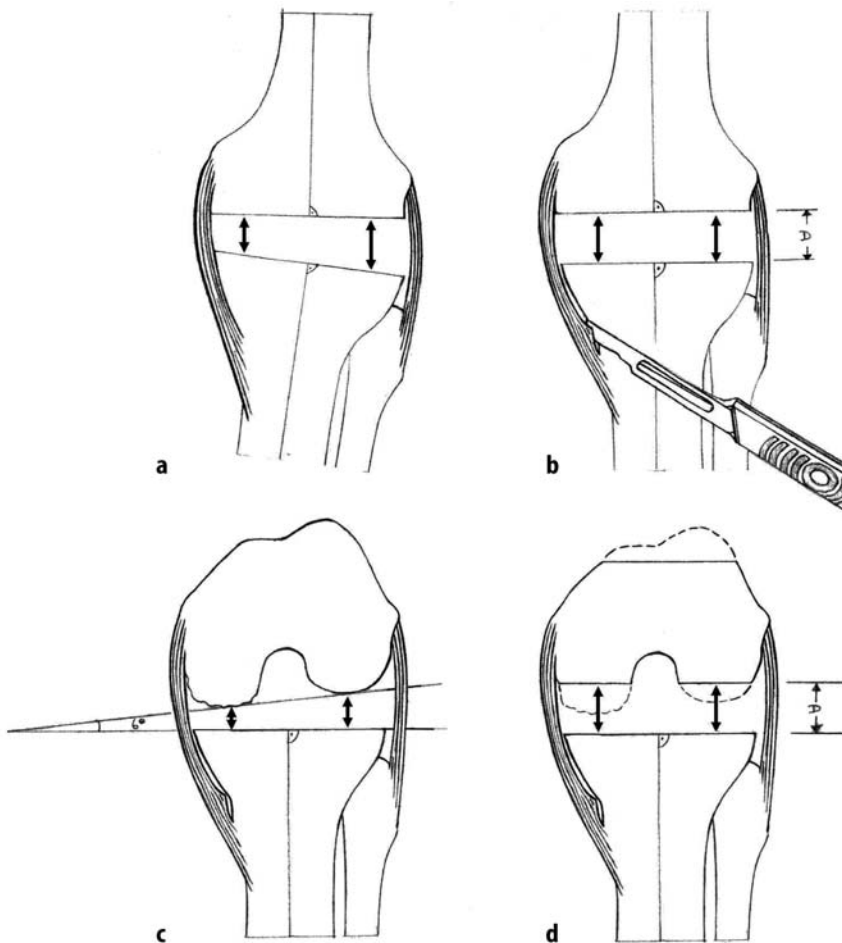


Abb. 11a–d ▲ **Operative Technik zur weichteilgesteuerten Rotationspositionierung des Femurs.** Mit dieser Methode wird ein symmetrisch rechteckiger Flexionsspalt erzielt. Dazu sind 4 Operationschritte in strenger Reihenfolge einzuhalten: a) Resektion des Tibiaplateaus und des distalen Femurs senkrecht zur mechanischen Achse (präoperative Bestimmung des Valguswinkel gegenüber der anatomischen Femurachse anhand der Ganzkörperaufnahme) und Einbringen eines Spanninstrumentes in den Extensionsspalt zur Beurteilung einer ligamentären Kontraktur. b) Weichteilrelease auf der kontraktiven Seite (in der Skizze medial eingezeichnet) bis sich die Resektionsflächen unter gleichmäßiger Distraction medial und lateral parallel einstellen. c) Distraction des Knies in 90° Flexion bevor die dorsalen Kondylen reseziert werden zur Beurteilung einer Flexionsspaltasymmetrie (in der Skizze lateraler Flexionsspalt weiter als medialer). d) Rotationsausrichtung der ventralen und dorsalen Kondylenresektion parallel zur Tibiaresektionsfläche unter gleichmäßiger Distraction des medialen und lateralen Flexionsspalts mit einem Spannerinstrument



Abb. 12a–c ▲ **Verschiedene Spanninstrumente zur Distraction des Extensions- und Flexionsspalt.** a Freeman-Spanner (Centerpulse, Winterthur, Schweiz), b Kinemax-Spanner (Howmedica, Rutherford, USA), c BalanSys-Spanner (Mathys, Bettlach, Schweiz)

Weichteilrelease so exakt durchgeführt wurde, dass die Aufspannung des Extensionsspalt eine mechanische Achse ergibt, die in einer Geraden vom Hüftkopffzentrum über die Kniemitte zum Zentrum des oberen Sprunggelenks verläuft. Die Tibiaplateuresektionsfläche stellt sich dann bei medial und lateral gleichmäßiger Distraction des Extensionsspalt mittels Spanninstrument parallel zur distalen Femurresektionsfläche ein, die vorher gemäß präoperativer Planung senkrecht zur mechanischen Achse reseziert wurde.

Winemaker [34] hat in einer Studie mit 83 Kniegelenken intraoperativ gemessen, dass zur Einstellung eines symmetrischen Flexionsspalt eine Außenrotation der femoralen Komponente von durchschnittlich  $5^\circ$  gegenüber der dorsalen Kondylenebene erforderlich ist. Bei den 60 Kniegelenken mit präoperativem Varus musste eine Außenrotation von durchschnittlich  $4^\circ$ , bei den 23 mit präoperativem Valgus eine von durchschnittlich  $6^\circ$  erfolgen; 19 Kniegelenke erforderten eine Außenrotation gegenüber den dorsalen Kondylen von  $>6^\circ$ . Diese hatten eine wesentlich größere präoperative Deformität als die anderen 64 Kniegelenke mit einer Außenrotation von  $\leq 6^\circ$ . Eine perfekte Balance in Extension mit maximal  $1^\circ$  Asymmetrie nach dem Weichteilrelease war Voraussetzung, bevor die Rotationsposition der dorsalen Kondylenresektion determiniert wurde.

### Tibia

Die ossären Landmarken, die für die Rotationspositionierung der Tibiakomponente populär gemacht wurden (zwischen medialem und mittlerem Drittel

der Tuberositas tibiae, Tibiaplateauäquator, hintere Plateaubegrenzung, 2. Zehe) basieren nicht auf wissenschaftlich ermittelten Daten, sondern entstammen der täglichen Praxis. Davon findet wohl die Tuberositasausrichtung die weiteste Verbreitung, da sie wohl das geringste Fehlerpotential aufweist.

Je lateraler die Tuberositas im individuellen Fall vorliegt, desto positiver ist der Effekt der Ausrichtung nach der Tuberositasmethode, da eine zunehmende Außenrotationspositionierung der Tibiakomponente eine relative Innenrotation der Tuberositas bedeutet, was die Gefahr der Patellaluxation vermindert.

Die Methode der spontanen Ausrichtung der Tibiakomponente bei Proberposition in Extension (entsprechend der Rotation der Femurkomponente) kann zur Innenrotationsfehlstellung führen, falls die Femurkomponente bereits nach innen malrotiert ist. Falls die Femurkomponente korrekt außenrotiert ist, dürfte auch diese Methode anwendbar sein. Sie entspricht dem Konzept des mobilen Gleitlagers, das sich entsprechend der femoralen Komponente in allen Flexionsstellungen mitdreht. Daher ist es besonders bei Knieendoprothesen mit mobilen Gleitlagern wichtig, dass keine Innenrotationsfehlstellung der femoralen Komponente vorliegt.

Je steiler die Dorsalneigung der Tibiaresektionsfläche gewählt wird, desto wichtiger ist es, die Rotationsposition der Tibiakomponente vor dem Schnitt zu bestimmen. Eine Fehlrichtung der Resektion kann in belasteter Flexion beim femoralen „Rollback“ für eine einseitige Laxität verantwortlich sein.

### Fazit für die Praxis

Eine Innenrotationsfehlstellung der femoralen und tibialen Komponente muss in jedem Fall vermieden werden. Die Malrotation der Femurkomponente wirkt sich mehr auf die Kinematik des Flexionsspalt, die Malrotation der Tibiakomponente mehr auf die des Femoropatellargelenks aus. Falls sich der Operateur für ein Konzept entscheidet, das sich an der Flexionsachse des natürlichen Kniegelenks orientiert, wird er die femorale Komponente parallel zur Transepikondylarachse implantieren und dabei gelegentlich einen asymmetrischen Flexionsspalt akzeptieren müssen. Für Knieendoprothesenmodelle mit mobilen Gleitlagern oder für neuere Systeme mit medialem Kugelgelenk und lateraler vermehrter Beweglichkeit (medial pivot knee) ist eine leichte laterale Laxität mit zunehmender Flexion gar wünschenswert. Die Toleranz ist bei solchen Kniegelenken allerdings gering, um nicht eine laterale Subluxation des PE zu provozieren. Der Einsatz eines Spanninstrumentes zur Beurteilung der Bandverhältnisse medial und lateral erlaubt eine genaue Einstellung des Extensions- und Flexionsspalt. Die femorale Rotation kann dann entweder streng parallel zur Tibiaresektionsfläche eingestellt werden, oder, falls dies eine zu starke Abweichung von der Flexionsachse des Kniegelenks ergibt, ein Kompromiss zwischen Transepikondylarachse und Tibiaresektionsfläche gewählt werden.

## Literatur

- Akagi M, Matsusue Y, Mata T, Asada Y, Horiguchi M, Iida H, Nakamura T (1999) Effect of rotational alignment on patellar tracking in total knee arthroplasty. *Clin Orthop* 366: 155–163
- 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* 287: 170–177
- Arima J, Whiteside LA, McCarthy DS, White SE (1995) Femoral rotational alignment, based on the anteroposterior axis, in total knee arthroplasty in a valgus knee. A technical note. *J Bone Joint Surg Am* 77: 1331–1334
- Barrack RL, Schrader T, Bertot AJ, Wolfe MW, Myers L (2001) Component rotation and anterior knee pain after total knee arthroplasty. *Clin Orthop* 392: 46–55
- Berger RA, Rubash HE, Seel MJ, Thompson WH, Crossett LS (1993) Determining the rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty using the epicondylar axis. *Clin Orthop* 286: 40–47
- Berger RA, Crossett LS, Jacobs JJ, Rubash HE (1998) Malrotation causing patellofemoral complications after total knee arthroplasty. *Clin Orthop* 356: 144–153
- Boldt J, Romero J, Drobny T, Hodler J, Zanetti M, Munzinger U (2003) Arthrofibrosis in total knee arthroplasty. The influence of femoral component rotational alignment. *J Bone Joint Surg Am* (accepted)
- Churchill DL, Incavo SJ, Johnson CC, Beynonn BD (1998) The transepicondylar axis approximates the optimal flexion axis of the knee. *Clin Orthop* 356: 111–118
- Dennis DA, Komistek RD, Walker SA, Cheal EJ, Stiehl JB (2001) Femoral condylar lift-off in vivo in total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Br* 83: 33–39
- Freeman MA, Swanson SA, Todd RC (1973) Total replacement of the knee using the Freeman-Swanson knee prosthesis. *Clin Orthop* 94: 153–170
- Freeman MA, Swanson SA, Todd RC (1973) Total replacement of the knee design considerations and early clinical results. *Acta Orthop Belg* 39: 181–202
- Freeman MA, Todd RC, Bamert P, Day WH (1978) ICLH arthroplasty of the knee: 1968–1977. *J Bone Joint Surg Br* 60: 339–344
- Goutallier D, Bernageau J, Lecudonnet B (1978) The measurement of the tibial tuberosity. Patella groove distanced technique and results. *Rev Chir Orthop Rep* 64: 423–428
- Hollister AM, Jatana A, Singh AK, Sullivan WW, Lupichuk AG (1993) The axes of rotation of the knee. *Clin Orthop* 290: 259–268
- Hsu RWW, Himeno S, Coventry MB, Chao EYS (1990) Normal axial alignment of the lower extremity and load-bearing distribution at the knee. *Clin Orthop* 255: 215–227
- Insall J, Ranawat CS, Scott WN, Walker P (1976) Total condylar knee replacement: preliminary report. *Clin Orthop* 120: 149–154
- Insall J, Scott WN, Ranawat CS (1979) The total condylar knee prosthesis. A report of two hundred and twenty cases. *J Bone Joint Surg Am* 61: 173–180
- Insall JN, Scuderi GR, Komistek RD, Math K, Dennis DA, Anderson DT (2002) Correlation between condylar lift-off and femoral component alignment. *Clin Orthop* 403: 143–152
- Jerosch J, Peuker 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 Arthroscopy* 10: 194–197
- Kaper BP, Woolfrey M, Bourne RB (2000) The effect of built-in external femoral rotation on patellofemoral tracking in the genesis II total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 15: 964–969
- Krackow KA, Mihalko WM (1999) The effect of medial release on flexion and extension gaps in cadaveric knees. *Am J Knee Surg* 12: 223–228
- Krackow KA, Mihalko WM (1999) Flexion-extension joint gap changes after lateral structure release for valgus deformity correction in total knee arthroplasty: a cadaveric study. *J Arthroplasty* 14: 994–1004
- Laskin RS (1995) Flexion space configuration in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 10: 657–660
- Matsuda S, Miura H, Nagamine R, Urabe K, Harimaya K, Matsunobu T, Iwamoto Y (1999) Changes in knee alignment after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 14: 566–570
- Moreland JR, Bassett LW, Hunker GJ (1987) Radiographic analysis of the axial alignment of the lower extremity. *J Bone Joint Surg Am* 69: 745–749
- Olcott CW, Scott RD (1999) Femoral component rotation during total knee arthroplasty. *Clin Orthop* 367: 39–42
- Pagnano MW, Hanssen AD, Lewallen DG, Stuart MJ (1998) Flexion instability after primary posterior cruciate retaining total knee arthroplasty. *Clin Orthop* 356: 39–46
- Ries MD, Salehi A, Laskin RS, Bourne RB, Rand JA, Gustilo RB (1998) Can rotational alignment be achieved in both flexion and extension when the femoral component is externally rotated in total knee arthroplasty? *Knee* 5: 37–41
- Romero J, Duronio JF, Alexander N, Sohrabi A, Hungerford DS (1995) Knee kinematics in TKA: The impact of classical versus anatomic alignment and femoral component malrotation. *Trans Orthop Res Soc* 41
- Romero J, Duronio JF, Sohrabi A, Alexander N, MacWilliams BA, Jones LC, Hungerford DS (2002) Varus and valgus flexion laxity of total knee alignment methods in loaded cadaveric knees. *Clin Orthop* 394: 243–253
- Stähelin T, Kessler O, Pfirrmann CWA, Jacob HAC, Romero J (2003) Fluoroscopically assisted stress radiography for valgus/varus stability assessment in flexion after TKA. *J Arthroplasty*, in press
- Wasielowski RC, Galante JO, Leighty RM, Natarajan RN, Rosenberg AG (1994) Wear patterns on retrieved polyethylene tibial inserts and their relationship to technical considerations during total knee arthroplasty. *Clin Orthop* 299: 31–43
- Whiteside LA, Arima J (1995) The anteroposterior axis for femoral rotational alignment in valgus total knee arthroplasty. *Clin Orthop* 321: 168–172
- Winemaker MJ (2002) Perfect balance in total knee arthroplasty. The elusive compromise. *J Arthroplasty* 17: 2–10
- Yoshino N, Takai S, Ohtsuki Y, Hirasawa Y (2001) Computed tomography measurement of the surgical and clinical transepicondylar axis of the distal femur in osteoarthritic knees. *J Arthroplasty* 16: 493–497