

Prothesen in der Tiermedizin

SIMULATIONEN OPTIMIEREN DEN EINSATZ VON HÜFTIMPLANTATEN BEI HUNDEN

Beim Hund ist genau wie beim Menschen der Einsatz von Hüftimplantaten eine übliche Maßnahme zur Behandlung von Gelenkdefekten. Problematisch hierbei ist das Auftreten einer Prothesenlockerung, welche bei den Patienten starke Schmerzen hervorruft und zumeist mit belastenden Revisionsoperationen verbunden ist.



Einleitung

Zur Versorgung fortgeschrittener degenerativer oder traumatischer Schädigungen von Hüftgelenken hat sich beim Hund der Einsatz von Hüftimplantaten bewährt. Dennoch stellt die aseptische, also die nicht entzündliche Lockerung der Prothese, die unter anderem durch Knochenabbauprozesse im prothetisch versorgten Oberschenkelknochen, dem so genannten Femur, verursacht wird, nach wie vor ein Problem der Hüftarthroplastik dar [1]. Diese Abbauprozesse resultieren meistens aus einer Veränderung der physiologischen Lastverteilung im caninen (vom Hund) Oberschenkelknochen.

Während in zahlreichen Arbeiten die aseptische Lockerung von caninen Prothesenkomponenten klinisch untersucht wurde, gibt es nur wenige Stu-

dien, in denen die Knochenumbauprozesse numerisch untersucht wurden [2].

Mit Hilfe der so genannten Finite-Element-Methode (FEM) kann der Knochenabbauprozess im prothetisch versorgten Oberschenkelknochen des Hundes simuliert werden. Somit können zukünftig klinische Fragestellungen wie die Prothesenlockerung bereits in der Auslegungs- und Entwicklungsphase, also vor dem Einsatz eines Hüftimplantates, beantwortet werden.

Vorgehensweise

Modellerstellung

Basierend auf den computertomografischen (CT) Daten eines vier Jahre alten Rottweilers mit einem Körpergewicht von etwa 30 Kilogramm wurde ein Oberflächenmodell des linken Femurs erstellt.

Das Tier wurde aufgrund einer anderen Grunderkrankung in der Klinik für Kleintiere der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo) eingestellt und im Rahmen der klinischen Diagnostik im CT untersucht.

Die Verteilung der Knochen-dichte im FE-Modell des betrachteten Oberschenkelknochens wurde aus den gemessenen Grauwerten der CT-Daten ermittelt. Weiterhin wurden in Abhängigkeit der Knochen-dichte die mechanischen Elastizitätseigenschaften des Knochengewebes bestimmt [2, 3].

In der Klinik für Kleintiere der TiHo wird zur Versorgung schwerer Hüftgelenkserkrankungen standardmäßig das Prothesensystem Biomécanique® eingesetzt. Daher erfolgte auch im Rahmen der hier durchgeführten numeri-

Abbildung 1
Untersuchte zementierte Prothese
Biomécanique®
Quelle: Klinik für Kleintiere, TiHo
Hannover

schen Untersuchungen zum Knochenumbau die Betrachtung dieses Prothesentyps Bioméchanique® (Abbildung 1).

Grundlegendes Prinzip der FE-Berechnung des Knochenumbaus

In Abbildung 2 wird das grundlegende Prinzip der FE-Berechnung des Knochenumbaus dargestellt und im Folgenden erläutert.

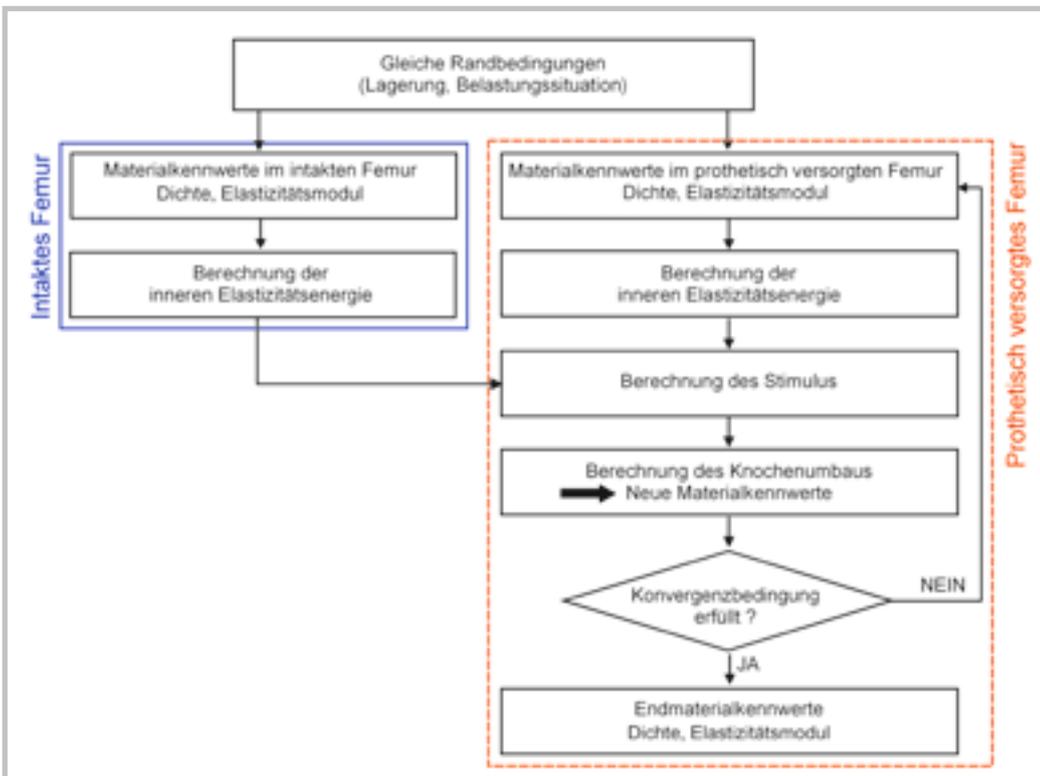
dass sie die physiologischen Verhältnisse möglichst gut widerspiegeln. Dazu ist zum einen die Kenntnis der anatomischen Gegebenheiten der zu untersuchenden Körperbereiche notwendig, zum anderen die Kenntnis von Größe und Richtung sowie von Angriffspunkten der wirkenden Kräfte.

In einem weiteren Schritt erfolgt unter Berücksichtigung der gleichen Randbedingun-

gen die Berechnung der Lastverteilung im prothetisch versorgten Femur. Daraus wird der Stimulus zum Knochenumbau durch das Verhältnis der inneren Elastizitätsenergie im prothetischen und physiologischen intakten Zustand definiert.

Anschließend werden mit Hilfe eines neu entwickelten Knochenumbaumodells (Abbildung 4) die neue Dichte und die damit verbundenen

Abbildung 2
Prinzip zur Berechnung des Knochenumbaus im prothetisch versorgten Femur
Quelle: Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover



Zwei Wissenschaftler des Instituts für Umformtechnik und Umformmaschinen erläutern zusammen mit zwei Wissenschaftlern der Klinik für Kleintiere der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover (TiHo), wie diese Probleme mit Hilfe simulationsgestützter Auslegung neuartiger Prothesen vermieden werden können.

Zunächst erfolgt in einem einmaligen Durchlauf die Erfassung der physiologischen Lastverteilung im intakten Oberschenkelknochen. Dafür wird die innere Elastizitätsenergie berechnet und dient als Referenzwert, um die Veränderung der Lastverteilung im prothetisch versorgten Femur zu beschreiben.

Für eine realistische Simulation der tatsächlichen Lastverteilung im Knochen sind die im FE-Modell benötigten Randbedingungen so gewählt,

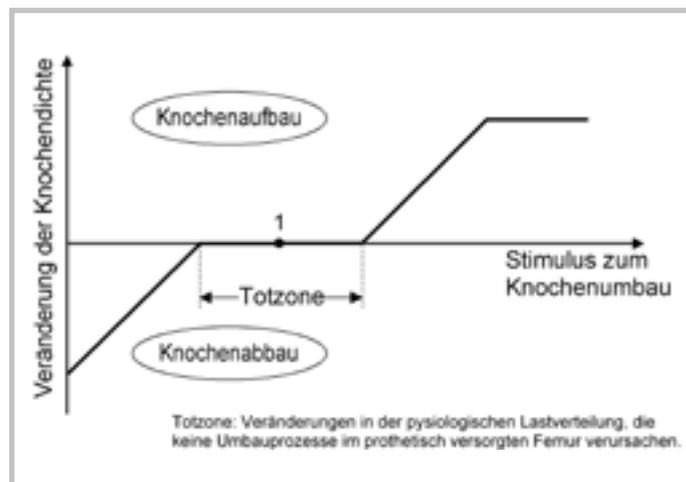


Abbildung 3
Neu entwickeltes Knochenumbaumodell
Quelle: Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover

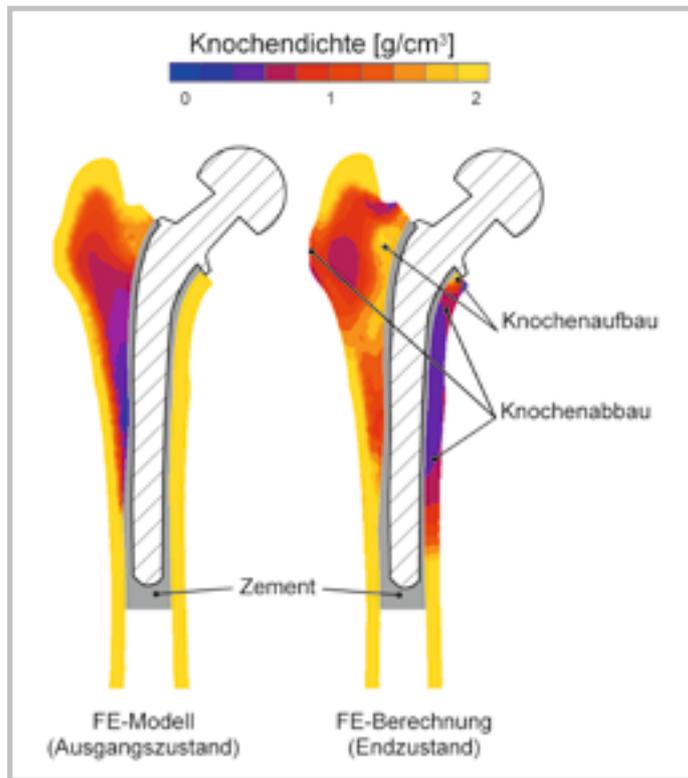


Abbildung 4
Berechnete Verteilung der Knochendichte im caninen prothetisch versorgten Oberschenkelknochen
Quelle: Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen, Leibniz Universität Hannover

Ergebnisse

In Abbildung 4 ist die Verteilung der Knochendichte im prothetisch versorgten Oberschenkelknochen dargestellt. Der Ausgangszustand in der Simulation entspricht der medizinischen Situation direkt postoperativ. Der Endzustand deutet auf die langfristige medizinische Situation postoperativ hin.

Diese Simulationsergebnisse wurden durch zahlreiche klinische Beobachtungen an Patienten aus dem Untersuchungsgut der Klinik für Kleintiere der TiHo bestätigt. So zeigen Vergleiche zwischen den FE-Berechnungen und den Röntgenbefunden (Abbildung 5) eine gute qualitative Übereinstimmung hinsichtlich der Bereiche des Knochenumbaus.

Elastizitätseigenschaften des Knochengewebes im prothetisch versorgten Femur berechnet. Hierbei handelt es sich um einen sich wiederholenden

Prozess. Die Simulation wird beendet, wenn die berechneten Veränderungen in der Knochenstruktur abgeschlossen sind.

Schlussfolgerung

Die FE-Methode findet zunehmenden Einsatz im Bereich der Medizintechnik und eignet sich für die numerische Abbildung von biomechanischen Prozessen wie dem Knochenumbau im prothetisch versorgten Oberschenkelknochen vom Hund. Damit stellt sie eine wertvolle Bewertungsmöglichkeit der Knochenstabilität nach dem Einsetzen eines Hüftimplantates dar.

Abbildung 5
Röntgenbefunde mit Darstellung der Knochenumbaubereiche im prothetisch versorgten Femur vom Hund
Quelle: Klinik für Kleintiere, TiHo Hannover



Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten wurden im Teilprojekt D6 des Sonderforschungsbereiches 599 »Zukunftsfähige bioresorbierbare und permanente Implantate aus metallischen und keramischen Werkstoffen« durchgeführt. Die Autoren danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die finanzielle Unterstützung des Projektes.



Prof. Dr.-Ing.

Bernd-Arno Behrens

Jahrgang 1964, ist seit 2003 Leiter des Instituts für Umformtechnik und Umformmaschinen an der Leibniz Universität Hannover. Er war Leiter der Abteilung Umformtechnik bei der Salzgitter AG. Im Jahr 2002 ist sein Verantwortungsbereich auf die gesamte Anwendungstechnik des Konzerns erweitert worden. Kontakt: behrens@ifum.uni-hannover.de



Dr.-Ing. Anas Bouguecha

Jahrgang 1978, ist seit 2003 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen an der Leibniz Universität Hannover und leitet dort seit 2008 die Abteilung »Numerische Methoden«. Kontakt: bouguecha@ifum.uni-hannover.de



Prof. Dr. med. vet. Ingo Nolte

Jahrgang 1952, ist seit 1988 Direktor der Klinik für Kleintiere der TiHo. Neben seiner klinischen Tätigkeit liegt der Schwerpunkt seiner Forschungsaktivitäten im Bereich Biomedizintechnik und Onkologie (Tumorgenetik). Kontakt: ingo.nolte@tiho-hannover.de



Dr. med. vet. Patrick Wefstaedt

Jahrgang 1975, ist seit 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Klinik für Kleintiere der Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover. Kontakt: Patrick.Wefstaedt@tiho-hannover.de

Literatur

- [1] Gervers M, Nolte I, Hauschild G, Meyer-Lindenberg A, Fehr M (2002): Complications after implantation of a modular total hip prostheses compared with fixed head prostheses. Berliner und Münchener Tierarztl Wochenschr 115: 412-419.
- [2] Bouguecha A (2007): Numerische und experimentelle Untersuchungen zum beanspruchungsadaptiven Knochenumbau im periprothetischen caninen Femur. Dissertation, Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen der Leibniz Universität Hannover.
- [3] Behrens BA, Bouguecha A, Stukenborg-Colsman C, Wefstaedt P, Nolte I (2009): Numerical investigations of the strain adaptive bone remodelling in the periprothetic canine femur. Berliner und Münchener Tierarztl Wochenschr 122: 391-397.