Eine neue In-vivo-Methode zur dreidimensionalen Analyse femoraler Bewegungen im Kniegelenk

M. Siebert, K.-H. Englmeier, R. v. Eisenhart-Rothe[3], C. Bringmann[1], F. Eckstein[1], H. Bonél[2], M. Reiser[2], H. Graichen[3]

Institut für Medizinische Informatik
GSF Neuherberg, 85764 Oberschleißheim
[1]Forschungsgruppe Muskuloskeletales System, Anatomische Anstalt
Ludwig-Maximilians-Universität, 80336 München
[2]Institut für Klinische Radiologie, Klinikum Großhadern
Ludwig-Maximilians-Universität, 81377 München
[3]Orthopädische Universitätsklinik Friedrichsheim
Johann Wolfgang Goethe Universität, 60528 Frankfurt
Email: siebert@gsf.de

Zusammenfassung. Mit der folgenden Arbeit soll gezeigt werden, dass es, durch den simultanen Einsatz der offenen MRT in Verbindung mit dreidimensionalen Bildverarbeitungsmethoden, möglich ist, am Lebenden den Einfluss der Gelenkstellung und der Muskelaktivität auf das Translationsverhalten der Femurkondylen im Kniegelenk zu quantifizieren. Nach Bilddatenakquirierung, Segmentierung, Interpolation und dreidimensionaler Rekonstruktion von Femur, Tibia, Fibula, Patella, Innen- und Außenmeniskus wurde ein auf das Tibiaplateau bezogenes Koordinatensystem eingeführt. Für die Analyse der femoralen Bewegung wurde eine reproduzierbare Epikondylarachse bestimmt. Bei der Flexion des Kniegelenks zeigte sich eine posteriore Translation der Femurkondylen.

1 Einleitung

In der folgenden Arbeit wurde unter Verwendung der offenen MRT eine Technik zur dreidimensionalen Analyse der Translation und Rotation der Femurkondylen in Relation zum Tibiaplateau in verschiedenen Beugestellungen des Kniegelenks entwickelt.

In-vivo-Untersuchungen zur Quantifizierung der Translation des Kniegelenkes am Menschen verwenden unter anderem die konventionelle Radiographie [1,2]. Diese besitzt jedoch aufgrund der Tatsache, dass es sich um ein zweidimensionales Verfahren handelt, bei dem es zu Superpositionierungsartefakten kommt, nur eine begrenzte Aussagefähigkeit [3]. Neuere Untersuchungen konnten zeigen, dass mit Hilfe der offenen MRT in Verbindung mit dreidimensionalen Bildverarbeitungsmethoden eine Untersuchung von Gelenken in verschiedenen funktionellen Positionen und insbesondere unter dem Einfluss von Muskelaktivität erfolgen kann [4,5,6]. Mit der folgenden Arbeit sollte, unter Verwendung der offenen MRT, eine Technik zur dreidimensionalen Analyse der Translation der Femurkondylen in Relation zum Tibiaplateau in verschiedenen Beugestellungen entwickelt werden.

2 Material und Methode

Zur Bilddatenakquirierung wurde ein offenes MRT-System (0,2T, Magnetom Open, Siemens, Erlangen) verwendet. Es kam eine optimierte, T1 gewichtete 3D Gradienten Echosequenz zum Einsatz. Es wurden Datensätze in sagittaler Ausrichtung akquiriert (Untersuchungszeit: 4min, 26 sek). Um Bewegungsartefakte zu vermeiden, wurde an der Lagerungsschiene eine Kontaktfläche angebracht, mit der der Proband über die gesamte Akquirierungsdauer Berührung halten musste.

Nach Bilddatenakquirierung erfolgte eine halbautomatische Segmentierung von Femur, Tibia, Fibula, Patella, Innen- und Außenmeniskus, sowie des hinteren und vorderen Kreuzbandes, basierend auf einem grauwert-orientierten Region-Growing-Algorithmus. Nach anschließender trilinearer Interpolation erfolgte schließlich eine dreidimensionale Rekonstruktion der genannten Strukturen.

Zur Quantifizierung der Translation und Rotation der Femurkondylen in Relation zum Tibiaplateau wurde als Bezugssystem ein auf das Tibiaplateau bezogenes Koordinatensystem eingeführt. Dazu wurden die Koordinatenachsen mittels einer 3D Hauptachsentransformation der Gelenkfläche des Tibiaplateaus bestimmt. Der Schwerpunkt des Tibiaplateaus bildet dabei den Ursprung dieses Koordinatensystems (Abb. 1).

Für die Analyse der femoralen Bewegung wurde für jeden Femur eine reproduzierbare Epikondularachse bestimmt. Die Berechnung dieser Achse erfolgte halbautomatisch, basierend auf einem Oberflächenfitalgorithmus, der für jeden Femurkondylus eine optimal angepasste Halbzylinderoberfläche berechnet. Dazu werden die medialen und lateralen Anteile des Femurs als Konturen in sagittaler Ebene zu einem medialen bzw. lateralen Summenbild aufaddiert. In jedem Summenbild markiert der Benutzer interaktiv einen Startradius, der als Grundlage für die Berechnung der an den medialen bzw. lateralen Femurkondylus angepassten Halbzylinderoberfläche dient (Abb. 2). Die Epikondularachse entsteht durch die Verbindung der Zylindermittelpunkte (Abb. 3).

Die Reproduzierbarkeit dieser Methode wurde geprüft, indem an einem Kniegelenk sechsmal diese Oberflächenberechnung durchgeführt wurde.

3 Ergebnisse

Bei der Flexion von 30° auf 90° zeigte sich unter extendierender Muskelaktivität eine posteriore Translation der Femurkondylen. Unter flektierender Muskelaktivität ließ sich ebenfalls eine posteriore Translation nachweisen.

Es konnte gezeigt werden, dass es, durch den simultanen Einsatz der offenen MRT in Verbindung mit dreidimensionalen Bildverarbeitungsmethoden, möglich ist, am Lebenden den Einfluss der Gelenkstellung und der Muskelaktivität auf das Translationsverhalten der Femurkondylen im Kniegelenk zu quantifizieren.

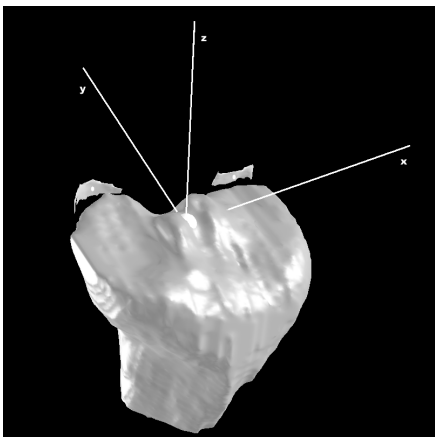

Abb. 1. Darstellung der rekonstruierten Tibia mit den Hinterkanten der Meniskushinterhörner. Die drei Achsen bilden ein auf das Tibiaplateau bezogenes Koordinatensystem.

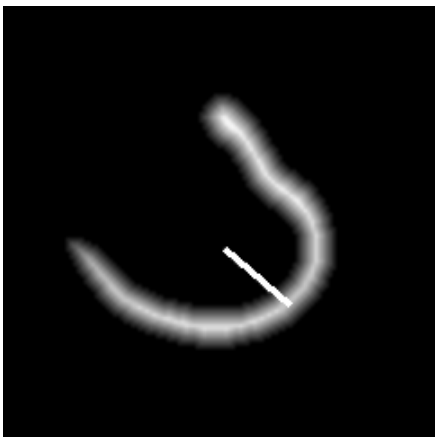

Abb. 2. Sagittales Summenbild der Konturen des medialen Femurs, sowie Startradius für die Bestimmung einer Halbzylinderoberfläche.

Die Bedeutung der Erfassung der physiologischen Translation und die Differenzierung von einer pathologischen Translation besitzt eine hohe klinische Relevanz im Hinblick auf die Prävention von sekundären Meniskus- und Knorpelschäden. Bislang beschränkte sich die Bestimmung der Translation mit konventioneller Röntgentechnik auf zweidimensionale Analysen. Die Verwendung eines offenen MRT-Systems erlaubt es, das Gelenk in verschiedenen Funktionsstellungen zu untersuchen. Mit Hilfe dreidimensionaler Bildverarbeitungstechniken sind, im Gegensatz zu zweidimensionalen Methoden, Untersuchungen unabhängig von der ursprünglichen Schichtebene möglich, was somit die Durchführung longitudinaler und transversaler Vergleichsstudien erlaubt.

4 Ausblick

Zur Zeit durchgeführte Untersuchungen an Patienten mit Kreuzbandläsionen werden zeigen, ob eine muskuläre Insuffizienz nach Kreuzbandruptur zu einer vermehrten Translation führt und damit eine Ursache für die Entstehung von Sekundärschäden sein kann. Umgekehrt kann aber auch die Kompensationsfähigkeit der Muskulatur für das Kniegelenk nach traumatischen Schädigungen quantitativ erfasst werden. Zusammenfassend steht mit der offenen MRT in Verbindung mit dreidimensionalen Bildverarbeitungsmethoden ein Verfahren zur Verfügung, mit dem neben der Bewegungsanalyse der knöchernen Komponenten auch das Translationsverhalten der Menisken analysiert werden kann. In Zukunft kann diese Technik zur Bestimmung der Gelenk- und Meniskusinstabilität bei Patienten mit anteriorer Instabilität des Kniegelenkes unter physiologischer neuromuskulärer Kontrolle eingesetzt werden.

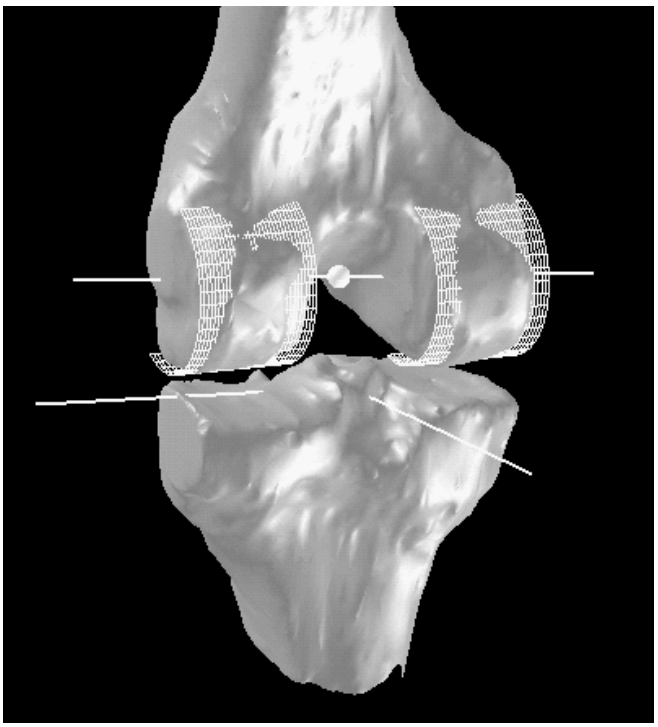

Abb. 3. An medialen und lateralen Femurkondylus angepasste Halbzylinderoberflächen und daraus ermittelte Epikondularachse, sowie rekonstruierte Tibia mit erster und zweiter Hauptachse des Tibiaplateaus.

5 Literatur

1. Rijke AM, Goitz HT, McCue FC, et al.: Graded stress radiography of injured anterior cruciate ligaments. Invest Radiol 26: 926–33, 1991.
2. Steiner ME, Brown C, Zarins B, et al.: Measurement of anterior-posterior displacement of the knee. A comparison of the results with instrumented devices and with clinical examination. J Bone Joint Surg 72: 1307–15, 1990.
3. Markolf KL, Mensch JS, Amstutz HC: Stiffness and laxity of the knee – the contributions of the supporting structures. A quantitative in vitro study. J Bone Joint Surg 58: 583–94, 1976.
4. Graichen H, Bonél H, Stammberger T, et al.: A technique for determining the spatial relationship between the rotator cuff and the subacromial space in arm abduction using MRI and 3D image processing. Magn Reson Med 40: 640–3, 1998.
5. Graichen H, Stammberger T, Bonél H, et al.: Glenohumeral translation during active and passive elevation of the shoulder – a 3D open MRI study. J Biomech, 1999, im Druck.
6. Graichen H, Stammberger T, Bonél H, et al.: Magnetic Resonance based motion analysis of the shoulder during elevation. Clin Orthop, 1999, im Druck.