

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СЕГМЕНТА
ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ НАКЛОНЕ ВПЕРЕД**

Ю. А. Рикун, А. В. Телегина

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Т.В. Колмакова

Национальный исследовательский Томский государственный университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: yulirik.93@mail.ru

MODELING OF STRESS-STRAIN STATE OF CERVICAL SPINE SEGMENT AT FLEXION

Yu. A. Rikun, A.V. Telegina

Scientific Supervisor: Dr. T.V. Kolmakova

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: yulirik.93@mail.ru

***Abstract.** In this paper the stress-strain state of the model segment C3-C4 cervical spine is regarded. The influence of degenerative changes of the intervertebral disc on the mechanical behavior of the segment is studied.*

Современная медицина все чаще сталкивается с проблемой оптимального выбора имплантата, способного восстановить утраченные функции организма. Адекватный выбор имплантатов возможен на основе исследования поведения структур человеческого организма. Использование методов компьютерного моделирования создает предпосылки для более глубокого понимания закономерностей функционирования человеческого организма в норме и при патологиях, способствующего разработке рекомендаций по созданию и подбору имплантатов замещающих отдельный орган или его часть и эффективных методов коррекции системы в целом.

Целью данной работы является моделирование напряженно-деформированного состояния сегмента С3-С4 шейного отдела позвоночника с учетом деградации межпозвоночного диска.

На рисунке 1 представлена геометрическая модель сегмента С3-С4 шейного отдела позвоночника.

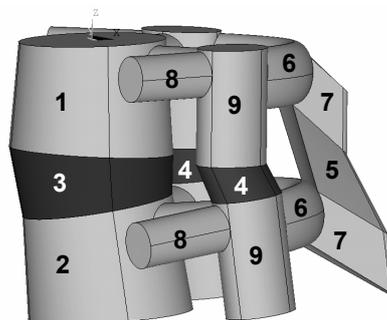


Рис. 1. Геометрическая модель сегмента шейного отдела позвоночника

Геометрическая модель состоит из позвонков С3 (№1) и С4 (№2), межпозвоночного диска (МПД) (№3), фасеточных суставов (№4), межостистой связки (№5), задних дуг позвонков (№6), остистых (№7), поперечных (№8) и суставных (№9) отростков. Ось Z системы координат направлена вдоль оси сегмента. В позвонках учитывалось наличие компактной и губчатой костных тканей. Материал

компактной и губчатой костных тканей тел позвонков, материалы межпозвоночного диска, фасеточных суставов, межкостистой связки, дуг и отростков считались изотропными линейно-упругими материалами. Дегенеративные изменения межпозвоночного диска моделировались посредством уменьшения высоты диска с 6 мм до 4.5 мм и увеличения его модуля упругости от 2,5 МПа до 98 МПа в соответствие с данными работ [1,2], что в реальности наблюдается в результате уменьшения содержания воды в диске[3]. Проводился расчет напряженно-деформированного состояния модельного сегмента шейного отдела позвоночника. Нижняя поверхность тела позвонка С4 жестко фиксировалась. Верхняя поверхность позвонка С3 была нагружена силой равной 1000 Н. В центральной точке верхней поверхности тела позвонка С3 задавался момент на сгибание в отрицательном направлении оси X, равный 7,5 Нмм [4]. Заданные нагрузки соответствуют физиологическому сгибанию сегмента шейного отдела позвоночника.

На рисунке 2 представлены поля перемещений UZ сегментов, отличающихся высотой h и модулем упругости E межпозвоночного диска.

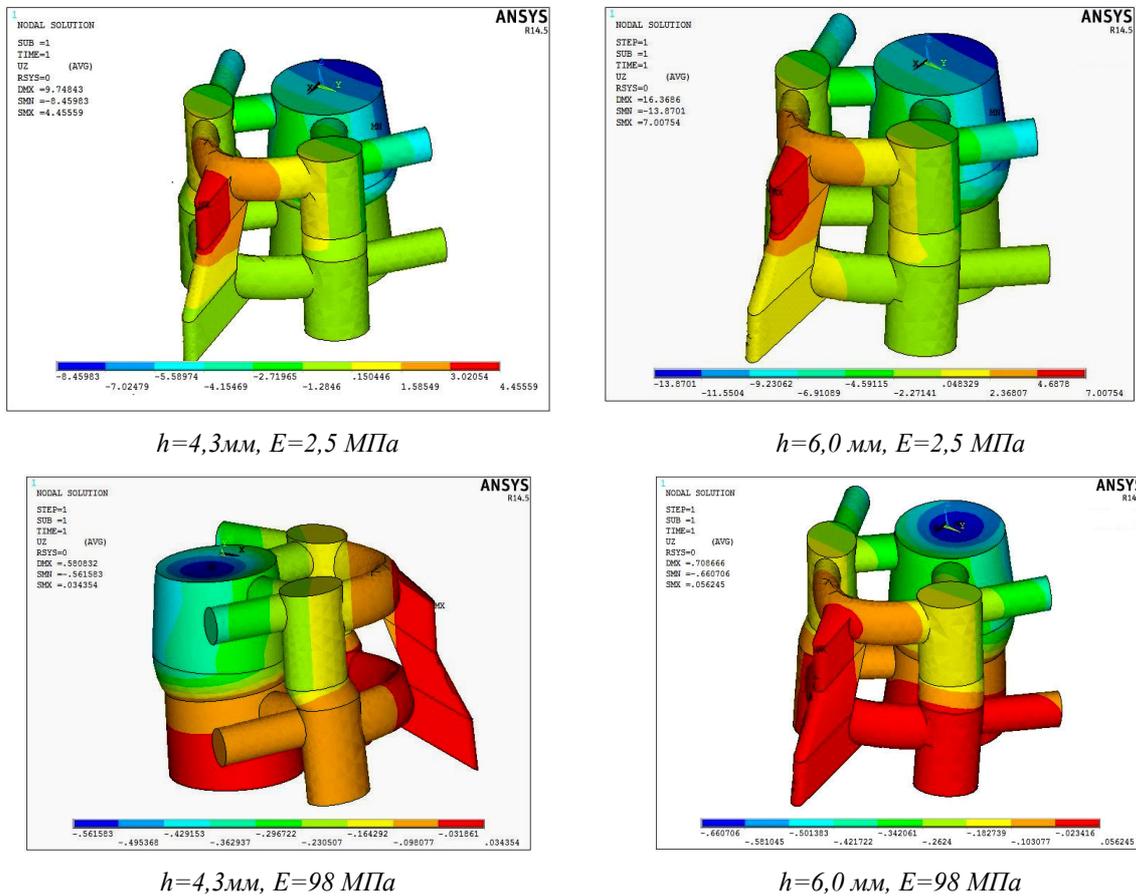
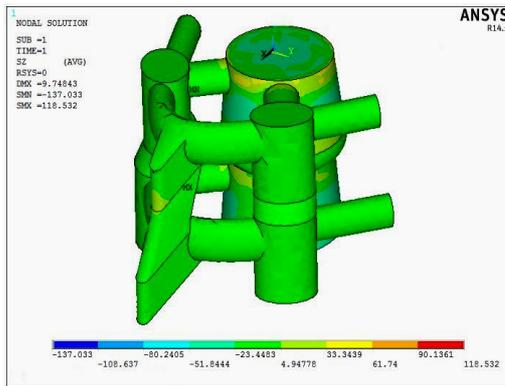


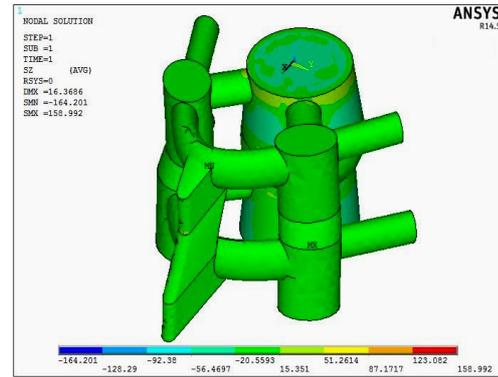
Рис. 2. Поля перемещений UZ (мм) сегментов

При модуле упругости диска 2.5 МПа, наибольшее сжатие в направлении оси Z наблюдается в передней части тела позвонка С3, затрагивая верхнюю часть межпозвоночного диска, а растяжение в остистом отростке позвонка С3. При увеличении модуля упругости МПД происходит смещение области наибольшего сжатия к центру верхней поверхности позвонка С3. Уменьшение высоты МПД, также как и увеличение его модуля упругости, приводит к снижению степени сжатия и растяжения указанных областей в направлении оси Z.

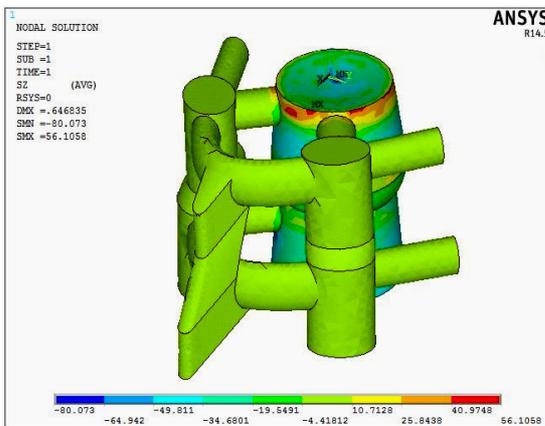
На рисунке 3 представлены распределения напряжений σ_z в сегментах, отличающихся высотой h и модулем упругости E межпозвоночного диска.



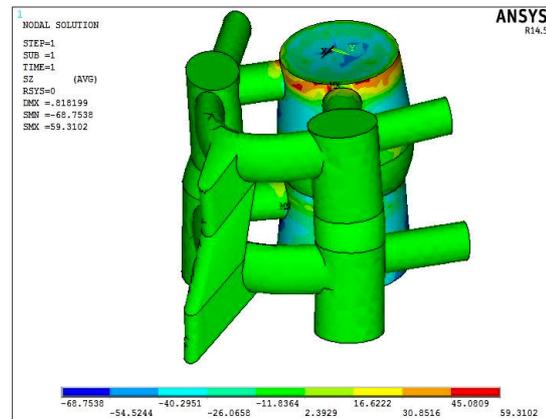
$h=4,3\text{мм}, E=2,5\text{ МПа}$



$h=6,0\text{ мм}, E=2,5\text{ МПа}$



$h=4,3\text{мм}, E=74,125\text{ МПа}$



$h=6,0\text{ мм}, E=74,125\text{ МПа}$

Рис. 3. Распределение напряжений σ_z (МПа) в сегментах

При значении модуля упругости диска 2.5 МПа, максимальные сжимающие и растягивающие напряжения локализуется в областях соединения ножек и суставных отростков.

С увеличением модуля упругости МПД максимальные растягивающие напряжения локализуются в верхней части боковой поверхности тела позвонка С3, а максимальные по модулю сжимающие напряжения в центральной части верхней поверхности позвонка С3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Effective modulus of the human intervertebral disc and its effect on vertebral bone stress / Н. Yang [et al.] // Journal of Biomechanics. – 2016. – Vol. 49. – No. 7. – P. 1134–1140.
2. Gilad I. A Study of Vertebra and Disc Geometric Relations of the Human Cervical and Lumbar Spine // Spine. – 1986. – Vol. 11. – No. 2. – P. 154–157.
3. Кремер Ю. Заболевания межпозвоночных дисков / под общ. ред. проф. В. А. Широкова. – М. : МЕДпресс-информ, 2013. – 472 с.
4. Hueston S. Cervical Spine Anthropometric and Finite Element Biomechanical Analysis // Human Musculoskeletal Biomechanics. – 2012. – Ch. 6. - P. 107–158.