

Vergleich verschiedener Geometrie- und Berechnungsmodelle des menschlichen Hirns zur Bewertung und Planung von Entlastungskraniektomien

Hans-Peter Prüfer
Ruhr-Universität Bochum, Institut für Konstruktionstechnik

Kurzfassung

Die posttraumatische Hirnschwellung führt im Falle eines konservativ nicht zu beherrschenden erhöhten Hirndrucks zu schweren neurologischen Defiziten bis zum möglichen Versterben der Patienten. Eine chirurgische Therapie besteht in einer Entfernung des Schädelknochens und Erweiterungsplastik der Hirnhaut (Entlastungskraniektomie) zu einem frühen Zeitpunkt, um die Hirndruckverhältnisse positiv zu beeinflussen.

In der Neurochirurgischen Klinik Bochum wird hierzu typischerweise eine Hemikraniektomie entsprechend der bei den malignen Hirninfarkten etablierten Technik durchgeführt. In anderen Ländern werden bei Traumen bifrontale Kraniektomien mit Durchtrennung des frontalen basalen Ansatzes der Falx cerebri mit guten postoperativen Ergebnissen verwendet. Ziel der hier vorgestellten Untersuchungen ist es, mit rechnerischen Simulationen die Ergebnisse der verschiedenen Techniken für Entlastungskraniektomien mit den zugrunde liegenden Ausdehnungswegen des geschwollenen Hirns nachzuvollziehen und zu erklären.

Eine vollständige geometrische Modellierung des Hirns ist wegen der Komplexität seiner Struktur mit realistischem Aufwand nicht zu vertreten. Den weiteren Betrachtungen werden deshalb zwei vereinfachte Geometriemodelle zu Grunde gelegt. Das erste Modell ist auf der Basis von CT entstanden und gibt daher die wesentlichen Gestaltcharakteristika gut wieder. Das Zweite vereinfacht die Hirnhälften weiter zu Ellipsoidsektoren. Diese Modelle werden zum Zweck einer FE-Analyse vernetzt, wobei sowohl der Einfluss der Geometrie als auch der Elementierungsqualität untersucht wird. Hierbei ist es das Ziel, mit einem möglichst groben Modell einen schnellen Vergleich möglicher Therapiealternativen zu erreichen. Angesichts des für eine erfolgreiche Therapie zur Verfügung stehenden sehr kleinen Zeitfensters sind Rechenzeiten in der Größenordnung von höchstens einer Minute anzustreben.

In weiteren Rechnungen werden Variationen der Randbedingungen und der Parameter der Materialgesetze betrachtet. Als besonders kritisch erweist sich die Simulation der Ausdehnungswege der Hirnmasse mit dem Kollaps der Zisternen. Im Sinne der Strukturmechanik handelt es sich dabei um eine Aufgabe mit Mehrfach- und Selbstkontakt, die zudem durch nichtlineare Materialgesetze weiter erschwert wird. Hier müssen Vereinfachungen erforderlich sein, die es erlauben, auch ohne eine vollständige numerische Analyse sinnvolle Aussagen über das Verhalten der Hirnmasse zu erhalten.

Mit diesen vorbereitenden Arbeiten soll – beispielweise durch Einbringen von fiktiven Wärmedehnungen in einer Hirnhälfte – in weiterführenden Untersuchungen die Ödemgenese rechnerisch simuliert werden.

Die ausgewählten Modellvarianten werden zur Verifikation mit vorhandenen Patientendaten abgeglichen. Auf dieser Basis wird ein „Minimalmodell“ bestimmt, mit dessen Hilfe eine Therapiebeurteilung und damit schließlich auch die Therapieplanung mit hinreichender Zuverlässigkeit möglich ist.