

Auf einem guten Weg: AnyBody und ANSYS in der Fußchirurgie

Die orthopädische Fußchirurgie korrigiert in erster Linie mechanische Fußprobleme, deren Diagnose für den Fußspezialisten höchste Priorität hat. Da hier klinische Untersuchungsmethoden häufig versagen, wird ein neuer Weg gegangen, der quantifizierbare und reproduzierbare Ergebnisse und auch bisher verborgene mechanische Pathologien zum Vorschein bringen kann: Reaktionskräfte und -momente sollen in allen Fußgelenken zu verschiedenen Zeitpunkten der Standphase mit Hilfe der FEM berechnet werden.

Die neue Methode zur Untersuchung eines mechanischen Problems gliedert sich in fünf Schritte: Schritt 1 – 3 sind Messungen der Kinetik, der Kinematik und der elektrischen Muskelaktivitäten im Gehen. Im 4. Schritt werden dann mit dem Programm AnyBody die Muskelkräfte errechnet, die dann im 5. Schritt mit den gemessenen Bodenreaktionskräften und Bewegungen als Randbedingungen in die ANSYS-Berechnung eingebracht werden.

Kinetik

Die kinetische Untersuchung besteht aus einer dynamischen Druckmessung auf der Druckmessplatte und der 3D Kraftmessung mit der Kraftmessplatte. Der Patient geht dabei mit frei gewählter Geschwindigkeit und trifft die Messplatten im 2. Schritt.

Kinematik

Die Bewegungsanalyse wird mit einem 3D Bewegungsanalysesystem mit 6 Kameras durchgeführt. Gemessen wird jeweils nur

die Standphase. Die Untersuchung wird immer unilateral durchgeführt. Das Marker Setup umfasst für die Standarduntersuchung 5 Segmente. Die Validierung des Setups und der Methodik wurde im Labor des Kantonsspitals Aarau im Rahmen einer Masterarbeit (ETH Zürich) durchgeführt.

Die Elektromyographie

Die Elektromyographie dient im Wesentlichen als Kontrolle im Sinne eines Post-processing im anschließenden Muscle Modelling.

Das Muscle Modelling

Für das Muscle Modelling wird das Programm AnyBody Modelling System eingesetzt. Da auf Grund des kinematischen Setups nur einseitig Daten erhoben werden, das verwendete Modell aber 2-seitig ausgelegt ist, müssen einige Änderungen vorgenommen werden, z.B. die Entfernung des Gegenbeins aus den Modellrechnungen (Bild 1). Aus MATLAB Routi-

nen werden die in der Kinematik berechneten Parameter an AnyBody übergeben und bestimmen so die Muskelkräfte aller Muskeln an der unteren Extremität.

FEM-Modelle

Der zeitliche Aufwand ein FEM-Modell eines individuellen Fußes zu erstellen, ist gross. Daher wurde aus Computertomographiedaten zunächst ein typischer Standardfuß als Grundmodell in ANSYS erstellt (Bild 2).

Um trotzdem bei den Berechnungen eine gewisse „Individualität“ zu erreichen, wird ein Scaling gemacht, das heisst, die Länge des Modellfußes wurde durch Ausmessen der Röntgenbilder der tatsächlichen Länge eines Fußes angeglichen. Ebenso werden die Stellungen der einzelnen Knochen durch Ausmessen der Röntgenbilder ins Fußmodell übertragen und im ANSYS DesignModeler entsprechend gedreht.

Die Gelenke zwischen den Knochen werden in der Regel als Scharniergelenke definiert. Die Achsen der Gelenke werden – soweit verfügbar – anhand von Angaben aus der einschlägigen Literatur gelegt. Für die kleineren Gelenke, wo meist keine sol-

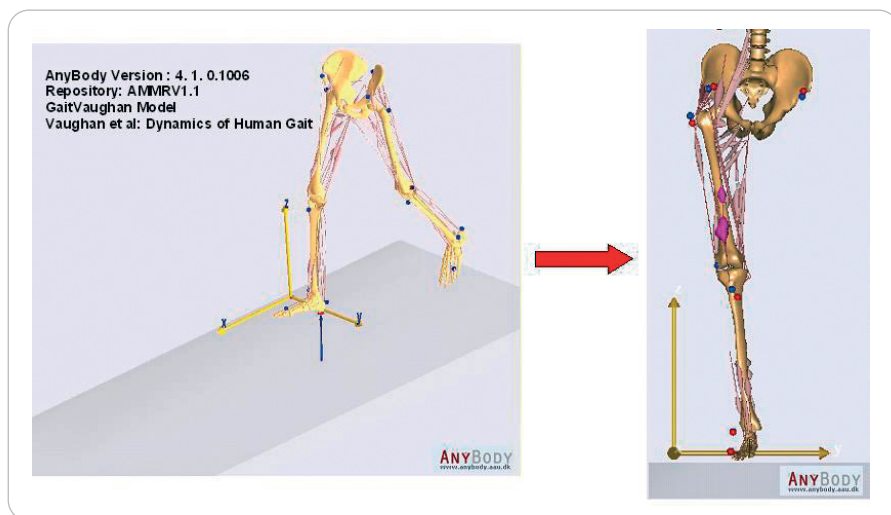


Bild 1: Anpassung des ANYBODY Modelles



Bild 2: In ANSYS vernetztes Fußmodell

chen Angaben vorhanden sind, muss der Ursprung und die Richtung der Gelenkachsen nach der vorliegenden Geometrie festgelegt werden.

Die Koordinaten der Muskelansätze und –ursprünge werden am Modell anhand der anatomischen Lage gemäss Literatur definiert. Auf Grund dessen, dass man die Gesamtkraft des Muskels aus AnyBody und den örtlichen Verlauf der Sehnen kannte, konnten im FEM-Modell die einzelnen Kraftkomponenten an Ansatz, Ursprung und auch an den Umlenkungspunkten berechnet werden.

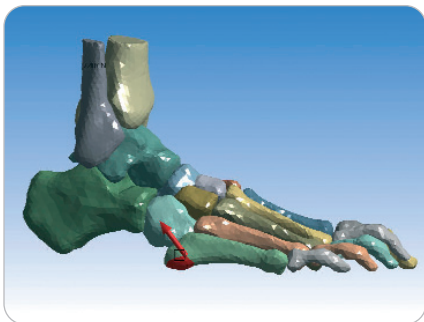


Bild 3: Anbringung von Kräften aus AnyBody

Prinzipiell wurden zum jetzigen Zeitpunkt noch quasistatische Untersuchungen durchgeführt. Das Modell wurde daher in 10 verschiedenen Standphasen durchgerechnet, wobei die Position der einzelnen Fuß-Segmente jeweils der kinematischen Messung angepasst wurde.

Die Materialeigenschaften wurden als isotrop elastisch definiert, wobei die einzelnen Knochen als Solids behandelt wurden. Diese Vereinfachung erschien zulässig, da in erster Linie nur Reaktionskräfte und Reaktionsmomente in den Gelenken berechnet wurden.

Das Neuartige an diesem Vorgehen ist, dass hier im Gegensatz zu anderen Fußmodellen die Muskelkräfte als Randbedingungen eingesetzt wurden. Insbesondere wurden auch die Krafteinwirkungen an den Umlenkpunkten der Muskeln berücksichtigt. Da zum Beispiel die Krafteinwirkung am Grosszehengrundgelenk wesentlich grösser ist als ohne, scheint das Weglassen dieser Kraftgrössen doch eine zu grobe Vereinfachung zu sein.

Noch nicht optimal beim geschilderten Vorgehen sind die lineare Berechnungsmethode, die linearen Materialeigenschaften sowie die quasistatische Betrachtungsweise und die Blockierung der Starrkörperbewegungen. Dies erlaubt nur eine Interpretation der Reaktionskräfte und Momente in den einzelnen Gelenken, ähnlich wie bei analytischen Modellen. Spannungen und Dehnungen müssen unter Vorbehalt interpretiert werden. Dagegen können die Reaktionskräfte und Momente in jedem beliebigen Gelenk am Fußskelett bestimmt werden, was beispielsweise mit AnyBody allein nicht möglich ist. Ein wesentlicher

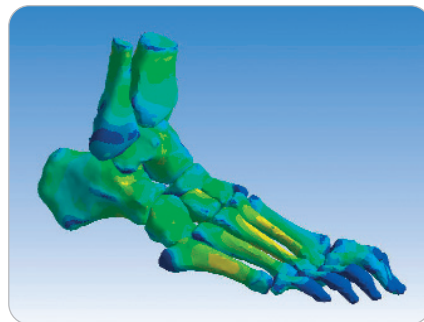


Bild 4: Beanspruchung im Fuß

Unterschied zu früheren Modellen ist auch, dass die heutigen Modelle dreidimensional sind.

Noch nehmen solche Simulationen relativ viel Zeit in Anspruch, auch wenn ein Standardfußmodell als Grundlage dient. Die Geometrieänderungen die durchgeführt werden, um die jeweilige Position eines quasistatischen Zustandes zu definieren,

müssen zum Teil noch von Hand nachbearbeitet werden. Daher liegt der Schwerpunkt dieser Simulationen in der Fußchirurgie zurzeit noch im Forschungsbereich und nur in Ausnahmefällen im klinischen Alltag. <<

Das AnyBody Modeling System

Mit der Software AnyBody lassen sich die Reaktionskräfte des Körpers, z.B. auf die Handhabung von Gegenständen berechnen. So sind etwa in der Automobilindustrie die Körperkräfte von Interesse, die bei der Betätigung des Gaspedals oder der Schaltung entstehen. Ein anderes Beispiel sind die Reaktionskräfte, die während der Bedienung eines Sportgerätes im Körper hervorgerufen werden.

Aufgrund der wertvollen Informationen, die AnyBody hinsichtlich äußerer Körperbelastungen liefert, finden sich weitere wichtige Anwendungsgebiete in der Entwicklung von Rehabilitationsgeräten und ganz allgemein für Ergonomieuntersuchungen.

Die in AnyBody verfügbaren Optimierungsalgorithmen helfen darüber hinaus für jeden Anwendungsfall diejenige Parameterkombination zu finden, welche den vorgegebenen Zweck am besten erfüllt.

Schnittstelle zu ANSYS

Über die Schnittstelle zu ANSYS lassen sich automatisch die in AnyBody ermittelten Randbedingungen, also Kräfte und Momente in den Gelenken und den Muskelansatzpunkten, auf ein FEM-Modell übertragen und eine Spannungsanalyse mittels ANSYS durchführen. In dem FEM-Modell können dann auch zusätzliche Komponenten wie z.B. Implantate berücksichtigt werden.

➡ | Autor und Ansprechpartner

Autor

Dr. med. Christian Wyss,
Leitender Arzt, Labor für Bewegungsanalyse,
Fusszentrum orthopädische Klinik,
Kantonsspital Aarau AG, und Labor für
Bewegungsuntersuchungen, Universitäts-
kinderspital beider Basel
E-Mail christian.wyss@ksa.ch

Ansprechpartner

Alexander Nolte, CADFEM GmbH Grafing
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-51
E-Mail anolte@cadfem.de

| Zusatzinformation |