

Experimentelle Bestimmung eines anisotropen Materialparametermodells equiner Spongiosa in Vorbereitung auf numerische Analysen

VIII. Münchener Symposium für experimentelle Orthopädie, Unfallchirurgie und muskuloskeletale Forschung, München, 02.03.-03.03.2018

J. Lang^{1,2*}, P. Foehr², C. von Deimling², S. Deile³, M. van Griensven¹, R. Burgkart², D. Barnewitz⁴

- 1) Experimentelle Unfallchirurgie, Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, Ismaninger Straße 22, 81675 München
- 2) Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, Ismaninger Straße 22, 81675 München
- 3) Königsee Implantate GmbH, Am Sand 4, 07426 Allendorf
- 4) fzm GmbH, Tierärztliche Klinik, Geranienweg 7, 99947 Bad Langensalza

Motivation

Die Konstruktion und Auslegung biomechanischer Prüfstände wird durch die Anwendung numerischer Analysemethoden maßgeblich unterstützt. Da in biomechanischen Studien nicht nur Human-, sondern auch Tierpräparate für vorklinische Studien verwendet werden, muss ein Prüfstand an das entsprechend breite geometrische und mechanische Spektrum angepasst werden. Als stärkster Vertreter der Tiermodelle und daher die größte Herausforderung für die biomechanische Prüfung wurde die Spezies Pferd in dieser Studie festgelegt. Im Speziellen sollen **Materialparameter des equinen spongiösen Knochens** bestimmt werden, die nicht aus der Literatur abgeleitet werden können, um eine numerische Validierung eines neuentwickelten Torsionsprüfstands zu ermöglichen.

Prüfkörpergewinnung

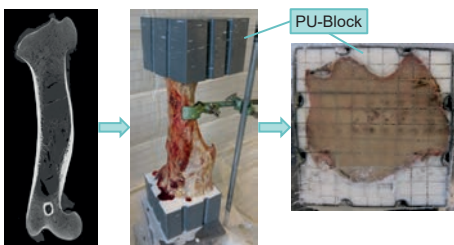


Abb.1: (links) CT des equinen Humerus (TUM Radiologie); (Mitte) Epiphyseneinbettung; (rechts) Gitterstruktur im PU-Block

- Computertomographie des equinen Humerus zur Überprüfung auf Unversehrtheit und Bestimmung des Bereichs kompetenter Spongiosa
- Konstruktion angepasster Einbettungsformen und Herstellung mit dem 3D-Drucker
- Reproduzierbare Ausrichtung des Knochens mittels Lasermarken anhand markanter Geometrien
- Einbettung der Epiphyse in Polyurethan (PU)
- Erzeugung einer Gitterstruktur durch parallele Schnitte in der Transversal- und Sagittalebene mittels einer Bandsäge im proximalen PU-Block
- Gewinnung der Spongiosawürfel (12x12x12 mm³) durch parallele Schnitte orthogonal zur Knochenachse in Anlehnung an [1]
- Visuelle Überprüfung und Sortierung der erhaltenen Würfel

Quasistatische Prüfung

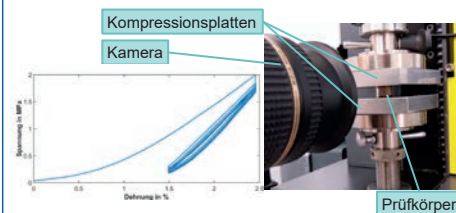


Abb.2: (links) exemplarisches Spannungs-Dehnungsdiagramm des Prüfverlaufs über 5 Zyklen; (rechts) Observationsaufbau mit Kamera zur Bestimmung der lateralen Ausdehnung unter Kompression

- Zerstörungsfreie Kompression mit uniaxialer Zug/Druckmaschine (Zwick/Roell, ZwickLine Z2.5)
- Prüfungsparameter: Prüfgeschwindigkeit 2 mm/s, 5 s Halten an den Umkehrpunkten, 5 Zyklen zw. 1,5% und 2,5% Dehnung (unkorrigiert), Vorkraft 5 N
- 4 Zyklen zur Vorkonditionierung des Prüfkörpers
- 5. Zyklus zur Auswertung von E-Modul und
- 47 Spongiosawürfel wurden in 3 Raumrichtungen getestet
- 129 Kompressionsprüfungen zur Ermittlung des E-Moduls und 12 Prüfungen inklusive Aufbau zur optischen Erfassung zur Ermittlung der Querdehnungszahl
- Querdehnungszahlbestimmung durch Vergleich der lateralen Ausdehnung und Kompression zwischen belastetem und unbelastetem Zustand

Statistische Auswertung

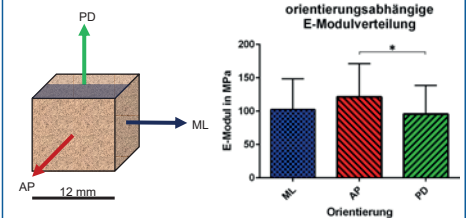


Abb.3: (links) schematische Darstellung der untersuchten Orientierungen der Spongiosawürfel inklusive der Orientierungsmarkierung; (rechts) Ergebnisübersicht der E-Modulbestimmung (*Signifikanz: p<0,05)

- Auswertung der Versuche in drei orthogonalen Richtungen bezogen auf die Knochenorientierung im Pferdekörper
ML: medial-lateral
AP: anterior-posterior
PD: proximal-distal
- E-Modul (Mittelwert±Stabw.)
ML: 102±45 MPa
AP: 121±49 MPa
PD: 96±42 MPa
- One-way ANOVA mit Tukey's post-hoc Test ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen den E-Modulen der Richtung AP und PD
- Ermittlung der Querdehnungszahl zu 0,15±0,08
- Keine Identifizierung einer Richtungsabhängigkeit im Bezug auf die Querdehnungszahl

Schlussfolgerung

Die Richtungsabhängigkeit des E-Moduls weist in der Struktur equiner Spongiosa auf eine Anisotropie hin. Je nach Genauigkeit der Anwendung muss bei der numerischen Auswertung des Prüfstands folglich ein **anisotropes Materialparametermodell** für den spongiösen Pferdeknochen verwendet werden. Zusätzlich bestätigt diese Studie die Anwendbarkeit einer orientierungsspezifischen Spongiosaprüfung basierend auf dieser Methodik.

Literatur

[1] Ciarelli, M. J., Goldstein, S. A., Kuhn, J. L., Cody, D. D. and Brown, M. B. (1991), Evaluation of orthogonal mechanical properties and density of human trabecular bone from the major metaphyseal regions with materials testing and computed tomography. J. Orthop. Res., 9: 674 – 682.

Risk and feasibility study for the treatment of equine femur fractures with a specialized intramedullary osteosynthesis nail

VII. Münchener Symposium für experimentelle Orthopädie, Unfallchirurgie und muskuloskeletale Forschung, München, 21.07.-22.07.2017

J. Lang^{1,2*}, P. Foehr², C. von Deimling², S. Deile³, H. Lindner³, D. Barnewitz⁴, C. Lischer⁵, M. van Griensven¹, R. Burgkart²

- 1) Experimentelle Unfallchirurgie, Klinik und Poliklinik für Unfallchirurgie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, Ismaninger Straße 22, 81675 München
- 2) Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München, Ismaninger Straße 22, 81675 München
- 3) Königsee Implantate GmbH, Am Sand 4, 07426 Allendorf
- 4) fzmb GmbH, Tierärztliche Klinik, Geranienweg 7, 99947 Bad Langensalza
- 5) Klinik für Pferde, Allgemeine Chirurgie und Radiologie, Freie Universität Berlin, Oertzenweg 19 b, 14163 Berlin

Motivation

Even though there has been huge progress in the last decades concerning equine surgery, treatment of longbone fractures is still leading to unsatisfying results [1]. The weight of the animal combined with its instinct for flight and lacking immobilization possibilities are reasons for a low success rate of the often costly surgery. Considering that, the project focuses on the surgical treatment for osteosynthesis of equine femora based on intramedullary fixation. This poster presents the analysis process of the risks and challenges for the development. **Key factors of the project are feasibility of the surgery, minimizing stress for the animal and adequate mechanical stability of the implant.**

Material und Methods

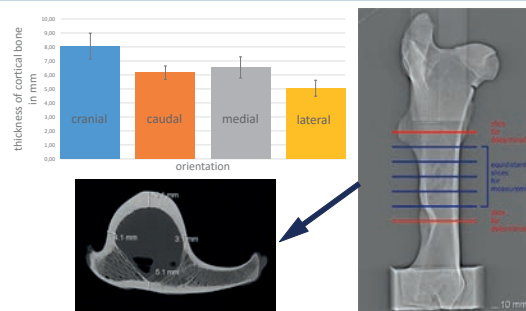


Fig.1: Thickness of the cortical bone in different directions relative to the orientation of the native bone (top left); locations of the slices (right); exemplaric measurement on CT scan (bottom left) (TUM Radiology).

In order to get a first dimensioning of the implant a simplified FE model was built and analyzed using ANSYS software (Version 17, ANSYS, Inc., USA). To get a representative value for the cortical bone thickness in the diaphysis of the equine femur, CT scans of horse femora (n=8) were evaluated at five equidistant distributed locations along the axis relative to characteristic landmarks of the bone (Fig.1). The obtained mean thickness was implemented in a model containing a bone with isometric material properties and an artificial, simplified fracture line at an angle of 45° resulting from torsional overloading (Fig.2). In a preliminary evaluation uniaxial loading was simulated along the bone axis. An intramedullary rod inside the bone was fixated proximal and distal with two bolts with constant distance to the ends.

Results

The most important factor concerning the implant is the mechanical stability.

FE-model conditions:

- Stainless steel for implantation
- Loading: GRF during trot (9,9 N/kg(BW))[2]
- 0° angular displacement of fixation bolts because of large muscular periphery

In variation of the length of nail-bone-construct no trend concerning max. von Mises stresses or deformation could be observed. Peaking stresses are always located near the bolt-implant interface (Fig.2) and below the yield strength of stainless steel for implantation (~1 GPa).

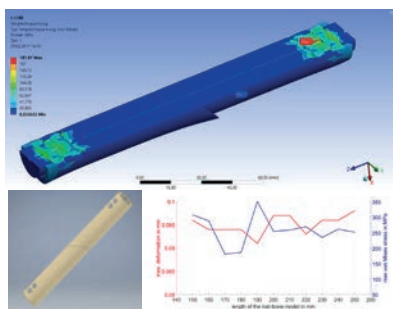


Fig.2: Sectional view of the FE-analysis of the basic bone-nail model (top); basic model in CAD-format (bottom left); plot of the max deformation and von Mises stresses from the length variation of the basic model (bottom right).

Outlook

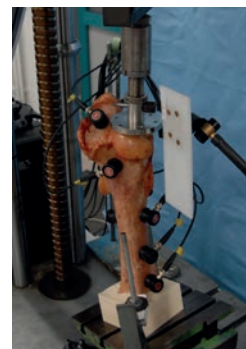


Fig.3: Uniaxial compression testing of an embedded equine femur.

The analyzed requirements for the implant as well as the preliminary simulation results should be considered and will be constantly reevaluated in subsequent development.

Future tasks:

- Implementation of the bone and implant geometry into the model for further approaching of more physiological conditions
- Consideration of properties and structures of bone for the model
- Biomechanical testing of horse femora with intramedullary nail compared to the native bone under various conditions for evaluation of the simulation (Fig.3)
- Comparative biomechanical testing (static and dynamic) of femora with intramedullary nailing secured via different fixation methods

Literature

- [1] Auer, J. A. (2016): Advances in osteosynthesis in the horse. Pferdeheilkunde 32 (2), S. 148–159
- [2] Bobbert MF, Gómez Alvarez CB, van Weeren PR, Roepstorff L, Weishaupt MA (2007) Validation of vertical ground reaction forces on individual limbs calculated from kinematics of horse locomotion. The Journal of experimental biology 210 (Pt 11): 1885–1896.