

Michael Manzke¹, Jörg Jerosch¹

Physiologische Gelenklinienrekonstruktion und radiologisch/anatomische Landmarken in der Revisions-Knieendoprothetik

Physiological joint line reconstruction and radiological/anatomical landmarks in the revision of total knee replacement

Zusammenfassung: Die stetig steigende Anzahl von implantierten Knie-Totalendoprothesen führt zu einer fortlaufend steigenden Zahl von Revisionseingriffen. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass eine adäquate Rekonstruktion der physiologischen Gelenklinie in der Revisions-Knieendoprothetik zu besseren klinischen Ergebnissen führt. Allerdings ist die Bestimmung der Lage der Gelenklinie immer noch eine Herausforderung. Mehrere Verfahren wurden vorgestellt, um die physiologische Gelenklinie zu bestimmen, die sich meist an anatomischen Landmarken orientieren, wie z.B. dem Fibulaköpfchen, der Tuberositas tibiae, dem Tuberculum adductorium, den Femur-Epikondylen oder der distalen Femur-Weite. Die aktuellere Literatur zeigt, dass aufgrund der großen individuellen Schwankungen die Verwendung von relativen Werten in Beziehung zu der transepikondyläre-Achsen-Weite (TEAW) zuverlässiger zu sein scheint, die Lage der Gelenklinie zu berechnen, als absolute Messwerte. Die am häufigsten genannten relativen Verhältnisse sind die Adduktor- und Epikondylen-Ratio.

Schlüsselwörter: Revisions-Knieendoprothetik, Gelenklinie, radiologische Landmarken

Zitierweise

Manzke M, Jerosch J: Physiologische Gelenklinienrekonstruktion und radiologisch/anatomische Landmarken in der Revisions-Knieendoprothetik. OUP 2017; 1: 049–054 DOI 10.3238/oup.2016.0049–0054

Einleitung

Eine stetig steigende Zahl der weltweit implantierten Knieendoprothesen führt zu einer konsekutiven Steigerung der durchgeführten Revisionseingriffe [1].

Dy et al. [2] berichten eine Revisionsrate von primären totalen Knieendoprothesen nach 5 Jahren von 4 % und nach 9 Jahren von 8,9 %. Berücksichtigt man zusätzlich die zunehmenden sozioökonomischen Belastungen für die Gesell-

Summary: The steadily increasing number of total knee replacements leads to a consecutive rising number of re-interventions. Various studies have shown that a proper restoration of the physiological joint line in revision total knee arthroplasty leads to improved clinical outcome. However, the assessment of the joint line is still challenging. Several methods have been introduced to determine physiological joint line that refer to anatomic landmarks e.g. fibular head, tuberositas tibiae, adductor tubercle, transepicondylar axis or distal femur width. Recent literature has suggested that because of the large individual variations the use of relative values in relationship to the transepicondylar-axis-width seems to be more reliable to calculate the level of joint line than absolute values. The most commonly mentioned relative ratios are the adductor- and epicondylar-ratio.

Keywords: revision total knee replacement, joint line, radiological landmarks

Citation

Manzke M, Jerosch J: Physiological joint line reconstruction and radiological/anatomical landmarks in the revision of total knee replacement. OUP 2017; 1: 049–054 DOI 10.3238/oup.2016.0049–0054

schaft [3, 4], so ist es von großem Interesse für Patient und Gesellschaft, den Prozess der Revisions-Knieendoprothetik möglichst zu optimieren.

Einer adäquaten Rekonstruktion der Gelenklinie kommt in diesem Kontext ei-

¹ Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie und Sportmedizin, Johanna-Etienne-Krankenhaus, Neuss

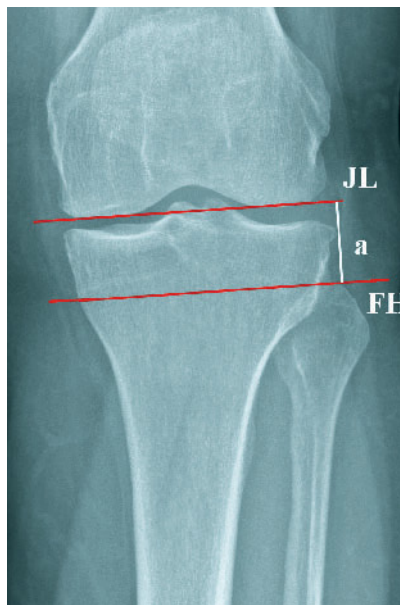


Abbildung 1 Standard a.p.-Aufnahme. Abstand (a) zwischen der Gelenklinie (JL) und einer Parallelen durch die Spitze des Fibulaköpfchens (FH).

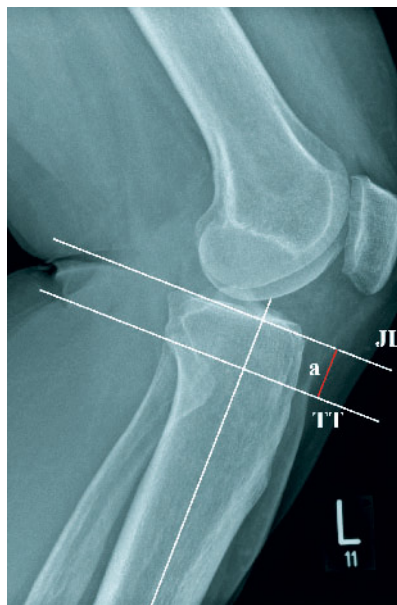


Abbildung 2 Laterale Aufnahme nach Figgie. Abstand (a) zwischen der Gelenklinie (JL) und einer Parallelen durch die Tuberositas tibiae (TT).

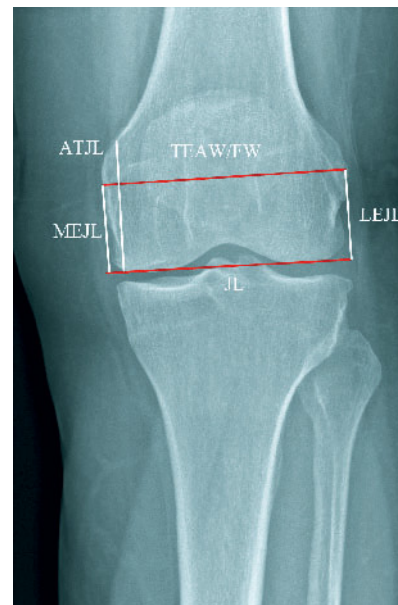


Abbildung 3 Standard a.p.-Aufnahme. JL = Gelenklinie; Transepikondylen-Achsenweite (TEAW) bzw. femorale Weite (FW) = Distanz zwischen der medialen und lateralen Epikondyle; ATJL = Abstand von Tuberculum adductorium zur Gelenklinie; MEJL bzw. LEJL = Abstand der jeweiligen Epikondyle zur Gelenklinie.

ne bedeutsame Rolle zu. Die Literatur zeigt je nach Studie, dass eine Erhöhung der Gelenklinie von mehr als 4–8 mm mit schlechteren klinischen Ergebnissen einhergeht [5–9]. Porteus et al. [10] beschreiben eine Gelenklinienerhöhung von über 5 mm in 36 % und Romero et al. [11] berichten in 60 % ihrer 22 Revisionsprothesen über eine durchschnittliche Erhöhung von 6,1 mm \pm 3,7. Die Erhöhung der Gelenklinie mit einhergehender Patella baja führt zu einem erhöhten Anpressdruck im Tibio- und Patellofemoralgelenk, Impingement der Patella gegen Polyethylen oder gegen die tibiale Komponente [12] und kann ab ca. 5 mm zu einer Mid-flexion-Instabilität führen [13]. Erhöhter Knochenverlust aufgrund mehrfacher Revisionseingriffe, mechanischer Lockerungen, Polyethylenabrieb, chronischer Infektionen oder Mehr-Stufen-Revisionen mit Antibiotikaspacern erschweren den Prozess der adäquaten Wiederherstellung der Gelenklinie [14]. Porteus et al. unterteilten ihr Patientengut und zeigten, dass bei Verwendung distaler Femuraugmente in 30 % der Fälle die Gelenklinie erhöht wurde. War jedoch kein Augment verwendet worden, betrug die Rate der Gelenklinienerhöhung

62,5 %. Dies zeigt die Bedeutung distaler Femuraugmente zur Rekonstruktion von Knochendefekten und Gelenklinie [15].

In der Primärendoprothetik ist die Orientierung meist unkomplizierter, da dort eine Reihe von knöchernen und ligamentären Strukturen noch erhalten ist. In der Revisionsendoprothetik ist dies jedoch deutlich schwieriger, da meist anatomische Landmarken fehlen.

Der Operateur kann im Fall einer Knieprothesenrevision prinzipiell nach 2 Methoden vorgehen. Zum einen kann er sich an der Gelenklinie der bereits einliegenden Prothese orientieren, vorausgesetzt diese ist adäquat rekonstruiert und nicht der eigentliche Grund der Beschwerden. Zum anderen gibt es die Möglichkeit, sich an einer Reihe anatomischer Strukturen zu orientieren, welche im weiteren Verlauf erläutert werden sollen.

Fibulaköpfchen

Clave et al. [5] definierten die Höhe der Gelenklinie als Distanz zwischen der Tangente zur distalen Kante der Femurkondylen (bzw. des Implantats) und einer Parallele durch die Spitze des Fibu-

laköpfchens im a.p.-Röntgenbild (Abb. 1). Die durchschnittliche Distanz betrug auf der gesunden Seite ca. 15,2 mm und auf der Revisionsseite 17,4 mm, also 2,2 mm Erhöhung der Gelenklinie. Patienten mit einer Gelenklinienerhöhung von 4 mm oder mehr zeigten einen signifikant niedrigeren KSS-Score. Servien et al. [16] maßen in einer MRT-Studie von ca. 200 gesunden Knien in einer sagittalen Ebene die Distanz zwischen einer parallelen Linie durch die der Spitze des Fibulaköpfchens und einer Tangente des Tibiaplateaus. Dieser Abstand betrug im Schnitt 14,1 mm, jedoch mit einer Spannweite von 4,5–22,1 mm. Aufgrund dieser Spannweite halten die Autoren das Fibulaköpfchen für eine nicht verlässliche Landmarke zur Rekonstruktion der Gelenklinie. Eine Röntgenaufnahme der Gegenseite kann jedoch einen Hinweis auf die individuelle Höhe der Gelenklinie geben.

Tuberositas tibiae

Bei dieser Landmarke wird in sagittaler Ebene die Distanz des tibialen Ansatzes

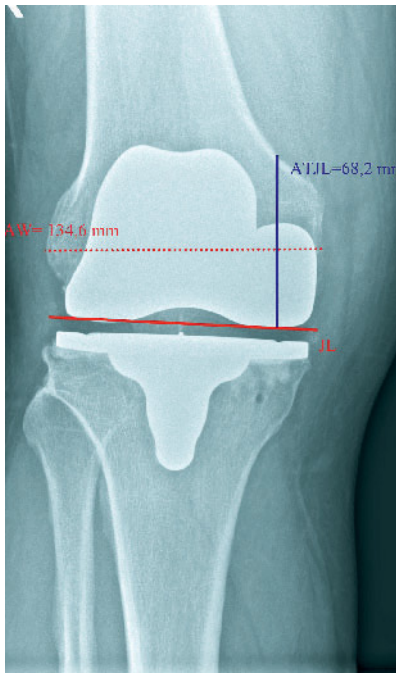


Abbildung 4a Präoperativ bikondylärer Oberflächenersatz mit klinischer Seitenbandinstabilität (ATJL = 68,2 mm, TEAW = 134,6 mm).

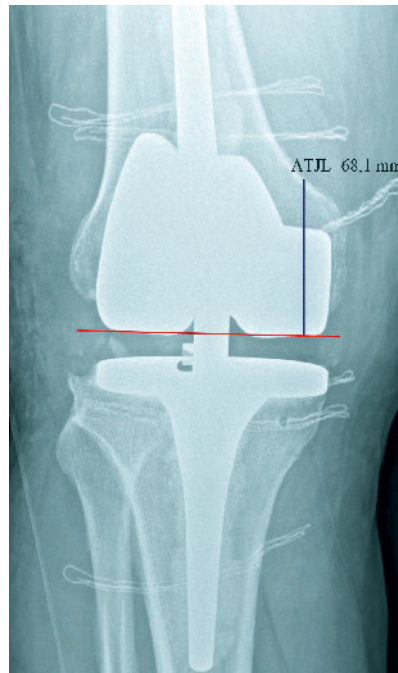


Abbildung 4b Revision auf achsgeführten Knie-TEP. Die ATJL-Distanz wurde in diesem Fall mit postoperativ 68,1 mm (vs. präoperativ 68,2 mm) adäquat rekonstruiert.



Abbildung 5 Laterale Aufnahme. A = distale Femurweite auf Höhe des Übergangs der Tangente am posterioren Cortex mit der posterioren Kondyle; b = Abstand des genannten Übergangs zur Gelenklinie.

der Patellasehne zur Gelenklinie (Tangente am Tibiaplateau) bestimmt. Servien et al. [16] konnten im MRT eine Distanz von 21,9 mm messen, jedoch mit einer großen Spannweite von 10,6–32,1 mm. Figgie et al. [8] maßen bereits Mitte der 80er Jahre in 116 **Posterior-stabilized**-Knieprothesen im lateralen Röntgenbild die Distanz von der Tuberositas tibiae zur Gelenklinie (Tangente am Tibiaplateau, Abb. 2). Es zeigte sich eine durchschnittliche prä- zu postoperative Proximalisierung der Gelenklinie von 8,9 mm \pm 4,6. Patienten mit einer Proximalisierung der Gelenklinie von weniger als 8 mm zeigten bessere klinische Ergebnisse. Andere Autoren konnten mit derselben Messmethode ebenfalls schlechtere klinische Ergebnisse bei einer Anhebung der Gelenklinie von 5 bzw. 8 mm beobachten [6, 10]. Claßen et al. [17] kritisierten, dass bei der Figgie-Methode das Tibiaplateau als Landmarke verwendet wurde und nutzten stattdessen eine Senkrechte zur Tibiaschaftachse, die als Tangente an die distalen Femurkondylen angelegt wurde. Damit ist die Messung nicht mehr vom individuellen Slope abhängig, welcher in der

Figgie-Methode zu Messfehlern führen kann. Weiterhin ist es nicht mehr nötig, die Höhe des Polyethyleninlays zu kennen, welche in der herkömmlichen Messweise mit einberechnet werden musste.

Femurepikondylen

Mountney et al. [18] untersuchten in einer radiologischen Studie von 50 Knie-CT-Untersuchungen und einer Computer-Studie mit anatomischen Daten aus ca. 100 Computer-assistierten Knieendoprothesen das Verhältnis der Transepikondylen-Achsen-Weite (TEAW, Abb. 3) und der Höhe der Gelenklinie. Die TEAW wurde zunächst in einer axialen CT-Ebene zwischen medialer und lateraler Epikondyle vermessen und dann in der passenden frontalen Ebene identifiziert. Von dieser Achse (TEA) wurden 2 Senkrechte auf die mediale und laterale distale Oberfläche der Femurkondylen gezogen. Es zeigte sich eine signifikante Korrelation zwischen der TEAW und dem Abstand der TEA zur medialen und lateralen Oberfläche der Femurkondylen. Die Auto-

ren kommen zu dem Schluss, dass sich die Höhe der Gelenklinie entlang der distalen Femurkondylen folgendermaßen ergibt: TEAW dividiert durch 3,4 = Höhe der Gelenklinie distal der transepikondylen-Achse (TEA).

Bieger et al. [19] untersuchten 69 Patienten nach Revisions-Knieendoprothese hinsichtlich ihres Outcomes im KSS und setzten diese in Beziehung zur Lage der Gelenklinie. Es wurden vergleichend die Methode nach Figgie [8] und das Epikondylen-Ratio verwendet. Das Epikondylen-Ratio errechnet sich aus der Distanz von medialer bzw. lateraler Epikondyle zur Gelenklinie, geteilt durch die TEAW (MEJL bzw. LEJL/TEAW, Abb. 3). Die Gelenklinie wurde in der Figgie-Methode als rekonstruiert angesehen, wenn diese maximal \pm 5 mm zu präoperativ abwich oder in einer Reichweite von 10,6–32,1 mm nach Servien [16] lag. Ob die Gelenklinie nach der Epikondylen-Ratio rekonstruiert war, wurde ebenfalls nach den Normwerten von Servien et al. bewertet. Nach der Figgie-Methode konnte in 24 bzw. 26 Fällen die Gelenklinie adäquat rekonstruiert werden, nach der Epikondylen-Ratio-

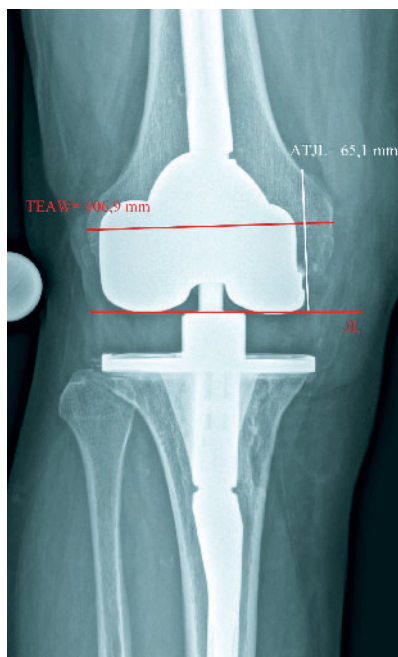


Abbildung 6a 68 Jahre alter männlicher Patient mit persistierender Instabilität bei achsgeführter KTEP (ATJL = 65,1 mm, TEAW = 106,9 mm).

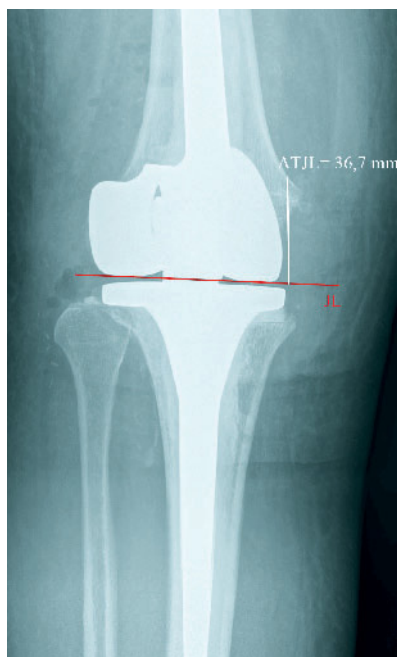


Abbildung 6b Revision auf erneut achsgeführte Knie-TEP, jedoch mit Proximalisierung der Gelenklinie um ca. 3 cm (ATJL = 36,7 mm). Klinisch bestand Hemmung der Kniestreckung.

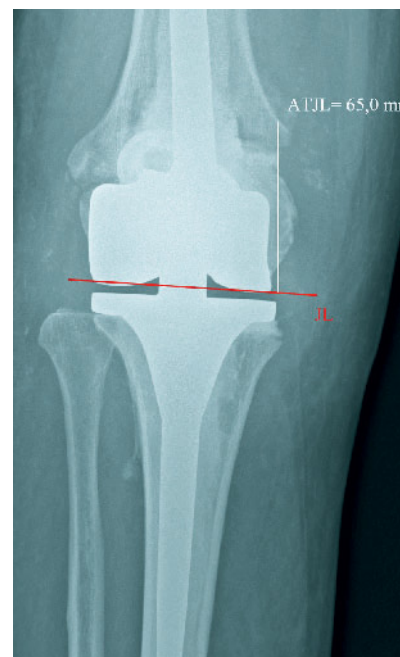


Abbildung 6c Es erfolgte eine Revision der femoralen Komponente mit Distalisierung der femoralen Gelenklinie um 3 cm, hierzu erfolgte eine femorale Zement-in-Zement-Zementierung und Knochenaufbau mit allogenen Bankknochen (ATJL = 65 mm).

Methode in 46 Fällen. Der postoperative KSS-Score war bei Patienten mit positiv rekonstruierter Gelenklinie nach der Epikondylen-Ratio-Messmethode signifikant den Patienten ohne positive Rekonstruktion überlegen. Bei der Figgie-Methode konnte bei rekonstruierter Gelenklinie, ungeachtet welche der beiden Standardwerte verwendet wurden, keine klinische Überlegenheit nachgewiesen werden. Die Autoren empfehlen die Epikondylen-Ratio zur Rekonstruktion der individuellen Gelenklinie in der Revisions-Knieendoprothetik.

Romero et al. [11] konnten bei 45 Patienten im Knie a.p.-Röntgenbild ohne Kniepathologie außer Meniskus-schäden ebenfalls eine signifikante Korrelation zwischen der TEAW und der Distanz von medialer bzw. lateraler Epikondyle zur Gelenklinie (Tangente der distalen Femurkondylen) finden. Es ergab sich ein Koeffizient von 0,4 medial und 0,3 lateral, welcher mit der TEAW multipliziert wird um die mediale bzw. laterale Gelenklinienhöhe distal der TEA zu berechnen.

Die aufgeführten Studien stimmen mit MRT-Untersuchungen von Griffin

et al. überein, welcher ein nicht-geschlechtsspezifisches Ratio zwischen TEAW und senkrechter Distanz der Epikondylen zur Gelenklinie von 0,36 medial und 0,31 lateral errechnete [20].

Bei Durchsicht der letzten genannten Studien lässt sich eine ‚Eindrittelregelung‘ beobachten, da ein Drittel der TEAW die Lage der Gelenklinie distal der transepikondylären Achse (TEA) ergibt.

In einer Kadaverstudie mit 4 erfahrenen Chirurgen konnten Stoeckl et al. [21] jedoch zeigen, dass womöglich in einem Operationssetting das Identifizieren der Epikondylen durch den Chirurgen schwierig sein kann. So sei im Bereich der lateralen Epikondyle der klinisch meist prominente Punkt mehr proximal und ventral als der vorher im CT bestimmte Punkt.

Jerosch et al. [22] konnten ebenfalls in einer Kadaverstudie zeigen, dass die Lokalisation der Epikondylen mit einer Nadel an Spenderleichen zwischen erfahrenen Operateuren variiert. So variierten im Mittel an der lateralen Epikondyle die Werte um 6,44 mm und an der medialen Epikondyle sogar um 9,7 mm.

Tuberculum adductorium

Da absolute Messwerte der interindividuell ausgeprägten Unterschiede der Anatomie oft nicht gerecht werden [16, 20, 23], empfehlen einige Autoren, das Verhältnis verschiedener anatomischer Strukturen (Fibulaköpfchen, Tuberculum adductorium oder med/lat. Epikondyle) zur femoralen Weite (FW = TEAW, Abb. 3) zu studieren. Eine erst seit wenigen Jahren in der Literatur diskutierte Landmarke ist das Tuberculum adductorium. Iacono et al. [24] konnten in a.p.-Röntgenbildern von 110 Patienten (m/w 55/55, range 27–38y) mit Kreuzband oder Meniskusläsionen eine lineare, nicht geschlechtsspezifische Korrelation ($r = 0,83$) zwischen der femoralen Weite (FW, $89,8 \pm 8,4$ mm) und der Distanz vom Tuberculum adductorium zur Gelenklinie (ATJL, $48,7 \pm 4,8$ mm) finden. Gleiche Messungen mit der medialen Epikondyle ($r = 0,52$) und dem Fibulaköpfchen ($r = 0,21$) zeigten sich weniger verlässlich. Aus dieser Korrelation schließen die Autoren, dass sich die Höhe der Gelenklinie distal des Tuberculum adductorium berechnen lässt, indem die femorale Weite

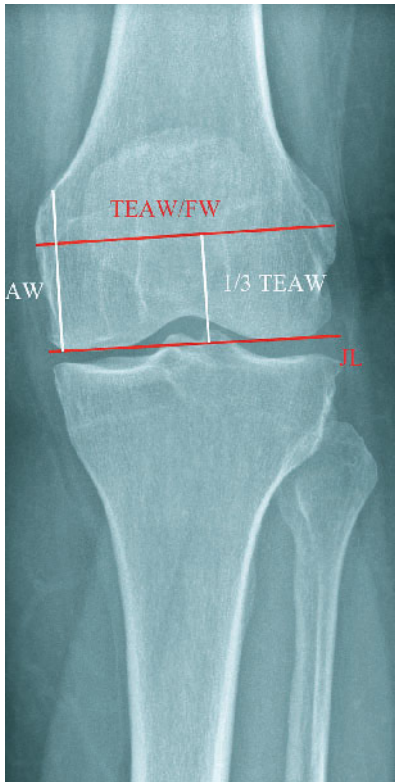


Abbildung 7 Standard a.p.-Aufnahme. 50 % TEAW = Adductor-Ratio; 1/3 TEAW = Epikondylen-Ratio. JL = Gelenklinie; Transepikondylen-Achsen-Weite (TEAW) bzw. femorale Weite (FW) = Distanz zwischen der medialen und lateralen Epikondyle.

mit 0,53 multipliziert wird. Sollten die Epikondylen nicht erkennbar sein, wird ein Röntgenbild der Gegenseite empfohlen.

In einer Folgearbeit untersuchten Iacono et al. [25] in 21 Revisionseingriffen von Knieendoprothesen das ATJL/FW-Verhältnis und konnten zeigen, dass die berechnete Gelenklinie der intra-operativ nach Prothesenimplantation gemessenen ATJL glich.

Luyckx et al. [26] untersuchten in 100 Ganzbeinaufnahmen von gesunden Probanden ebenfalls das ATJL/FW-Verhältnis. Die ATJL-Distanz betrug $44,6 \text{ mm} \pm 4,3$ und die femorale Weite $85,4 \text{ mm} \pm 7,1$. Es zeigte sich eine starke lineare Korrelation zwischen ATJL und der FW ($r = 0,82$) und einer errechneten Ratio von 0,52.

Gürbüz et al. [27] untersuchten 117 a.p.-Röntgenbilder von 108 Patienten (m/w: 63/45, Durchschnittsalter 31y). Die ATJL-Distanz betrug im Durchschnitt $47,9 \text{ mm}$ und die FW $87,2 \text{ mm}$.

Auch hier konnte analog zu den o.g. Arbeiten eine alters- und geschlechts-unabhängige Korrelation zwischen dem Verhältnis von femoraler Weite und dem Abstand von Tuberculum adductorium zur Gelenklinie ermittelt werden mit einer Ratio von 0,52.

Aus diesen genannten Studien lässt sich eine Analogie ableiten, die sich mit einer 50 %-Regel beschreiben lässt, da 50 % der TEAW die Lage der Gelenklinie distal des Tuberculum adductorium ergibt.

Abbildung 4a zeigt einen bikondylären Oberflächenersatz, der aufgrund von Seitenbandinstabilität in eine achsgeführte Knie-TEP gewechselt wurde (Abb. 4b). Die Lage der Gelenklinie, beschrieben durch die ATJL-Distanz, wurde in diesem Fall mit $68,1 \text{ mm}$ vs. präoperativ $68,2 \text{ mm}$ adäquat rekonstruiert.

Weite der Femurdiaphyse

Clement et al. [28] konnten im lateralen Knie-Röntgenbild eine signifikante Korrelation zwischen der distalen Femurschaftweite und der Lage der Gelenklinie beobachten. In 105 lateralen Knie-Röntgenbildern (Abb. 5) wurde die Gelenklinie vom Punkt, an welchem die posteriore femorale Kondyle in eine Tangente des posterioren Kortex der Femurdiaphyse übergeht, zum distalen Femur gemessen (b). Diese Strecke wurde im Verhältnis zur Weite der Femurdiaphyse (a) gesetzt (auf Höhe des o.g. Übergangs der posterioren Kondyle und Tangente des posterioren Femurkortex). Die Gelenklinie betrug im Schnitt $63,5 \text{ mm}$ ($53\text{--}71 \text{ mm}$) und die Femurweite $33,4 \text{ mm}$ ($28\text{--}38 \text{ mm}$), woraus sich eine Ratio von 1,90 ergab. Mithilfe dieser Ratio lässt sich laut Autoren mit einer Genauigkeit von ca. 4 mm die Gelenklinie in schwierigen Revisionsfällen berechnen.

Fallbeispiel

68-jähriger männlicher Patient mit anhaltender Instabilität bei gestielter Knie-TEP rechts (Abb. 6a, ATJL = $65,1 \text{ mm}$, TEAW = $106,9 \text{ mm}$). Revision auf erneut achsgeführte Knie-TEP, jedoch mit Proximalisierung der Gelenklinie um ca. 3 cm (Abb. 6b, ATJL = $36,7 \text{ mm}$). Kli-

nische bestand nun eine Hemmung der Kniestreckung. Es erfolgte eine Revision der femoralen Komponente mit Distalisierung der femoralen Gelenklinie um 3 cm, hierzu erfolgte eine femorale Zement-in-Zement-Zementierung und Knochenaufbau mit allogenen Bankknochen (Abb. 6c, ATJL = 65 mm).

Schlussfolgerung

Die Rekonstruktion der Gelenklinie ist ein wichtiger von mehreren Faktoren, welcher das Outcome nach Revision einer Knieendoprothese beeinflusst. Schlechtere Ergebnisse bei nicht adäquater Rekonstruktion sind vielfach in der Literatur beschrieben. Eine adäquate Orientierung an anatomischen Strukturen stellt einen elementaren Schritt zur Rekonstruktion dar. Bei Durchsicht der Literatur zeigt sich, dass die Verwendung verschiedener Ratio absoluten Messwerten überlegen ist. Hier sind vor allem 2 Ratio in jüngerer Vergangenheit häufig beschrieben worden (Abb. 7), von welchen sich 2 Regeln ableiten lassen:

1. Für die Adductor-Ratio gilt die 50 %-Regel, da 50 % der TEAW die Lage der Gelenklinie distal des Tuberculum adductorium ergibt.
2. Für das Epikondylen-Ratio gilt die „Eindrittelregelung“, da ein Drittel der TEAW die Lage der Gelenklinie distal der transepikondylären Achse (TEA) ergibt.

Sollten im jeweiligen Fall nun weder die Epikondylen noch das Tuberculum adductorium zu identifizieren sein, so sollte eine Ganzbeinaufnahme der Gegenseite erfolgen. Alternativ kann im Einzelfall auch je nach Anatomie des Patienten einer der anderen o.g. Parameter, wie z.B. das Fibulaköpfchen, verwendet werden. OUP

Interessenkonflikt: Keine angegeben

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Jörg Jerosch
Klinik für Orthopädie, Unfallchirurgie
und Sportmedizin
Johanna-Etienne-Krankenhaus
Am Hasenberg 46
40416 Neuss
J.Jerosch@ak-neuss.de

Literatur

1. Kurtz S, Mowat F, Ong K et al.: Prevalence of primary and revision total hip and knee arthroplasty in the United States from 1990 through 2002. *J Bone Joint Surg Am.* 2005; 87: 1487–97
2. Dy CJ, Marx RG, Bozic KJ et al.: Risk factors for revision within 10 years of total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2014; 472: 1198–207
3. Oduwole KO, Molony DC, Walls RJ et al.: Increasing financial burden of revision total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2010; 18: 945–8
4. Laverni C, Lee DJ, Hernandez VH: The increasing financial burden of knee revision surgery in the United States. *Clin Orthop Relat Res.* 2006; 446: 221–6
5. Clave A, Le Henaff G, Roger T et al.: Joint line level in revision total knee replacement: assessment and functional results with an average of seven years follow-up. *Int Orthop.* 2016; 40: 1655–1662
6. Partington PF, Sawhney J, Rorabeck CH et al.: Joint line restoration after revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1999; 367: 165–71
7. Hofmann AA, Kurtin SM, Lyons S et al.: Clinical and radiographic analysis of accurate restoration of the joint line in revision total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2006; 21: 1154–62
8. Figgie 3rd HE, Goldberg VM, Heiple KG et al.: The influence of tibial-patellofemoral location on function of the knee in patients with the posterior stabilized condylar knee prosthesis. *J Bone Joint Surg Am.* 1986; 68: 1035–40
9. Selvarajah E, Hooper G: Restoration of the joint line in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2009; 24: 1099–102
10. Porteous AJ, Hassaballa MA, Newman JH: Does the joint line matter in revision on total knee replacement? *J Bone Joint Surg Br.* 2008; 90: 879–84
11. Romero J, Seifert B, Reinhardt O et al.: A useful radiologic method for preoperative joint-line determination in revision total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2010; 468: 1279–83
12. König C, Sharenkov A, Matziolis G et al.: Joint line elevation in revision TKA leads to increased patellofemoral contact forces. *J Orthop Res.* 2010; 28: 1–5
13. Martin JW, Whiteside LA: The influence of joint line position on knee stability after condylar knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1990; 259: 146–56
14. Vasso M, Beaufile P, Cerciello S et al.: Bone loss following knee arthroplasty: potential treatment options. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2014; 134: 543–53
15. Vince KG, Droll K, Chivas D: New concepts in revision total knee arthroplasty. *J Surg Orthop Adv.* 2008; 17: 165–72
16. Servien E, Viskontas D, Giuffre BM et al.: Reliability of bony landmarks for restoration of the joint line in revision knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008; 16: 263–9
17. Classen T, Wegner A, von Knoch M: Modification of the method of Figgie for determination of joint line shifting in total knee arthroplasty. *Radiologe* 2009; 49: 533–7
18. Mountney J, Karamfiles R, Bredahl W et al.: The position of the joint line in relation to the trans-epicondylar axis of the knee: complementary radiologic and computer-based studies. *J Arthroplasty.* 2007; 22: 1201–7
19. Bieger R, Huch K, Kocak S et al.: The influence of joint line restoration on the results of revision total knee arthroplasty: comparison between distance and ratio-methods. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2014; 134: 537–41
20. Griffin FM, Math K, Scuderi GR et al.: Anatomy of the epicondyles of the distal femur: MRI analysis of normal knees. *J Arthroplasty.* 2000; 15: 354–9
21. Stoeckl B, Nogler M, Krismer M et al.: Reliability of the transepicondylar axis as an anatomical landmark in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2006; 21: 878–82
22. Jerosch J, Peuker E, Philipps B et al.: Interindividual reproducibility in perioperative rotational alignment of femoral components in knee prosthetic surgery using the transepicondylar axis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2002; 10: 194–7
23. LaPrade RF, Engebretsen AH, Ly TV et al.: The anatomy of the medial part of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 2007; 89: 2000–10
24. Lacono F, Lo Presti M, Bruni D et al.: The adductor tubercle: a reliable landmark for analysing the level of the femorotibial joint line. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013; 21: 2725–9
25. Lacono F, Raspugli GF, Filardo G et al.: The adductor tubercle: an important landmark to determine the joint line level in revision total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015
26. Luyckx T, Beckers L, Colyn W et al.: The adductor ratio: a new tool for joint line reconstruction in revision TKA. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014; 22: 3028–33
27. Gurbuz H, Cakar M, Adas M et al.: Measurement of the knee joint line in Turkish population. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2015; 49: 41–4
28. Clement ND, Hamilton DF, Burnett R: A technique of predicting radiographic joint line and posterior femoral condylar offset of the knee. *Arthritis* 2014; 1210–69