

Patella-in-Place-Balancing

Technik für die Knieprothetik

Die Methode des Gap-Balancing ist für die Einstellung der Femurkomponente und Beugestabilität in der Primärendoprothetik des Kniegelenkes ein etabliertes und häufig angewendetes Verfahren. Allerdings ist es durch die in der Regel evertierte oder luxierte Patella und durchgeführte Weichteilreleases ungenau und fehleranfällig. In diesem Artikel wird die Alternativtechnik eines Patella-in-Place-Balancers (PIPb) vorgestellt. Das Konzept fußt wesentlich auf der Vermeidung jeglicher Weichteilreleases und zielt auf eine perfekte Flexionsstabilität der Prothese ab.

Philosophien und Limitationen in der Knieendoprothetik

Da der Patient die meiste Zeit des Tages und seiner Aktivitäten mit gebeugtem Kniegelenk bestreitet, ist nach endoprothetischem Ersatz vor allem die Stabilität in Flexion von wesentlicher Bedeutung. Diese ist unter anderem abhängig von der korrekten Rotation der femoralen Komponente. Die Malrotation der femoralen Komponente oder eine bestehende Flexionsinstabilität ist mit zahlreichen negativen Folgen, wie dem vorderen Knieschmerz, Bewegungseinschränkungen oder der Unfähigkeit des Treppabsteigens vergesellschaftet [4, 5, 8–10, 14, 17]. Außerdem ist dies ein häufiger Revisionsgrund, der oft zum Komponentenwechsel führt [18]. Mittelpunkt einer stetigen kontroversen Diskussion ist die ideale Methode, um die möglichst präziseste Ausrichtung der femoralen Komponente und der Beugestabilität zu erreichen. Grundsätzlich gibt es zwei Philosophien.

Measured-Resection-Technik

Als erstes ist hier die *Measured-Resection-Technik* zu nennen. Sie beinhaltet die knöchern referenzierte Resektion anhand von knöchernen Landmarken (die Epikondylenlinie, die posterioren Femurkondylen oder die a.p.-Achse). Diese Art der Determinierung orientiert sich in der Theorie an der natürlichen Flexions-Extensions-Achse des Kniegelenkes und versucht so, eine natürliche Kinematik des Gelenks und Bandführung zu rekonstruieren. Wesentliches Prinzip ist, dass dabei knöchern Deformitäten knöchern und weichteilige Probleme weichteilig adressiert werden, bzw. die Weichgewebe an die knöchern Situation angepasst werden. Femur, Tibia und Weichgewebe werden unabhängig voneinander und nacheinander präpariert. Daraus resultiert jedoch, als wesentlicher Nachteil, ein höheres Risiko eine Instabilität zu kreieren [3, 6, 8, 12, 13, 16, 19, 21]. Wenn die knöchernen Schnitte gemacht sind, kann es schwierig oder teilweise unmöglich sein, durch Weichteilreleases eine stabile Kniegelenksituation zu erreichen.

Gap-Balancing-Technik

Dem gegenüber steht die *Gap-Balancing-Technik*, in der die vorhandene Bandspannung die femorale Prothesenausrichtung leitet. Dadurch soll insbesondere in Beugung eine hohe Stabilität der Versorgung erreicht werden. In der Literatur finden sich bereits unterschiedliche Techniken und Instrumente zur Umsetzung dieses Vorhabens. Am häufigsten wird dabei das sogenannte *extension first*, mit zunächst Schaffung einer geraden knöchern

nen Beinachse, Balancing des Extensionsspaltes und Ausrichtung der femoralen Rotation anhand des dann resultierenden Flexionsspalt, angewendet. Der Grundsätzlich unterschiedliche Ansatz zur *Measured-Resection-Technik* liegt darin, dass akzeptiert wird, dass nach endoprothetischem Ersatz eine andere als die natürliche Kinematik im Kniegelenk resultiert und diese mit möglichst hoher Stabilität umgesetzt werden soll. Dies wird kontrovers diskutiert. Ebenso ist als Nachteil der Technik zu diskutieren, dass sich initiale Fehler (z. B. die fehlerhafte horizontale Resektion der proximalen Tibia) auf jeden weiteren Operationsschritt auswirken. Dadurch kann es beispielsweise zur Fehlrotation femoral und damit zu patellofemoralen Problemen bis hin zur Luxation kommen [2, 6, 7, 11, 20, 22]. Außerdem wird wesentlich kritisiert, dass die Methode ungenau ist, da die Patella während des *Balanciervorgangs* evertiert oder luxiert wird, was einen wesentlichen Einfluss auf den Flexionsspalt hat [22]. Außerdem wirken sich die gemachten Releases in Extension ebenso auf die femorale Rotation und damit das patellare Tracking aus.

Aus diesen genannten Limitationen der vorhandenen *Gap-Balancing-Technik* hat Ghijssels eine neue Technik entwickelt, die 1) ein *Gap-Balancing* bei anatomisch reponierter Patella ermöglicht und 2) auf dem Prinzip des *No-Tissue-Release* fußt. Damit soll eine perfekte Flexionsstabilität im Kniegelenk erreicht werden und die natürliche Bandspannung und Knochenorientierung nahe rekonstruiert werden.

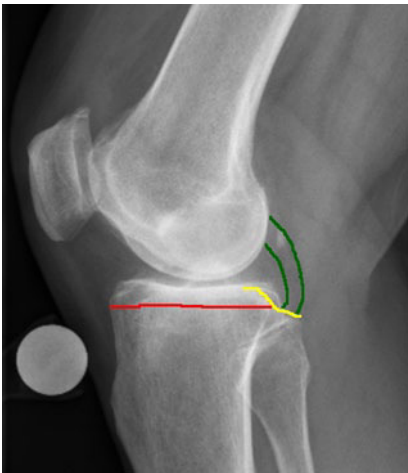


Abb. 1 ▲ Die Bestimmung der Resektionshöhe des tibialen Sägeschnitts erfolgt in Relation zur Insertion des hinteren Kreuzbandes (HKB). (grün HKB, gelb knöcherner Footprint HKB Ansatz, rot Resektionsebene)

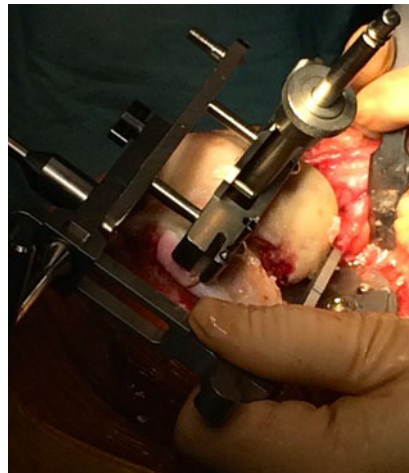


Abb. 2 ▲ Transcondylar pin drill guide. Diese Apparatur ist für die Insertion von transcondylären Pins erforderlich, über die das Flexionsspalt-Balancing realisiert wird



Abb. 3 ▲ Bei reponiertem Streckapparat erfolgt das Balancing durch eindrehen der transepikondylären Pins gegen die Tibiobasisplatte

Operative Technik des Patella-in-Place-Balancers

Vorbereitung

Für die Technik des Patella-in-Place-Balancers (PIPB) wird regelhaft ein modifizierter Subvastuszugang gewählt, um den Streckapparat möglichst intakt zu lassen. Da die Philosophie, wie angesprochen, wesentlich auf dem Prinzip der natürlichen Bandspannung ohne Releases fußt, ist es entscheidend, vor dem ersten Sägeschnitt alle Osteophyten akribisch zu entfernen, um eben jenen natürlichen Bandlauf zu rekonstruieren. Das hintere Kreuzband (HKB) wird in jedem Fall erhalten und ebenso akribisch dargestellt, für das Balancing kann optional auch das vordere Kreuzband (VKB) erhalten werden.

Zunächst wird die Tibia routinemäßig horizontal zur mechanischen Tragachse ausgerichtet, was sowohl über eine intramedulläre Ausrichtung, als auch über eine extramedulläre Referenzierung erfolgen kann. Die Bestimmung der Resektionshöhe des tibialen Sägeschnitts erfolgt idealerweise in Relation zur tibialen Insertion des HKB (■ **Abb. 1**), um dies sicher und unbeeinträchtigt zu erhalten. Obwohl hier keine Referenzierung zur vorhandenen Gelenklinie besteht (diese wäre ebenso durchführbar), ist nach unseren klinischen Erfahrungen bei diesem Re-

sektionsniveau nur in den seltensten Fällen eine Nachresektion erforderlich. Das Instrumentarium beinhaltet einen Stylus zur Referenzierung dieser anatomischen Landmarke. Der Slope ist in Abhängigkeit vom verwendeten System festzulegen, die Autoren präferieren eine Orientierung am natürlichen Slope des Kniegelenkes, jedoch nicht mehr als 5–7°.

Nach durchgeführter Resektion der proximalen Tibia wird eine Basisplatte auf die Resektionsfläche für die Anknüpfung des PIPB aufgebracht. Diese Platte ist in verschiedenen Größen erhältlich und darf keinesfalls medial oder lateral überstehen, da es sonst Veränderungen in der Bandspannung kreieren würde. Sie hat eine zentrale Aussparung im Notchbereich, sodass auch die Anwendung bei noch erhaltenem VKB möglich ist.

Implantation

Nun folgt die Präparation des Femurs. Der Markraum wird zunächst anterior der femoralen HKB-Insertion eröffnet und eine intramedulläre Ausrichtungsstange eingebracht. Hierüber wird zunächst der sog. transcondylar pin drill guide (TPDG) positioniert. Diese Apparatur ist für die Insertion von Pins erforderlich, die von anterior nach posterior in die Femurkondylen eingebracht werden und über die das Flexionsspalt-Balancing realisiert wird (■ **Abb. 2**).

Sie werden in der Kondylenachse ausgerichtet und mit einem Gegengewinde am dorsalen Femurkondylus gekontert. Dieser Schritt erfolgt bei evertierter Patella. Dann ist die Reposition dieser erforderlich. Hierfür wurde ein spezieller Algorithmus entwickelt, damit es nicht zum verbiegen der Pins kommt. Dafür wird das Knie zunächst gestreckt und die Patella über die transcondylären Pins in ihre anatomische Lage gehoben. Über eine manuelle hintere Schublade kann das Knie mit reponierter Patella in 90°-Flexion gebracht werden. Der laterale Balancing-Pin durchspießt den M. vastus lateralis, der mediale kommt im M. vastus medialis zum liegen. Nun werden die transcondylären Pins mit einem speziellen Schraubendreher eingedreht und darüber sukzessive der Flexionsspalt aufgespannt (■ **Abb. 3**). Dabei Artikulieren die Pins auf der Tibiobasisplatte. Es wird im Gegensatz zu anderen Systemen ein reiner Punktkontakt im hinteren Drittel des Tibiaplateaus aufgebaut, was dem Artikulationspunkt zwischen Femur und Tibia gleichkommt. Hier besteht also die Referenz für die Flexionsspannung.

➤ **Die Einstellung dieser Spannung erfolgt händisch nach Gefühl des Operateurs.**

Es ist auch eine relative Laxizität des lateralen gegenüber dem medialen Kompar-

timent beispielhaft einstellbar. Die Überprüfung der korrekten Stabilität kann beispielsweise per Varus/Valgus-Test erfolgen.

Ist die korrekte Spannung eingestellt, werden die Pins in dieser Einstellung belassen und die Patella wieder everiert. In **Abb. 4** zeigt sich beispielhaft das aufgespannte Flexions-Gap, wie es zuvor mit reponiertem Streckapparat ermittelt wurde. Nunmehr kann der sog. „femorale cutting block positioner“ (FCBP) aufgesetzt werden, der den dorsalen Sägeschnitt und die femorale Rotation parallel zur Tibia vorgibt (**Abb. 5**). Durch Referenzierung am dorsalsten Punkt der Femurkondylen lässt sich ebenso die nötige Inlaydicke ablesen, bzw. die Notwendigkeit einer tibialen Nachresektion, wenn das Gap weniger als 9 mm entspricht. Das vorhandene posteriore kondyläre Offset wird in jedem Fall erhalten und rekonstruiert.

Zuerst wird über den FCBP der posteriore und nach Größenbestimmung der Prothese der anteriore Sägeschnitt durchgeführt. Über diesen Schnittblock werden ebenso die Bohrungen für den späteren 4-in-1-Schnittblock mit posteriorer Referenzierung gesetzt. Im nächsten Schritt folgt die Ausrichtung des distalen Sägeschnitts anhand der intramedullären Führung. Hier werden 8 mm von dem prominentesten knöchernen Aspekt des distalen Femurs reseziert, mit dem der FCBP-Schnittblock Kontakt hat. Die Orientierung des Sägeschnitts wird standardmäßig mit 5, 6 oder 7° zur anatomischen Schaftachse durchgeführt, eine Flexion des Sägeschnitts um 3° ist mit dem Instrumentarium ebenso möglich. Anschließend ist das Aufsetzen des 4-in-1-Schnittblocks für die weiteren Sägeschnitte möglich. Nunmehr erfolgt die Vorbereitung zur Prothesenimplantation und die Probe-reposition.

Theoretische Limitationen der Technik

Der PIPB adressiert wesentliche Limitationen derzeitiger klinisch verwendeter Gap-Balancing-Techniken, da es nach Wissen der Autoren die bisher einzige Technik eines Flexionsspalt-Balan-

Orthopäde DOI 10.1007/s00132-015-3105-0
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

M. Ettinger · T. Calliess · A. Demurie · H. Van den Wyngaert · I. Ghijssels

Patella-in-Place-Balancing. Technik für die Knieprothetik

Zusammenfassung

Hintergrund. Die Methode des Gap-Balancing ist für die Einstellung der Femurkomponentenrotation und Beugestabilität in der Primärendoprothetik des Kniegelenkes ein etabliertes und häufig angewendetes Verfahren. Allerdings ist es durch die in der Regel evertierte oder luxierte Patella und durchgeführte Weichteilreleases ungenau und fehleranfällig. Hier wird die Alternativtechnik eines Patella-in-Place-Balancers (PIPB) vorgestellt.

Methode. Zunächst erfolgt die Resektion der Tibia und das Aufbringen einer Basisplatte. Anschließend werden 2 transkondylär verlaufende Pins in sagittaler Richtung in die Femurkondylen eingedreht. Nach Reposition des Streckapparates in die anatomische Position kann durch sukzessives Eindrehen der Pins der Flexionsspalt aufgespannt werden. An diesem Status erfolgt dann die Ausrichtung der femoralen Schnitte, parallel zur Tibia. Es wird dabei keinerlei Weichteilrelease durchgeführt. Klinische Erfahrungen von über 3000 derart versorgter Patienten werden retrospektiv darge-

stellt, sowie von einer prospektiven Beobachtungsstudie berichtet.

Ergebnisse. Die Technik des PIPB war für alle primären und sekundären Gonarthrosen – bei erhaltenem Bandapparat – anwendbar. Die ermittelte Revisionsrate lag bei 1,21%. Nur 2% der Patienten stellten sich 1 Jahr postoperativ mit einem unbefriedigenden Ergebnis neuerlich vor. In der prospektiven Betrachtung kann nach 6 Monaten eine signifikante Steigerung im KOOS dokumentiert werden (29,3 auf 63,5 Punkte, $p < 0,05$).

Diskussion. Der Patella-in-Place-Balancer überwindet die wesentliche Limitation der Gap-Balancing Technik hinsichtlich ihrer Ungenauigkeit durch den luxierten Streckapparat. Nach absolvierter Lernkurve erscheint die Technik sicher und reproduzierbar. Die vorläufigen Daten zeigen vielversprechende Ergebnisse.

Schlüsselwörter

Femur · Knieendoprothetik · Kniegelenk · Patella · Tibia

Patella in Place Balancer. Technique for total knee arthroplasty

Abstract

Background. The gap-balancing technique is well established in primary total knee arthroplasty to determine femoral rotation and flexion gap stability. However, it has been reported that the everted or luxated extensor mechanism during this procedure in addition to soft tissue releases performed may cause inaccurate flexion-gap determination and thus result in malpositioning of the femur or instability. In this article the alternative technique of a Patella in Place Balancer (PIPB) with a no tissue release philosophy is introduced.

Method. In this procedure, at first, the tibia resection is performed and a tibia baseplate inserted. Then, two pins are drilled into the sagittal profile of the femoral condyles. After anatomical repositioning of the extensor apparatus the pins are screwed in until the flexion gap is spanned. In this position femoral component orientation is determined parallel to the tibia. We describe the current clinical experience based on a retrospective review

of 3,000 patients. Moreover, initial results of a prospective study are outlined.

Results. The PIPB technique was suitable for the treatment of primary and secondary gonarthrosis if the collateral ligaments were intact. The detected revision rate was about 1.21%. Only 2% of the treated patients reported back with an unsatisfactory outcome 1 year after surgery. In the prospective survey of 33 patients a significant improvement in the KOOS Score could be documented (29.3 points preoperatively vs. 63.5 postoperatively ($p < 0.05$)).

Discussion. The PIPB overcomes the major limitation of the gap balancing technique with regard to the inaccuracy caused by the dislocated extensor mechanism. After a learning curve, the technique appears to be safe and reliable. Preliminary data show promising results.

Keywords

Femur · Knee arthroplasty · Knee joint · Patella · Tibia

cing mit reponiertem Streckapparat ist. Nichtsdestotrotz gelten für diese Technik ebenso Limitationen durch nicht in-

takte Bandstrukturen, die aber auch andere prothetische Konzepte erforderlich machen.

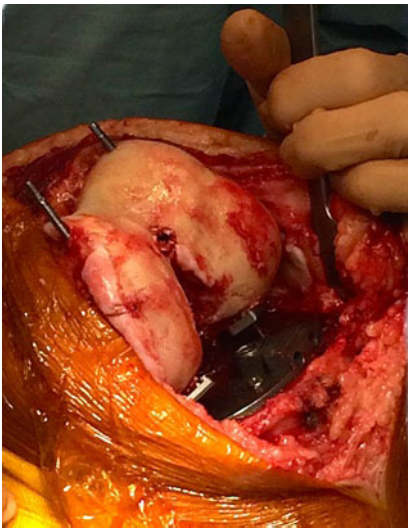


Abb. 4 ▲ Darstellung des aufgespannten Flexionsspalts bei nunmehr luxiertem Streckapparat

Die praktizierte No-Release-Technik ist aus Sicht der Autoren ein wesentlicher Erfolgsparameter der Technik, da hierdurch eine natürliche Beugekinematik und Kniestabilität erreicht werden kann. Demgegenüber muss jedoch ebenso kritisch aufgezeigt werden, dass bereits mit dem tibialen Schnitt eine Veränderung der Gelenkorientierung erfolgt, die Einfluss auf die Femorausrichtung hat. Dieser Punkt gilt ebenso für andere, konkurrierende Tibia-First-Techniken.

» No-Release-Technik als wesentlicher Erfolgsparameter

Die wesentliche theoretische Limitation des PIPB besteht letzten Endes in der Extensionsstabilität. Diese wird in dem Therapiealgorithmus weder gemessen noch adaptiert. Die Entwickler sind der Überzeugung, dass bei gerade ausgerichteter Beinachse und entsprechender orthograde Krafteinleitung im Stand eine ausreichende muskuläre Stabilisierung erfolgen kann. Dies ist in Beugung nicht der Fall, sodass hier der Fokus des Systems besteht. Detaillierte klinische Daten hierzu liegen jedoch bisher noch nicht vor. Es ist eine Weiterentwicklung des Systems zur zusätzlichen Anpassung des Extensionsspaltes aktuell in der Planungsphase. Durch die Verwendung einer Single-Radius-Prothese mit dem System ist

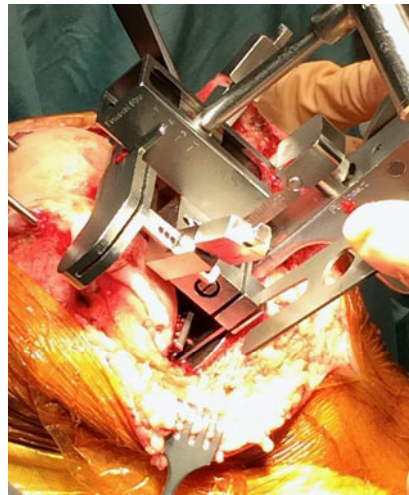


Abb. 5 ▲ Der femorale „cutting block positioner“ (FCBP). Mit der Sichel wird die Flexionsspaltstärke gemessen und der Schnittblock ausgerichtet

ein Matching des Flexions- auf den Extensionsspalts gut durchführbar.

Klinische Erfahrung

Das Konzept des PIPB wurde 2000 von Ghijssels entwickelt. Im Juni 2007 erfolgte die erste klinische Anwendung eines Prototypen, der in der Folge noch einmal überarbeitet wurde. Das aktuelle System wird seit November 2007 angewendet. Ghijssels hat bereits über 2150 Patienten in dieser Technik operiert. Dabei wird sie bei geeigneten Patienten auch als tagesstationäre Prozedur durchgeführt. Bis heute erfolgte bei 60 Patienten eine Knieprothesenimplantation mit nur einem stationären Krankenhausaufenthalt unter Anwendung der PIPB-Methode.

Demurie operiert in derselben Abteilung wie Ghijssels und hat den PIPB 2010 übernommen. Zusammen wurden in Eeklo bis heute über 3000 Patienten therapiert. Die Indikation besteht für alle primären Knieprothesenimplantationen mit intaktem Bandapparat. Die Technik ist dabei eingebettet in ein detailliertes perioperatives Management mit lokaler Schmerzinfiltation, Frühmobilisation und klinischem Follow-up.

In der allerersten klinischen Anwendung des PIPB-Prototypen kam es zu 4 Patellasubluxationen und einer Patellaluxation. Daraufhin wurde die angesprochene Überarbeitung des Instrumentariums durchgeführt. Seit dieser Modifi-

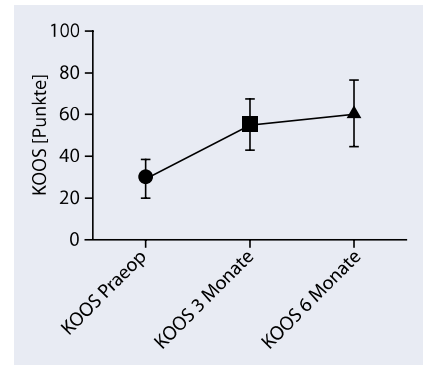


Abb. 6 ▲ Durchschnittliche KOOS-Werte (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score) prä- und postoperativ von 33 Patienten

kation sind an den 3000 Patienten 37 Revisionen aufgrund folgender Komplikationen durchgeführt worden: 9 bei Infektionen, 8 bei Flexionsdefizit ($<100^\circ$), 12 aseptische Lockerungen der Tibiakomponente, 1 spontaner Hämarthros (1 Jahr postoperativ), 4 bei Instabilität, 3 bei Patellaluxationen bei Ruptur des medialen Retinakulums. Entsprechend ergibt sich eine Revisionsrate von 1,21%, wobei sich diese für 0,93% bei I.G. und 1,91% auf A.D. bezieht.

2012 wurden von Ghijssels 309 Patienten mit dem PIPB operiert. Bei keinem Patienten wurde dabei ein Weichteilrelease durchgeführt. 6 Wochen postoperativ erfolgte die erste klinische Nachuntersuchung mit einer Follow-up-Rate von 100%. Nach 3 Monaten wurden nur die Patienten wieder einbestellt, die noch nicht zufrieden waren mit ihrer Versorgung (36 Patienten, 12%). 1 Jahr postoperativ stellten sich nur 2% ($n=6$) der Patienten mit noch unbefriedigendem Ergebnis wieder vor.

» Über 3000 Patienten therapiert

In den vergangenen Jahren wurde die Technik durch rund 30 weitere Chirurgen in Belgien, Deutschland, Schweiz, Frankreich, Spanien und den Niederlanden übernommen. Van den Wyngaert begann im November 2013 mit dem PIPB. Eingeschlossen wurden alle Patienten, die in seiner Abteilung zur Primärimplantation einer Knieprothese indiziert wurden. Alle seither versorgten Patienten wurden

von im prospektiv erfasst und bei Aufnahme und Entlassung sowie 3 und 6 Monate postoperativ der KOOS (Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score) erhoben [15]. In der laufenden Studie konnten bisher von insgesamt 33 Patienten die 6-Monats-Ergebnisse erhoben werden. Zum Operationszeitpunkt lag das Durchschnittsalter der Patienten bei 65 Jahren. Präoperativ lag der KOOS bei einem Wert von 29,3 Punkten, bei der Nachuntersuchung nach 3 Monaten lag der durchschnittliche Wert bei 56,5 Punkten und nach 6 Monaten bei 63,5 Punkten. Der KOOS verbesserte sich demnach signifikant ($p < 0,05$, **Abb. 6**) und zeigt, verglichen mit anderen aktuellen Outcomesstudien, nach Knieprothesenimplantation [1] ein operationsentsprechend eher überdurchschnittliches Ergebnis.

Fazit für die Praxis

- Der Patella-in-Place-Balancer überwindet die wesentliche Limitation der Gap-Balancing-Technik hinsichtlich ihrer Ungenauigkeit durch den luxierten Streckapparat. Dadurch ist eine perfektere Flexionsspalteinstellung möglich.
- Allerdings ist dieses Verfahren anspruchsvoll und erfordert eine Lernkurve. Die No-Release-Philosophie der Weichgewebe soll dabei ebenso zu einer Verbesserung des Patientenoutcomes durch den Erhalt der natürlichen Bandspannung führen.
- Die Verwendung der PIPB Technik führt nach Auswertung der vorliegenden frühen postoperativen Phase zu einem reproduzierbar guten Patientenoutcome in Hinblick auf klinische Parameter wie *Schmerz, Funktion und Patientenzufriedenheit*.
- Die Komplikationsrate zeigt sich insgesamt gering. Prospektive randomisierte Langzeitstudien stehen zum aktuellen Zeitpunkt jedoch aus. Auch sollte eine weitere Auseinandersetzung mit dem ungelösten Problem der Stabilisierung des Extensionsspaltes erfolgen.

Korrespondenzadresse



Dr. M. Ettinger
Department for Orthopaedic
Surgery
Hannover Medical School
Anna-von-Borries-Str. 1–7
30625 Hannover
Max.Ettinger@ddh-gruppe.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Ettinger, T. Callies, A. Demurie, H. Van den Wyngaert und I. Ghijssels sind Berater von Stryker.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Abdel MP, Parratte S, Blanc G, Ollivier M, Pomero V, Viehweger E, Argenson JN (2014) No benefit of patient-specific instrumentation in TKA on functional and gait outcomes: a randomized clinical trial. *Clin Orthop Relat Res* 472(8):2468–2476
2. Babazadeh S, Dowsey MM, Stoney JD, Choong PF (2014) Gap balancing sacrifices joint-line maintenance to improve gap symmetry: a randomized controlled trial comparing gap balancing and measured resection. *J Arthroplasty* 29(5):950–954
3. 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 Relat Res* 286:40–47
4. Berger RA, Crossett LS, Jacobs JJ, Rubash HE (1998) Malrotation causing patellofemoral complications after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 356:144–153
5. Boldt JG, Stiehl JB, Hodler J, Zanetti M, Munzinger U (2006) Femoral component rotation and arthrofibrosis following mobile-bearing total knee arthroplasty. *Int Orthop* 30(5):420–425
6. Daines BK, Dennis DA (2014) Gap balancing vs. measured resection technique in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Surg* 6(1):1–8
7. Dennis DA (2008) Measured resection: an outdated technique in total knee arthroplasty. *Orthopedics* 31(9):940, 943–944
8. Dennis DA, Komistek RD, Kim RH, Sharma A (2010) Gap balancing versus measured resection technique for total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 468(1):102–107
9. Incavo SJ, Wild JJ, Coughlin KM, Beynon BD (2007) Early revision for component malrotation in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 458:131–136
10. van Jonbergen HP, Reuver JM, Mutsaerts EL, Poolman RW (2014) Determinants of anterior knee pain following total knee replacement: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22(3):478–499
11. Katz MA, Beck TD, Silber JS, Seldes RM, Lotke PA (2001) Determining femoral rotational alignment in total knee arthroplasty: reliability of techniques. *J Arthroplasty* 16(3):301–305
12. Mantas JP, Bloebaum RD, Skedros JG, Hofmann AA (1992) Implications of reference axes used for rotational alignment of the femoral component in primary and revision knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 7(4):531–535
13. Poilvache PL, Insall JN, Scuderi GR, Font-Rodriguez DE (1996) Rotational landmarks and sizing of the distal femur in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 331:35–46
14. Romero J, Stahelin T, Binkert C, Pfirrmann C, Hodler J, Kessler O (2007) The clinical consequences of flexion gap asymmetry in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 22(2):235–240
15. Roos EM, Roos HP, Lohmander LS, Ekdahl C, Beynon BD (1998) Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS) – development of a self-administered outcome measure. *J Orthop Sports Phys Ther* 28(2):88–96
16. Schnurr C, Nessler J, König DP (2009) Is referencing the posterior condyles sufficient to achieve a rectangular flexion gap in total knee arthroplasty? *Int Orthop* 33(6):1561–1565
17. Scuderi GR, Komistek RD, Dennis DA, Insall JN (2003) The impact of femoral component rotational alignment on condylar lift-off. *Clin Orthop Relat Res* 410:148–154
18. Sharkey PF, Hozack WJ, Rothman RH, Shastri S, Jacoby SM (2002) Insall Award paper. Why are total knee arthroplasties failing today? *Clin Orthop Relat Res* 404:7–13
19. Siston RA, Patel JJ, Goodman SB, Delp SL, Giori NJ (2005) The variability of femoral rotational alignment in total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 87(10):2276–2280
20. Suzuki K, Hara N, Mikami S et al (2014) In vivo kinematic analysis of posterior-stabilized total knee arthroplasty for the valgus knee operated by the gap-balancing technique. *Knee* 21(6):1124–1128
21. Whiteside LA, Arima J (1995) The anteroposterior axis for femoral rotational alignment in valgus total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 321:168–172
22. Yoon JR, Oh KJ, Wang JH, Yang JH (2014) Does patella position influence ligament balancing in total knee arthroplasty? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. doi:10.1007/s00167-014-2879-7