

Generierung eines muskuloskelettalen Mehrkörpermodells des Tibiofemoralgelenks basierend auf experimentellen Untersuchungen am Humanpräparat mittels 6-Freiheitsgrad Gelenksimulator

Generation of a musculoskeletal multibody model of the tibiofemoral joint based on experimental studies on a human specimen using a sixdegree of freedom joint simulator

Paul Henke (1), Johanna Meier (1), Leo Ruehrmund (1), Saskia Brendle (2, 3), Sven Krueger (3), Thomas M. Grupp (2, 3), Christoph Woernle (4), Christoph Lutter (1), Rainer Bader (1), Maeruan Kebbach (1)

¹ Universitätsmedizin Rostock, Orthopädische Klinik und Poliklinik, Rostock, Deutschland

² Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Ludwig-Maximilians-Universität München, Deutschland

³ Aesculap AG, Research & Development, Tuttlingen, Deutschland

⁴ Universität Rostock, Lehrstuhl für Technische Mechanik/Dynamik, Rostock, Deutschland

Kurzfassung

Die Kinematik und Kinetik des humanen Kniegelenks wird durch Einflussgrößen wie z.B. die Weichteilsituation stark beeinflusst. Ein wichtiger Faktor bei der Implantation von Knieendoprothesen stellt somit das Weichteilmanagement dar [1]. Ein besseres Verständnis des Weichteilmanagements erfordert eine Spezifizierung der interindividuellen Unterschiede. Um die Kinematik und Kinetik des nativen und endoprothetisch versorgten Kniegelenks zu analysieren und die Auswirkungen verschiedener Implantatdesigns untersuchen zu können, eignet sich die muskuloskelettale Mehrkörpersimulation (MMKS) [2]. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, ein Präparat-spezifisches MMKS-Modell auf Basis experimenteller Untersuchungen an einem Humanpräparat mittels Gelenksimulator zu generieren.

Dazu wurde ein natives humanes Kniepräparat (fresh-frozen) während einer passiven Knieflexion im VIVO™-Gelenksimulator (AMTI, Watertown, USA) untersucht, welcher über eine hybride Kraft-Lage-Regelung aller sechs Freiheitsgrade (FHG) verfügt. Die Ausrichtung der Koordinatensysteme und Lastübergabe erfolgte entsprechend der Grood und Suntay – Konvention [3].

Die Knochen und Knorpelflächen wurden anhand eines CT-Datensatzes des Kniepräparats segmentiert und rekonstruiert. Die Bandansatzpunkte wurden mit Hilfe des CT-Datensatzes bestimmt oder anhand von knöchernen Landmarken detektiert. Innerhalb des MMKS-Modells wurden Femur und Tibia über ein Gelenk mit einer rheonomen und fünf skleronomen Bindungen modelliert. Der Knieflexionswinkel als rheonomer FHG konnte somit zu jedem Zeitpunkt vorgegeben werden, während sich die verbleibenden fünf skleronomen FHG entsprechend des dynamischen Gleichgewichtszustands einstellten. Zwischen den tibialen und femoralen Knorpelflächen wurde ein Kontaktmodell implementiert. Die Bänder wurden als nichtlineare Federkraftelemente modelliert, wobei die Bändeigenschaften (Referenzdehnungen und Steifigkeiten) zunächst der Literatur entnommen wurden [2]. Zusätzlich wurde sowohl im Experiment als auch in dem MMKS-Modell eine konstante tibiofemorale Kompressionskraft von 50 N aufgebracht.

Die tibiofemorale Kinematik des MMKS-Modells zeigte eine gute Übereinstimmung mit den experimentell ermittelten Daten. Der root mean square error (RMSE) zwischen Experiment und Simulation lag für die Translationsbewegungen unter 1,61 mm bzw. für die Rotationen unter 2,12°.

Im Rahmen dieser Studie konnte ein Präparat-spezifisches MMKS-Modell des Tibiofemoralgelenks aufgebaut werden, wobei eine gute Übereinstimmung zwischen experimentell ermittelter und simulierter Gelenkinematik erzielt wurde. In zukünftigen Arbeiten sollen experimentell durchgeführte Laxizitätsuntersuchungen unter verschiedenen Resektionsstufen des Bandapparats dazu dienen, diesen präziser an die Physiologie des Präparates anzupassen und dessen Einfluss auf die Kniegelenkskinematik und –kinetik zu quantifizieren. Dies soll dazu beitragen, die Erkenntnisse für ein individuell angepasstes Weichteilmanagement im Rahmen der Knieendoprothesen-Implantation vertiefen zu können.

Literatur

- [1] Matsuda, S., *Ligament balancing in total knee arthroplasty - Medial stabilizing technique*, ASIA-PACIFIC JOURNAL OF SPORTS MEDICINE, ARTHROSCOPY, REHABILITATION AND TECHNOLOGY. (2015), doi: 10.1016/j.asmart.2015.07.002
- [2] Kebbach, M. et al, *Musculoskeletal Multibody Simulation Analysis on the Impact of Patellar Component Design and Positioning on Joint Dynamics after Unconstrained Total Knee Arthroplasty*, MATERIALS. (2020), doi: 10.3390/ma13102365
- [3] Grood, E. S., Suntay, W. J., *A Joint Coordinate System for the Clinical Description of Three-Dimensional Motions: Application to the Knee*, JOURNAL OF BIOMECHANICAL ENGINEERING: (1983), doi: 10.1115/1.3138397





Abbildung 1: Experimentelles Setup am VIVO™ Gelenksimulator (links) und muskuloskelettales Mehrkörpermodell der unteren Extremität mit implementierten Bandstrukturen (rechts).

DuEPublico

Duisburg-Essen Publications online

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN

Offen im Denken

ub | universitäts
bibliothek

In: Zehnte IFToMM D-A-CH Konferenz 2024

Dieser Text wird via DuEPublico, dem Dokumenten- und Publikationsserver der Universität Duisburg-Essen, zur Verfügung gestellt. Die hier veröffentlichte Version der E-Publikation kann von einer eventuell ebenfalls veröffentlichten Verlagsversion abweichen.

DOI: 10.17185/duepublico/81693

URN: urn:nbn:de:hbz:465-20240304-130350-6



Dieses Werk kann unter einer Creative Commons Namensnennung - Nicht kommerziell 4.0 Lizenz (CC BY-NC 4.0) genutzt werden.