

Uniwersytet Zielonogórski

Wydział Mechaniczny

DZIEDZINA : NAUKI TECHNICZNE

DYSCYPLINA : BUDOWA I EKSPLOATACJA MASZYN

Autor: mgr inż. Agnieszka Mackiewicz

Promotor: prof. dr hab. inż. Romuald Będziński

Tytuł : „*Mechaniczne aspekty wyężenia kolumnowej struktury kręgosłupa z uwzględnieniem nieciągłości spowodowanych implantacją*”

Recenzenci:

1. prof. dr hab. inż. Tadeusz Burczyński

2. prof. dr hab. inż. Tomasz Kubiak

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę deformacji i skutków odkształcalności w wielosegmentowej strukturze przekładkowej na przykładzie kolumny kręgosłupa szyjnego, w tym ze zmianami ciągłości odkształceń spowodowanych wprowadzeniem konstrukcji implantów. Przetawiono również wyniki badań 13 modeli numerycznych kolumny kręgosłupa szyjnego C4-Th1 różniących się zarówno strukturą konstrukcyjną jak i sposobem obciążania. Obliczenia realizowano wykorzystując metodę elementów skończonych oraz modelowanie w środowisku Ansys 14.5. i 16.2 w oparciu o geometrię kolumny kręgosłupa uzyskaną na podstawie obrazów DICOM tomografii komputerowej. W kolumnie kręgosłupa szyjnego zastosowano układ stabilizujący w postaci pięciu najważniejszych więzadeł, modelując je jako elementy ciągnowe. W modelach uwzględniono nieliniowość charakterystyk materiałowych więzadeł i krążków międzykręgowych (poprawnego fizjologicznie, umiarkowanego i silnie zdegenerowanego) oraz ortotropowe właściwości kości gąbczastej kręgów.

W trakcie realizacji badań uzyskano rozkłady sił wewnętrznych, w postaci pól odkształceń i naprężeń oraz przeprowadzono ocenę zmiany zakresu ruchomości (ROM) w całym modelowanym odcinku jak i w poszczególnych segmentach kolumny kręgosłupa szyjnego, powodowaną stosowaniem systemów stabilizacji (statycznej i dynamicznej), w odniesieniu do fizjologicznie prawidłowego kręgosłupa.

Podczas analizy wpływu systemów stabilizacji kolumny kręgosłupa szyjnego na zakres ruchu oraz zmiany naprężeń w strukturach sąsiadujących segmentów, zdecydowano się tylko na analizę ruchu fleksyjnego oraz przeprostnego dla obciążenia momentem siły 1,5Nm co jest związane z częstością występowania uszkodzeń w tej płaszczyźnie.

Rezultaty odniesione zostały do wyników badań klinicznych, które uzyskano dzięki współpracy z Oddziałem Neurochirurgii, Szpitala Św. Rafała w Krakowie.

Wyniki otrzymane przez autorkę wykazują, że degeneracja krążków międzykręgowych powoduje widoczny wzrost zakresu ruchomości tym większy im wyższy jest stopień degeneracji krążków międzykręgowych oraz im większej ilości poziomów dotyczy. Stan ten prowadzi również do wzrostu naprężeń w strukturach kolumny kręgosłupa co w połączeniu z ponad fizjologicznym zakresem ruchu kolumny kręgosłupa szyjnego powoduje jej destabilizację.

Wprowadzenie systemów stabilizacji (statycznych i dynamicznych) skutkuje ograniczeniem zakresu ruchomości w operowanym segmencie kolumny kręgosłupa szyjnego, w konsekwencji prowadząc do kompensacyjnego zwiększenia ROM w segmentach powyżej oraz poniżej miejsca implantacji.

Podczas analizy uwzględniono różne konstrukcje stabilizatorów kolumny kręgosłupa szyjnego wszczepianych z dostępu przedniego charakteryzujące się odmienną podatnością. Analizie poddano układ implantowany w kolumnę kręgosłupa szyjnego na jednym i dwóch poziomach. W pracy wykazano, że wykorzystanie dynamicznych implantów płytkowych (Slimfuse[®]) oraz wszczepów międzytrzonowych wykonanych z podatnego materiału polimerowego PEEK (nanOss Cervical[®]) powoduje podział obciążenia między strukturami kolumny kręgosłupa szyjnego oraz systemem stabilizującym co wpływa na zakres ruchomości układu, a przede wszystkim prowadzi do powstania oczekiwanego zrostu kostnego. Pomimo ograniczenia zakresu ruchomości spowodowanego wprowadzeniem implantacji w przypadku stabilizatorów dynamicznych ROM bardziej zbliżony do fizjologicznego zakresu ruchu niż przy stabilizacji konstrukcjami statycznymi.

Otrzymane wyniki dla zadanych wartości momentu siły walidowano z danymi literaturowymi. Porównano zarówno odpowiedź całego modelowanego odcinka C4-Th1 jak i odpowiedź poszczególnych segmentów ruchowych.

Uzyskane rezultaty potwierdziły prawdziwość postawionej tezy. Zastosowanie implantów płytkowych z elementem dynamizującym oraz wszczepów międzytrzonowych wykonanych z materiałów polimerowych zmniejsza miejscowe przesztywnienie kręgosłupa, w porównaniu ze statyczną konstrukcją implantów, której wszczepienie może skutkować występowaniem patologicznych odkształceń i naprężeń zarówno w segmencie implantowanym jak i w segmentach powyżej i poniżej miejsca stabilizacji.

Zrealizowane wyniki badań dotyczące leczenia stanu niestabilności kolumny kręgosłupa szyjnego wskazują, że należy prowadzić personalizowane badania na podstawie

modelu uzyskanego z tomografii komputerowej pacjenta w celu doboru optymalnej konstrukcji stabilizującej oraz metod leczenia. Przydatne są w tym realizowane badania numeryczne, z udziałem komputerowych metod. W rezultacie można spodziewać się poprawy wyników leczenia długoterminowego. Jednocześnie istotnym staje się to w aspekcie rozkładu stref odkształceniowych struktur kolumny oraz dynamiki przebudowy kości.

Uzyskane w pracy pozytywne wyniki dla stabilizacji dynamicznej pozwalają sądzić, że spowoduje ona mniejsze prawdopodobieństwo lub opóźni czas wstąpienia choroby sąsiednich segmentów. W pracy podkreślono, że w celu potwierdzenia powyższych wniosków należałoby przeprowadzić szerokorozumiane, randomizowane badania kliniczne w celu oceny skutków zastosowania obu metod stabilizacji w dłuższej perspektywie.

Summary

The PhD thesis presents an analysis of the effects of deformation and a strain in a multi sandwich structure on the example of the cervical spinal column, including changes in the continuity of the strain caused by implantation of the stabilizing system. Results of 13 numerical models of C4-Th1 cervical columns differ in stabilization construction and application of the load. Calculations were carried out using the finite element analysis and modeling on the basis of the geometry of the vertebral column obtained on the basis of the DICOM CT. In the models of cervical spine column, the stabilization systems were used in the form of five main ligaments, modeling them as elements of tension. The models consider nonlinear material characteristics of the ligaments, intervertebral discs (physiologically, mildly and heavily degenerated) and orthotropic properties of cancellous bone vertebrae. During the implementation of the study distributions of internal forces were obtained, in the form of fields of stress and strain, and an assessment of the changes in range of motion (ROM) in all modeled column as well as in the individual segments of the cervical spine column, caused the use of stabilization systems (static and dynamic plate in relation to physiologically normal spine). During the analysis of the impact of the stabilization systems in cervical spinal column in comparison to the range of motion and changes in stress values in structures in adjacent segments, it was decided only on the analysis of movement a moment of force of 1.5Nm flexion and extension, which is associated with the incidence of failures in the sagittal plane. Obtained results were compared to the clinical studies, from cooperation with the Division of Neurosurgery, St. Raphael Hospital in Krakow. Results show that the degeneration of intervertebral discs is caused by a noticeable increase in range of motion greater the higher the degree of degeneration of the intervertebral discs, and the more levels of concern. This condition leads to an increase in stress in the vertebral column structures which, in combination with the more than physiological range of motion of the cervical vertebral column causes the destabilization. Implantation (static and dynamic implant) reduces the range of motion of the operated segment of the cervical vertebral column, and causes an increased compensatory in ROM above and below segments to the implantation. During the analysis of what takes into account the different constructions of the cervical spine column stabilizers implanted with anterior characterized by different flexibility. The analysed system was implanted in the cervical spinal column one and two levels. The PhD thesis has shown that the use of dynamic plate implants (Slimfuse®) and CAGE implants made of PEEK polymer (nanOss Cervical®) causes load distribution between the

columns structures and of the cervical spine stabilization system which affects the range of motion of the system, and results in the expected bone union. The results attest the veracity thesis of PhD. As a result of the research, it has been show that the use of a static cervical spine stabilizer plate and a dynamic stabilizer gives quite a different results in terms of the range of motion and stress levels. The use of plates with dynamic element allowing some range of motion and polymers CAGE reduces the local stiffness of the spine, as compared to a static structure of implants, where implantation may result in the occurrence of pathological strains and stresses both in the implanted and above and below segments to the stabilization. Results of studies on the treatment of the instability of cervical spine column, indicates that there should be carried out personalized study based on a model obtained from computed tomography of the patient in order to obtain an optimal implant design and stabilizing treatments. The positive results for the dynamic stabilization suggest that it will be less likely or delay time to join adjacent segments disease.