

**3. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
17.-18. September 2001 in
Bochum**



**„Entwicklung, Validierung und Anwendung eines Finite
Elemente Modells der menschlichen Halswirbelsäule“**

T. Pitzen, D. Barbier, J. Drumm, W. I. Steudel
Neurochirurgische Klinik, Universitätskliniken des Saarlandes, Homburg, Deutschland
E-Mail: pitzen@t-online.de

Band: Beiträge zum 3. Workshop Automatisierungstechnische Methoden und
Verfahren für die Medizin
Editors: Jürgen Werner, Martin Hexamer
ISBN: 3-00-008240-9
Pages: 16-17

Entwicklung, Validierung und Anwendung eines Finite Elemente Modells der menschlichen Halswirbelsäule

T. Pitzen, D. Barbier, J. Drumm, W. I. Steudel

Neurochirurgische Klinik, Universitätskliniken des Saarlandes, Kirrberger Straße, 66421 Homburg

E-mail: pitzen@t-online.de

EINLEITUNG

In der neurochirurgischen Forschung wurden Finite Elemente Modelle bereits eingesetzt zur Untersuchung der Hämodynamik in Aneurysmen [1] oder zur Erklärung der Blutverteilung spontaner intracerebraler Hämatome [7]. In der Wirbelsäulenforschung findet die Finite Elemente Analyse ebenfalls vereinzelt Anwendung wie zum Beispiel in der Grundlagenforschung [3, 4], zu Fragen der Bandscheibendegeneration [2] oder auch zur Beurteilung der Primärstabilität verschiedener lumbaler Osteosyntheseverfahren [6]. Lumbale Finite Elemente Modelle (FEM) wurden besonders genau beschrieben [2, 3, 6], zervikale FEM dagegen sind seltener Gegenstand der spinalen Forschung gewesen [4, 8].

Ziel der vorliegenden Arbeit war zunächst die Entwicklung und Validierung eines FEM der intakten und chirurgisch stabilisierten menschlichen Halswirbelsäule. Zukünftig soll dieses FEM dann zur ersten Analyse an neuen Halswirbelsäulenimplantaten verwendet werden.

MATERIAL UND METHODEN

Finite Elemente Modell

Aus den Rohdaten der Dünnschichtcomputertomographie des Schädels und der Halswirbelsäule einer 21-jährigen Frau wurden die Daten des Wirbelsäulenabschnittes C5-C6 mit dem Programm ANSYS 5.4 (Swanson Analysis Systems, Inc., Houston, Texas, USA) aufgearbeitet. Es wurde ein FEM C5-C6 erstellt. Die Materialkennwerte wurden aus der Literatur [5] entnommen. Ausgehend von dem FEM des intakten Segmentes wurde ein FEM entwickelt, in dem der Effekt einer ventralen Fusion und Plattenosteosynthese C5-C6 untersucht wurde (Abb.1).

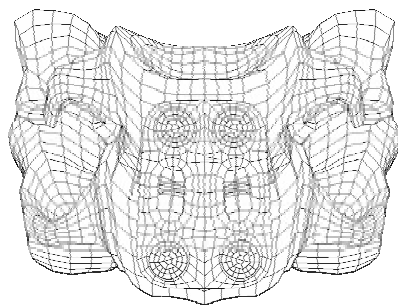


Abbildung 1: FEM C5-C6 mit Simulation der Diskektomie, Spanfusion und Plattenosteosynthese.

Die Simulation der Belastung wurde für beide FEM mit reinen Momenten von 2.5 Nm in Flexion/ Extension, axialer Rotation und Seitneigung durchgeführt. Der Bewegungsumfang im Segment C5/6 wurde berechnet.

Validierung des Finite Elemente Modells

Zur Validierung der FEM wurden die Berechnungen mit den Ergebnissen einer entsprechenden in vitro Analyse verglichen [10].

ERGEBNISSE

Finite Elemente Modell

Im intakten Segment C5/6 wurden unter Einleitung von reinen Dreh- beziehungsweise Biegemomenten von 2.5 Nm folgende Bewegungsumfänge errechnet: 7.28° in Flexion + Extension, 8.18° in axialer Rotation (Summenwerte der Links- und Rechtsrotation) und 5.2° in Seitneigung (Summenwerte der Links- und Rechtsneigung). Die Simulation der ventralen Fusion mit monokortikaler Plattenosteosynthese führte zu einer deutlichen Stabilisierung des Segmentes C5/6 in allen Belastungsmodalitäten. In Flexion – Extension wurde ein Summenwert von 2.2°, in Rotation von 3° und in Seitneigung von 2.3° berechnet.

In vitro Analyse

Die Ergebnisse der in vitro Analyse sind in Tabelle 1 aufgelistet als Mittelwert und Standardabweichung im Vergleich zu den Berechnungen durch die FEM.

Validierung des Finite Elemente Modells

Die durch die FEM errechneten Werte lagen immer innerhalb der einfachen Standardabweichung der Ergebnisse des in vitro Versuches (Tab. 1).

Tab. 1: Ergebnisse der in vitro Versuche (Mittelwert und Standardabweichung) und der Finite Elemente Modelle (FEM).

	In vitro (intakt)	FEM (intakt)	In vitro (stabilisiert)	FEM (stabi- lisiert)
Flexion/ Extension	9.8 ± 2.7°	7.3	1.2 ± 1.0	2.2
Rotation	10.3 ± 4.0°	8.2	2.3 ± 1.2	3.0
Seitneigung	8.1 ± 2.9°	5.2	1.4 ± 1.0	2.3

DISKUSSION

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Entwicklung eines FEM eines intakten und stabilisierten humanen Halswirbelsäulenabschnittes C5-C6 und die Überprüfung der Bewegungsumfänge dieses Modells mit entsprechenden in vitro Versuchen.

Da im Bereich der spinalen Forschung Bedarf an Modellen besteht, die für biomechanische Fragestellungen unterschiedlicher Art als Ergänzung zu in vitro Versuchen benutzt werden können, kann ein solches Modell von Interesse sein für spinale Chirurgie und Forschung.

Das vorgestellte Modell könnte zur ersten Beurteilung des Verhaltens neuer zervikaler spinaler Implantate herangezogen werden. Denn wie die Finite Elemente Methode in den Ingenieurwissenschaften häufig angewandt wird zur Konstruktion von Brücken, Gebäuden und Maschinenteilen, so könnte sie auch bei der Optimierung der Belastungszonen von medizinischen Implantaten Anwendung finden. Dabei muß aber in jedem Fall berücksichtigt werden, daß die Berechnungen eines Finite Elemente Modells nur als Trend interpretiert werden sollten.

SCHLUSSFOLGERUNG

Unter Berücksichtigung dieser Einschränkungen wird das Modell in der Zukunft von uns benutzt werden, um die Initialstabilität und die Hauptbelastungszonen neuer Implantate für die Halswirbelsäulen Chirurgie zu untersuchen, deren Design gegebenenfalls zu variieren mit dem Ziel einer Designoptimierung zur Verbesserung der Implantatsicherheit.

LITERATURHINWEISE

- [1] RK Banerjee, CF Gonzalez, YI Cho, L Picard, Hemodynamic changes in intracranial terminal aneurysm after endovascular treatment. *Acad Radiol* Vol 3, p 202-211, 1996
- [2] VK Goel, BT Monroe, LG Gilbertson, P Brinkmann, Interlaminar shear stresses and lamina separation in a disc. Finite element analysis of the L3 - L4 motion segment subjected to axial compressive loads. *Spine* Vol 20, p 689 - 98, 1995
- [3] VK Goel, LG Gilbertson, Applications of the finite element method to the thoracolumbar spinal research-past, present and future. *Spine* Vol 20, p 1719-27, 1995
- [4] VK Goel, JD Clausen, Prediction of load sharing among spinal components of a C5 - C6 motion segment using the finite element approach. *Spine* Vol 23, p 684 - 91, 1998
- [5] T Pitzen, HJ Wilke, W Caspar, L Claes, WI Steudel, Evaluation of a new monocortical screw for anterior cervical fusion and plating by a combined biomechanical and clinical study. *Eur Spine J* Vol 8, p 382 - 386, 1999
- [6] T Pitzen, D Matthis, H Müller - Storz, W Caspar, W I Steudel, J Harms, Die Primärstabilität von zwei PLIF - Techniken. Eine biomechanische und Finite Elemente Analyse. *Zentralbl Neurochir* Vol 60, p 114 - 120, 1999
- [7] H Takizawa, K Sugiura, M Baba, JD Miller, Analysis of intracerebral hematoma shapes by numerical computer simulation using the finite element method. *Neurol Med Chir Tokyo* Vol 34, p 65 - 69, 1994
- [8] LM Voo, S Kumaresan, N Yogananan, FA Pintar, JF Cusik, Finite element analysis of cervical facetectomy. *Spine* Vol 22, p 964 - 969, 1997