

M. Brockmeyer¹, R. Seil², D. Kohn¹, O. Lorbach¹

Evaluation der Inter- und Intra-Untersucher-Reliabilität eines neuen Instrumentes zur Messung der tibiofemorale Rotation

Reliability testing of a new device to measure tibial rotation

Zusammenfassung: In der vorliegenden Studie wurde getestet, ob sich mit einem neuen digitalen nichtinvasiven Messgerät zur Objektivierung der tibiofemorale Rotation, dem sogenannten Rotameter, reliable Messergebnisse in Bezug auf die Inter- sowie Intra-Untersucher-Reliabilität erzielen lassen. Es wurden 30 Probanden (15 Männer, 15 Frauen) mit einem durchschnittlichen Alter von 24 (21–27) Jahren untersucht. Gemessen wurde die Außen- und Innenrotation an beiden Kniegelenken in 30° Knieflexion bei einem definierten Drehmoment von 5, 10 und 15 Nm in Bauchlage der Testperson. Die Messungen wurden zu zwei verschiedenen Zeitpunkten und durch zwei unabhängige Untersucher durchgeführt. Mit Hilfe des Intraklassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) wurde die Inter- und Intra-Untersucher-Reliabilität ermittelt. Der Pearson-Korrelationskoeffizient wurde eingesetzt, um einen Seitenvergleich des linken mit dem rechten Kniegelenk durchzuführen. Es zeigten sich eine hohe Intra-Untersucher-Reliabilität und eine hohe Inter-Untersucher-Reliabilität für die Außen- und Innenrotation sowie für die Gesamtrotation bei einem Drehmoment von 5, 10 und 15 Nm. Im Seitenvergleich wurde ebenfalls eine hohe Korrelation der Messwerte deutlich. Mit dem Rotameter lassen sich zuverlässige und reproduzierbare Messwerte für die tibiofemorale Rotation im Kniegelenk bestimmen.

Schlüsselworte: Rotationsstabilität, Messgerät, tibiofemorale Rotation, Knielaxität, vorderes Kreuzband

Abstract: The aim of this study was to evaluate the reliability of a newly developed device to measure tibial rotation, the Rotameter. Thirty healthy subjects (15 males, 15 females) with a mean age of 24 [21–27] years were examined with the Rotameter measurement device. Internal and external rotation of the tibia in relation to the femur was measured in 30° flexion of the knee joint with the testperson lying prone. The measurements were performed at an applied axial tibial torque of 5, 10 and 15 Nm by two independent examiners in order to test the inter-observer reliability. The subjects were retested by the same examiners to test the intra-observer reliability. By using the intraclass correlation coefficient (ICC) the inter- and intra-observer reliability was assessed. The Pearson correlation coefficient was selected to identify the side-to-side-difference. A high intra-observer reliability and a high inter-observer reliability was found at 5, 10 and 15 Nm of applied torque for the external rotation, the internal rotation and the rotational range. High correlations in the Pearson correlation coefficient were also identified for the comparison of left versus right knee joint rotation at all applied torques. In conclusion, the Rotameter testing device for the measurement of tibiofemoral rotation provides reliable results. It might be used in a wide field as a non-invasive instrument to objectively determine rotational stability and to investigate the restoration of the rotational stability after surgical procedures.

Keywords: Rotational stability, Measurement device, Knee laxity, ACL, Tibial rotation

1 Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie, Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar

2 Service de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique, Centre d'Orthopédie et de Médecine du Sport, Centre Hospitalier, Clinique d'Eich, Luxembourg

Prämiert mit dem VSOU-Nachwuchsförderpreis 2011: Der Originalartikel ist erschienen in „Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy“: Lorbach O, Wilmes P, Theisen D, Brockmeyer M, Maas S, Kohn D, Seil R., Reliability testing of a new device to measure tibial rotation. *Knee Surg Traumatol Arthrosc* (2009) 17: 920–926.
DOI 10.3238/oup.2012.0004-0009

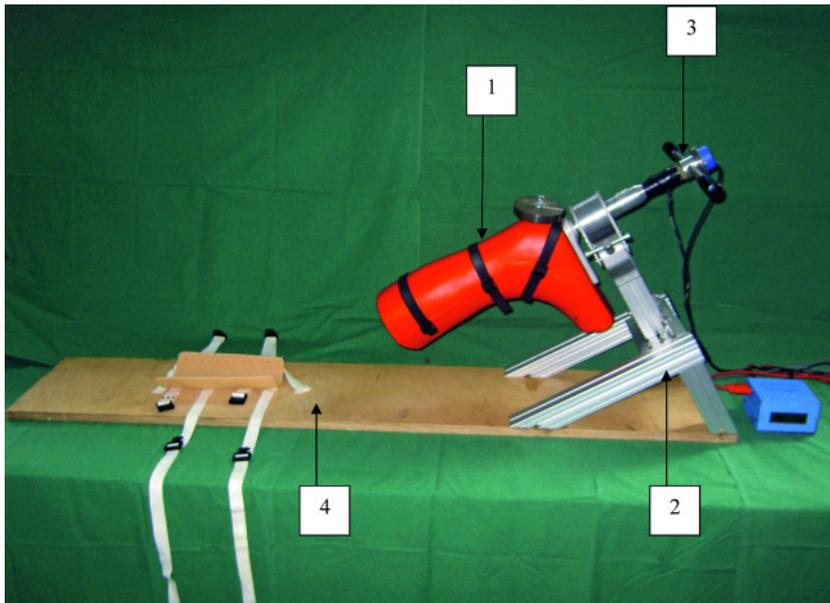


Abbildung 1 Rotameter [Messschuh (1), Schlitten (2), Drehschlüssel (3), Unterlage mit Oberkellfixierungsschale (4)]

Einleitung

Zur Beurteilung der Knielaxität in der sagittalen Ebene stehen sowohl subjektive Untersuchungen wie der Lachmantest oder die Schubladentests als auch objektive, validierte Messsysteme zur Verfügung. Zu diesen zählen u.a. das KT 1000/2000 Arthrometer® (MEDmetric Corporation, San Diego, Californien) [8] sowie das Rolimeter® (Aircast Europe Ltd, London, England) [10].

Die Rotationsfähigkeit des Kniegelenks lässt sich hingegen bisher lediglich mit subjektiven Tests wie dem Pivot-Shift-Test [22], dem Losee-Test [18] und dem Dial-Test [14] bewerten. Ein objektives Messinstrument ist unseres Wissens zurzeit noch nicht etabliert.

In Zusammenarbeit mit der Universität Luxemburg wurde ein Gerät zur Messung der tibiofemorale Rotation entwickelt, welches sich am Dial-Test orientiert. Dieses digitale Messgerät wurde Rotameter genannt (Abb. 1).

In den vergangenen Jahren geriet die klassische Einzelbündeltechnik zur Ersatzplastik des VKB in die Diskussion [9] und parallel hierzu wurden Operationstechniken entwickelt, bei denen das vordere Kreuzband mit zwei oder mehr Sehnenbündeln ersetzt wird [7]. Die Wiederherstellung der nativen Kniegelenksstabilität ist ein wichtiges Ziel bei der Ersatzplastik des VKB. Als Vorteil der

Doppelbündeltechnik wurde hypothetisch und aufgrund von In-vitro-Untersuchungen eine im Vergleich zum Einzelbündel verbesserte Wiederherstellung der Rotationsfähigkeit genannt [7, 11]. Klinisch steht die Bestätigung dieser Hypothese nach wie vor aus. Im Rahmen dieser Diskussion wäre ein objektives Gerät zur Messung der tibiofemorale Rotationslaxität von großer Bedeutung, um zum einen eine pathologische Rotationslaxität feststellen zu können und zum anderen die Wiederherstellung der physiologischen Rotationslaxität nach verschiedenen VKB-Rekonstruktionstechniken besser miteinander vergleichen zu können [2].

Neben Einsatzmöglichkeiten im Bereich der Kreuzbandchirurgie sind weitere Anwendungen denkbar. Das Rotameter könnte im Rahmen einer prä- und postoperativen Knieevaluation Aufschluss über das Ergebnis von Kapselbandrekonstruktionen in Bezug auf die Wiederherstellung der Rotationslaxität geben. Die Verbesserung der Diagnostik von Verletzungen posterolateraler Strukturen des Kniegelenks mit Hilfe des Rotameters ist denkbar, da das Gerät sich am Dial-Test orientiert und einen quantitativen Vergleich der Rotationswerte zwischen gesunder und verletzter Seite ermöglicht. Der Dial-Test dient der Bewertung der posterolateralen Kniegelenkslaxität [14]. Ein wei-



Abbildung 2 A-C Ablauf einer Messung: A: Außenrotation, B: Neutralposition, C: Innenrotation



Abbildung 3 Modifizierte Antiluxationsorthese (Newport® III, ORMED GmbH)

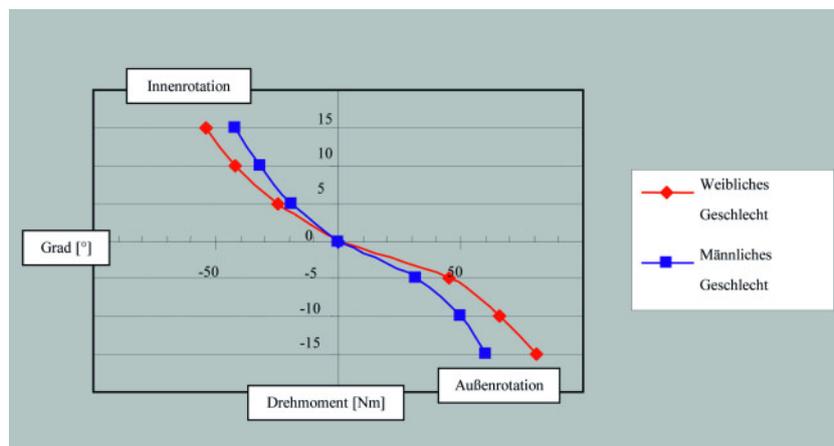


Abbildung 4 Darstellung der Mittelwerte der Winkelgrade [°] für Innen- und Außenrotation abhängig vom Drehmoment [Nm] getrennt nach Geschlecht

terer Einsatzbereich des Rotameters ist im Rahmen der Therapiekontrolle und Rehabilitation sowie der Entwicklung und Verbesserung von funktionellen Kniebandagen vorstellbar. Grundlegend ist die Bestimmung der physiologischen Werte der Knierotation für Männer, Frauen und Kinder. Die Evaluation möglicher Einflussfaktoren auf die tibiofemorale Rotation erscheint ebenso als sinnvoll wie die Entwicklung eines normalen Gelenkprofils und exakter biomechanischer Kniemodelle.

Material und Methoden

Es wurden 30 Probanden (15 Männer, 15 Frauen) mit einem durchschnittlichen Alter von 24 (21–27) Jahren untersucht. Gemessen wurde die Außen- und Innenrotation an beiden Kniegelenken in 30° Knieflexion bei einem definierten Drehmoment von 5, 10 und 15 Nm in Bauchlage der Testperson

(Abb. 2). Die Messungen wurden zu zwei verschiedenen Zeitpunkten und durch zwei unabhängige Untersucher durchgeführt. Das Rotameter orientiert sich am Dial-Test, einem klinischen Test zur Diagnostik von Verletzungen posterolateraler Strukturen des Kniegelenks. Mit Hilfe einer modifizierten Antiluxationsorthese wurde die Hüftrotation minimiert (Abb. 3). Bei der ersten Messung wurde eine Hyperlaxität der Versuchsteilnehmer mit dem Beighton-Score [4] ausgeschlossen. Operationen am Kniegelenk wurden anamnestisch abgeklärt. Die Kniegelenke wurden klinisch untersucht. Der Messvorgang wurde fünfmalig von den beiden Untersuchern durchgeführt. Der höchste und der niedrigste Messwert wurden gestrichen. Aus den verbleibenden drei Messwerten wurde jeweils der Mittelwert zur Reduzierung des Messfehlers gebildet. Eine erneute Messung der Probanden durch die gleichen Untersucher erfolgte im Durchschnitt nach 31 ± 43

Tagen. Es wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Messungen bestimmt. Mit Hilfe des Intra-klassen-Korrelationskoeffizienten (ICC) wurde die Inter- und Intra-Untersucher-Reliabilität ermittelt. Der Pearson-Korrelationskoeffizient wurde eingesetzt, um einen Seitenvergleich des linken mit dem rechten Kniegelenk durchzuführen.

Ergebnisse

30 Testpersonen mit einem durchschnittlichen Alter von 24 (21–27) Jahren ohne Knieverletzungen oder Operationen am Kniegelenk in der Vorgeschichte wurden getestet. Eine Hyperlaxität wurde bei keinem der Teilnehmer festgestellt. Der Beighton-Score lag im Durchschnitt bei 0.8 ± 1.1 . Bei steigendem Drehmoment zeigten sich sowohl für die Innen- als auch die Außenrotation ansteigende Messwerte des Drehwinkels. Bei allen Messungen fielen bei gleichem Drehmoment die Messwerte für die Außenrotation größer aus als für die Innenrotation (Tab. 1). Die Messergebnisse der weiblichen Testpersonen im Vergleich zu den männlichen Probanden wiesen im Durchschnitt sowohl für die Innen- als auch für die Außenrotation bei den gemessenen Drehmomenten von 5, 10 und 15 Nm höhere Winkelgradzahlen auf (Abb. 4). Es zeigten sich eine hohe Intra-Untersucher-Reliabilität (ICC 0.81–0.94) mit Ausnahme für die Innenrotation bei 5 Nm und 10 Nm (ICC 0.67, 0.79) sowie eine hohe Inter-Untersucher-Reliabilität (ICC 0.88–0.98) für die Außen- und Innenrotation sowie für die Gesamtrotation bei einem Drehmoment von 5, 10 und 15 Nm (Tab. 2 und 3). Im Seitenvergleich wurde ebenfalls eine hohe Korrelation der Messwerte deutlich. Der Pearson-Korrelationskoeffizient rangierte zwischen 0.95 und 0.98 (Tab. 4). Eine besonders hohe Korrelation der Messwerte zwischen den Untersuchern sowie zwischen den Messstagen zeigte sich für die Gesamtrotation (Innen- und Außenrotation addiert) bei einem applizierten Drehmoment von 10 Nm. Gemäß der aktuellen Literatur sprechen ICC-Werte bzw. Werte des Pearson-Korrelationskoeffizienten ≥ 0.80 für eine hohe Korrelation der verglichenen Messwerte [19].

Rechtes Knie	Untersucher 1						Untersucher 2					
	Innenrotation			Außenrotation			Innenrotation			Außenrotation		
	5 Nm	10 Nm	15 Nm	5 Nm	10 Nm	15 Nm	5 Nm	10 Nm	15 Nm	5 Nm	10 Nm	15 Nm
Messung 1	22 ± 1.1	36.2 ± 1	46.8 ± 0.7	39.1 ± 2.2	58.8 ± 2	71 ± 1.1	22.9 ± 1	37.7 ± 0.6	48 ± 0.6	40.1 ± 1.3	60.5 ± 1	72.9 ± 0.8
Messung 2	23.1 ± 1.5	38.6 ± 1	49 ± 0.7	39.6 ± 1.8	60.9 ± 1.8	74.2 ± 1.2	25.5 ± 0.7	40.4 ± 0.6	50.7 ± 0.6	39.8 ± 1.7	62.4 ± 1.3	75.3 ± 1
Linkes Knie	Untersucher 1						Untersucher 2					
	Innenrotation			Außenrotation			Innenrotation			Außenrotation		
	5 Nm	10 Nm	15 Nm	5 Nm	10 Nm	15 Nm	5 Nm	10 Nm	15 Nm	5 Nm	10 Nm	15 Nm
Messung 1	22.5 ± 1.5	39 ± 1.2	50.4 ± 1	41.4 ± 1.8	59.7 ± 1.7	72.3 ± 1.3	22.8 ± 1.2	39.4 ± 0.7	50.7 ± 0.5	43.8 ± 1.4	62.8 ± 1.3	75.3 ± 1
Messung 2	24.9 ± 1.4	41.3 ± 1.3	52.7 ± 0.9	40.3 ± 1.8	59 ± 1.3	71.5 ± 1.1	26 ± 0.9	42.1 ± 0.7	53.2 ± 0.5	42.8 ± 1.2	62.6 ± 1.1	74.7 ± 0.9

Tabelle 1 Werte für Innen- und Außenrotation aller Probanden in Winkelgrad [°] (Mittelwerte und Standardabweichungen)

Innenrotation	5 Nm	10 Nm	15 Nm
ICC	0.67	0.79	0.83
Außenrotation	5 Nm	10 Nm	15 Nm
ICC	0.81	0.88	0.93
Gesamtrotation	5 Nm	10 Nm	15 Nm
ICC	0.92	0.94	0.84

Tabelle 2 Intra-Untersucher-Reliabilität für Innen- und Außenrotation sowie Gesamtrotation bei 5, 10 und 15 Nm (ICC = Intraclass-Correlation-Coefficient)

Diskussion

Die in der Literatur beschriebenen Messwerte für die Innen- und Außenrotation sowie für die Gesamtrotation divergieren sehr stark [24]. Dies liegt an den unterschiedlichen Messmethoden und Messgeräten, die zur Quantifizierung der tibiofemorale Rotation angewandt wurden. Unterschiedliche Drehmomente und Kräfte wurden aufgewandt, es wurde in verschiedenen Knieflexionsgraden gemessen und die Testpersonen unterschiedlich gelagert. Neben statischen, passiven Messmethoden wurden Messverfahren unter aktiven, dynamischen Bedingungen angewandt.

Das Rotameter ist eine einfache, nicht invasive Methode zur Messung der tibiofemorale Rotation, die im Gegensatz zu anderen Messinstrumenten auch

bei einliegenden Implantaten wie Interferenzschrauben oder Knieendoprothesen verwendet werden kann.

Die in dieser Studie erhobenen Messwerte werden mit steigendem Drehmoment größer. Diese Erkenntnis deckt sich mit unseren Erwartungen und den Ergebnissen anderer Studien [3]. Die Außenrotationswerte sind im Vergleich zu den Werten für die Innenrotation bei gleichem Drehmoment und Untersucher größer. Die Messergebnisse dieser Studie zeigen eine große interindividuelle Variationsbreite der tibiofemorale Rotation. Eine individuelle physiologische Variationsbreite der Rotationslaxizität wurde bereits in einigen anderen Studien beschrieben [21].

Die Resultate dieser Studie zeigen für das neue Messinstrument eine hohe Inter- und Intra-Untersucher-Reliabili-

tät für die Innen- und Außenrotation sowie für die Gesamtrotation bei fast allen applizierten Drehmomenten und sind damit die wichtigsten Daten im Hinblick auf die Arbeitshypothese dieser Studie. Insbesondere das gesamte Rotationsausmaß, d.h. Innen- und Außenrotation addiert, zeigt hoch reproduzierbare Ergebnisse. Die zuverlässigsten Resultate für die Gesamtrotation wurden bei einem Drehmoment von 10 Nm erzielt. Die Gesamtrotation besitzt den Vorteil unabhängig von der Neutral- bzw. Startposition der Rotation zu sein. Ferner werden die Messungen bei einem Drehmoment von 10 Nm hypothetisch weder durch eine zufällig kurz überhöhte Muskelanspannung noch durch einen erhöhten Messfehler aufgrund von massiver Weichteilbewegung beeinflusst.

Innenrotation	5 Nm	10 Nm	15 Nm
ICC	0.94	0.97	0.98
Außenrotation	5 Nm	10 Nm	15 Nm
ICC	0.94	0.95	0.95
Gesamtrotation	5 Nm	10 Nm	15 Nm
ICC	0.96	0.97	0.88

Tabelle 3 Inter-Untersucher-Reliabilität für Innen- und Außenrotation sowie Gesamtrotation bei 5 Nm, 10 Nm und 15 Nm (ICC = Intraclass-Correlation-Coefficient)

	Gesamtrotation [°]		
	5 Nm	10 Nm	15 Nm
Rechtes Knie	61.1 ± 2.8	95.0 ± 3.5	115.6 ± 4.5
Linkes Knie	63.9 ± 3.1	98.7 ± 3.7	120.8 ± 4.8
	Pearson Korrelationskoeffizient		
	5 Nm	10 Nm	15 Nm
Rechts vs. Links	0.95	0.97	0.98

Tabelle.4 Gesamtrotation [°] (Innen- plus Außenrotation) im Seitenvergleich (Mittelwerte und Standardabweichungen; Pearson-Korrelationskoeffizient)

Im Seitenvergleich zeigte sich für alle definierten Drehmomentwerte (5, 10 und 15 Nm) eine hohe Korrelation zwischen den Messwerten für das rechte Knie und denen für das linke Knie. Dies könnte benutzt werden, um mögliche Unterschiede der Rotationsfähigkeit eines verletzten Beines im Vergleich zur kontralateralen, gesunden Seite zu messen.

Im direkten Vergleich der ICC-Werte zwischen der Inter- und Intra-Untersucher-Reliabilität fällt auf, dass die ICC-Werte für die Inter-Untersucher-Reliabilität für die Innen- und Außenrotation sowie die Gesamtrotation für alle gemessenen Drehmomentwerte über denen für die Intra-Untersucher-Reliabilität liegen. Es besteht folglich eine höhere Korrelation der Messwerte zwischen den beiden Untersuchern als zwischen den beiden Messtagen bei gleichem Untersucher. Dies lässt sich mit einem möglichen Gewöhnungseffekt der Probanden am Nachuntersuchungstermin erklären. Des Weiteren sind geringe Abweichungen in der Positionierung der Probanden

auf der Untersuchungsliege in Relation zum Messgerät zwischen den verschiedenen Messtagen möglich.

Die Abbildung 4 veranschaulicht die Mittelwerte der Innen- und Außenrotation der männlichen und weiblichen Testpersonen im Vergleich. Dabei zeigen sich bei den weiblichen Versuchspersonen höhere Messwerte sowohl für die Innen- als auch für die Außenrotation bei allen gemessenen Drehmomentwerten im Vergleich zu den männlichen Probanden. Je größer das Drehmoment, desto größer ist die Differenz der Messwerte zwischen den Geschlechtern. In Bezug auf geschlechtsspezifische Unterschiede der tibiofemorale Rotationslaxität liegen in der Literatur keine absoluten Messwerte vor, die unsere Resultate bestätigen oder widerlegen. Verschiedene Autoren beschreiben jedoch, dass Frauen im Vergleich zu Männern eine größere Laxität der Kniegelenke besitzen [5, 20]. Dies beruht auf physiologischen und anatomischen Differenzen zwischen den Geschlechtern. Frauen zeigen ebenso eine höhere Inzidenz an Bänder-

verletzungen des Kniegelenkes als Männer [1]. Die Gelenklaxität der Frauen scheint unter dem Einfluss weiblicher Geschlechtshormone zu stehen [6]. Demnach ist das Geschlecht als ein Einflussfaktor auf die tibiofemorale Rotation anzusehen.

Das in dieser Studie getestete Messinstrument vermag wertvolle Informationen bei der Untersuchung VKB-insuffizienter Kniegelenke oder bei Verletzungen von posterolateralen Strukturen des Kniegelenks zu geben. Die Rotationsstabilität spielt eine wichtige Rolle bei der Wiederherstellung einer normalen Kniefunktion nach einer VKB-Plastik [11, 23]. Die Langzeitergebnisse einer Einbündelrekonstruktion nach VKB-Ruptur sind in der Regel gut [13]. Dennoch korreliert eine objektiv gut wiederhergestellte Stabilität in anteroposteriorer Richtung nicht mit der Patientenzufriedenheit und dem klinischen Outcome nach einer VKB-Einbündelrekonstruktion [12]. Dies unterstreicht die Wichtigkeit der Wiederherstellung der Rotationsstabilität und deren objektive Beurteilung durch ein

Messgerät nach VKB-Ruptur im Hinblick auf eine funktionelle Genesung und Prävention der Osteoarthritis.

Im Rahmen weiterer Untersuchungen zeigte das Rotameter in einer Studie an humanen Kniepräparaten im Vergleich zu einem Knie-navigationssystem als Standardmethode ebenfalls eine hohe Korrelation der Messwerte [17]. Nach Resektion des vorderen Kreuzbandes sowie nach isolierter Resektion des posterolateralen Bündels des vorderen Kreuzbandes fiel eine signifikante Erhöhung der Messwerte für die tibiofemorale Rotation im Vergleich zum intakten vorderen Kreuzband auf [16]. Im Rahmen einer retrospektiven Studie mit 52 Patienten zeigten sich bei postoperativen Messungen der tibiofemorale Rotation nach Rekonstruktion des vorderen

Kreuzbandes mittels einer transtibialen Einzelbündel-Plastik (BPTB) im Vergleich zur gesunden kontralateralen Seite keine signifikanten Unterschiede [15].

Schlussfolgerung

Das Rotameter ist ein neu entwickeltes, objektives und nicht invasives Messgerät zur Erfassung der tibiofemorale Rotation. Mit dem Rotameter lassen sich Messwerte mit einer hohen Inter- sowie Intra-Untersucher-Reliabilität für die tibiofemorale Rotation des Kniegelenks bestimmen. Es ist einfach zu bedienen und könnte daher zur Untersuchung der Rotationsstabilität des Kniegelenks breite Anwendung finden. Es zeigt ebenfalls eine hohe Korrelation

der Messwerte im Seitenvergleich. Dies könnte genutzt werden, um eine mögliche Rotationsinstabilität eines verletzten Kniegelenks im Vergleich zur kontralateralen, gesunden Seite zu detektieren. Im Rahmen einer prä- und postoperativen Knieevaluation könnte es objektive Messwerte über das Resultat von Kapselbandrekonstruktionen in Bezug auf die Wiederherstellung der Rotationsstabilität geben. OUP

Korrespondenzadresse

Dr. med. Matthias Brockmeyer
Assistenzarzt
Klinik für Orthopädie und
orthopädische Chirurgie
Universitätsklinikum Saarlands
Kirrberger Straße, Geb. 37
66421 Homburg/Saar
E-Mail: matthias.brockmeyer@uks.eu

Literatur

- Agel J, Arendt EA, Bershadsky B: Anterior cruciate ligament injury in national collegiate athletic association basketball and soccer: a 13-year review. *Am J Sports Med* 33 (2005):524–530
- Aglietti P, Giron F, Cuomo P, Losco M, Mondanelli N: Single-and double-incision double-bundle ACL reconstruction. *Clin Orthop Relat Res* 454 (2007):108–113
- Almquist PO, Arnbjornsson A, Zatterstrom R, Ryd L, Ekdahl C, Friden T: Evaluation of an external device measuring knee joint rotation: an in vivo study with simultaneous Roentgen stereometric analysis. *J Orthop Res* 20 (2002):427–432
- Beighton P, Solomon L, Soskolne CL: Articular mobility in an African population. *Ann Rheum Dis* 32 (1973):413–418
- Beynon BD, Bernstein IM, Belisle A, Brattbakk B, Devanny P, Risinger R, Durrant D: The effect of estradiol and progesterone on knee and ankle joint laxity. *Am J Sports Med* 33 (2005):1298–1304
- Beynon BD, Johnson RJ, Braun S, Sargent M, Bernstein IM, Skelly JM, Vacek PM: The relationship between menstrual cycle phase and anterior cruciate ligament injury: a case-control study of recreational alpine skiers. *Am J Sports Med* 34 (2006):757–764
- Buoncristiani AM, Tjoumakaris FP, Starman JS, Ferretti M, Fu FH: Anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 22 (2006):1000–1006
- Daniel DM, Malcom LL, Losse G, Stone ML, Sachs R, Burks R: Instrumented measurement of anterior laxity of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 67 (1985):720–726
- Fu FH, Shen W, Starman JS, Okeke N, Irrgang JJ: Primary anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: a preliminary 2-year prospective study. *Am J Sports Med* 36 (2008):1263–1274
- Ganko A, Engebretsen L, Ozer H: The rolimeter: a new arthrometer compared with the KT-1000. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 8 (2000):36–39
- Georgoulis AD, Ristanis S, Chouliaras V, Moraiti C, Stergiou N: Tibial rotation is not restored after ACL reconstruction with a hamstring graft. *Clin Orthop Relat Res* 454 (2007):89–94
- Kocher MS, Steadman JR, Briggs KK, Strettt WI, Hawkins RJ: Relationships between objective assessment of ligament stability and subjective assessment of symptoms and function after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 32 (2004):629–634
- Lebel B, Hulet C, Galaud B, Burdin G, Locker B, Vielpeau C: Arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament using bone-patellar tendon-bone autograft: a minimum 10-year follow-up. *Am J Sports Med* 36 (2008):1275–1282
- Loomer RL: A test for knee posterolateral rotatory instability. *Clin Orthop Relat Res* 235 (1991):235–238
- Lorbach O, Kieb M, Brogard P, Maas S, Pape D, Seil R: Static rotational and sagittal knee laxity measurements after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2011)
- Lorbach O, Pape D, Maas S, Zerbe T, Busch L, Kohn D, Seil R: Influence of the anteromedial and posterolateral bundles of the anterior cruciate ligament on external and internal tibiofemoral rotation. *Am J Sports Med* 38 (2010):721–727
- Lorbach O, Wilmes P, Maas S, Zerbe T, Busch L, Kohn D, Seil R: A non-invasive device to objectively measure tibial rotation: verification of the device. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 17 (2009):756–762
- Losee RE: Concepts of the pivot shift. *Clin Orthop Relat Res* (1983) 45–51
- Musahl V, Bell KM, Tsai AG, Costic RS, Allaire R, Zantop T, Irrgang JJ, Fu FH: Development of a simple device for measurement of rotational knee laxity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15 (2007):1009–1012
- Schmitz RJ, Ficklin TK, Shimokochi Y, Nguyen AD, Beynon BD, Perrin DH, Shultz SJ: Varus/valgus and internal/external torsional knee joint stiffness differs between sexes. *Am J Sports Med* 36 (2008):1380–1388
- Shultz SJ, Shimokochi Y, Nguyen AD, Schmitz RJ, Beynon BD, Perrin DH: Measurement of varus-valgus and internal-external rotational knee laxities in vivo--Part II: relationship with anterior-posterior and general joint laxity in males and females. *J Orthop Res* 25 (2007):989–996
- Slocum DB, James SL, Larson RL, Singer KM: Clinical test for anterolateral rotary instability of the knee. *Clin Orthop Relat Res* (1976) 63–69
- Tashman S, Collon D, Anderson K, Kolo-wich P, Anderst W: Abnormal rotational knee motion during running after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 32 (2004):975–983
- Zarins B, Rowe CR, Harris BA, Watkins MP: Rotational motion of the knee. *Am J Sports Med* 11 (1983):152–156