

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ СЕГМЕНТА ШЕЙНОГО ОТДЕЛА  
ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ ДЕФОРМАЦИИ МЕЖПОЗВОНОЧНОГО ДИСКА**Ю. А. Рикун

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](mailto:yulirik.93@mail.ru)**INVESTIGATION OF DEFORMATION BEHAVIOR OF CERVICAL SPINE SEGMENT DURING  
THE DEFORMATION OF THE INTERVERTEBRAL DISC**Yu. A. Rikun

Scientific Supervisor: Dr. T.V. Kolmakova

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

E-mail: [yulirik.93@mail.ru](mailto:yulirik.93@mail.ru)

***Abstract.** In this paper the stress-strain state of the model cervical spine segment is regarded. The deformation behavior of the intervertebral disc during the deformation of the intervertebral disc is studied.*

**Введение.** Позвоночник является одной из важнейших структур человеческого организма. Благодаря своей структуре, позвоночник выполняет жизненно необходимые для организма человека функции, например, такие как: функция опоры и движения, а также играет важную роль в способности человеческого организма к прямохождению [1]. Межпозвоночный диск, является неотъемлемой частью позвоночного столба. С его помощью обеспечивается подвижность позвонков, равномерно распределяется нагрузка по позвоночнику в целом.

К сожалению, нередки случаи, особенно в среднем и пожилом возрасте, когда происходят дегенеративные изменения межпозвоночного диска. В такой ситуации необходимо заменить межпозвоночный диск имплантатом. Адекватное развитие и индивидуальный подбор имплантатов играют важную роль в лечении человека. Неправильный выбор материалов и дизайна имплантата могут привести к ухудшению состояния костной ткани и функционирования позвоночника в целом. Использование методов компьютерного моделирования позволяет более глубоко понять закономерности функционирования позвоночника в норме, при патологиях, при взаимодействии с имплантатом, что облегчает выбор подходящего протеза для конкретного человека.

Целью данной работы является исследование деформационного поведения сегмента шейного отдела позвоночника при деформации межпозвоночного диска.

**Модель шейного сегмента позвоночника.** В рамках данной работы была построена геометрическая модель сегмента С3-С4 шейного отдела позвоночника, представленная на рисунке 1.

Геометрическая модель состоит из позвонков С3 (№1) и С4 (№2), межпозвоночного диска (МПД) (№3), фасеточных суставов (№4), межкостистой 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 (№10) костных тканей. Материал компактной

и губчатой костных тканей тел позвонков, материалы межпозвоночного диска, фасеточных суставов, межостистой связки, дуг и отростков считались изотропными линейно-упругими материалами.

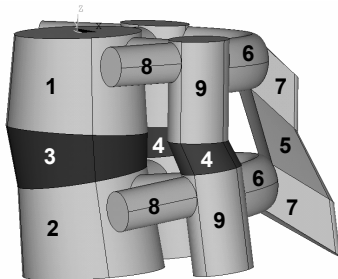


Рис. 1. Геометрическая модель сегмента С3-С4 шейного отдела позвоночника

Дегенеративные изменения межпозвоночного диска моделировались посредством уменьшения средней высоты диска с 6 мм до 4.3 мм и увеличения его модуля упругости от 2.5 МПа до 98 МПа в соответствии с данными работ [2,3], что в реальности наблюдается в результате уменьшения содержания воды в диске [1]. Также в работе принималось во внимание существование естественного изгиба шейного отдела позвоночника – лордоза. Наличие природного изгиба позвоночника обеспечивает разную высоту межпозвоночного пространства спереди и сзади, занимаемого межпозвоночным диском, который необходимо заменить имплантатом [4, 5].

Проводился расчет напряженно-деформированного состояния модельного сегмента шейного отдела позвоночника с помощью программного комплекса ANSYS с использованием метода конечных элементов. Задавались нагрузки, соответствующие физиологическому сгибанию сегмента шейного отдела позвоночника.

**Результаты.** Исследование влияния дегенеративных изменений межпозвоночного диска на деформационное поведение сегмента С3-С4 позвоночника показало, что во время сгибания верхний позвонок С3 движется вперед в отрицательном направлении оси X и вниз, уменьшая межпозвоночное пространство. Были определены перемещения передней точки позвонка С3 (отмечена черной точкой на рис. 2)

На рисунке 3 изображены графики зависимости полей перемещений UZ от отношения высот передней части МПД (I1) к задней его части (I2). Из рисунка 3(а, б) видно, что по мере снижения высоты межпозвоночного диска подвижность диска уменьшается. По мере увеличения модуля упругости подвижность диска уменьшается, как видно из рисунка 3 (в, г).

**Заключение.** В ходе проделанной работы можно сделать следующий вывод. Дегенеративные изменения межпозвоночного диска, а именно уменьшение высоты и увеличение модуля упругости диска приводят к уменьшению подвижности позвонка С3.

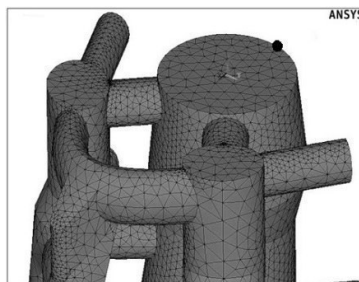


Рис. 2. Местоположение передней точки позвонка С3

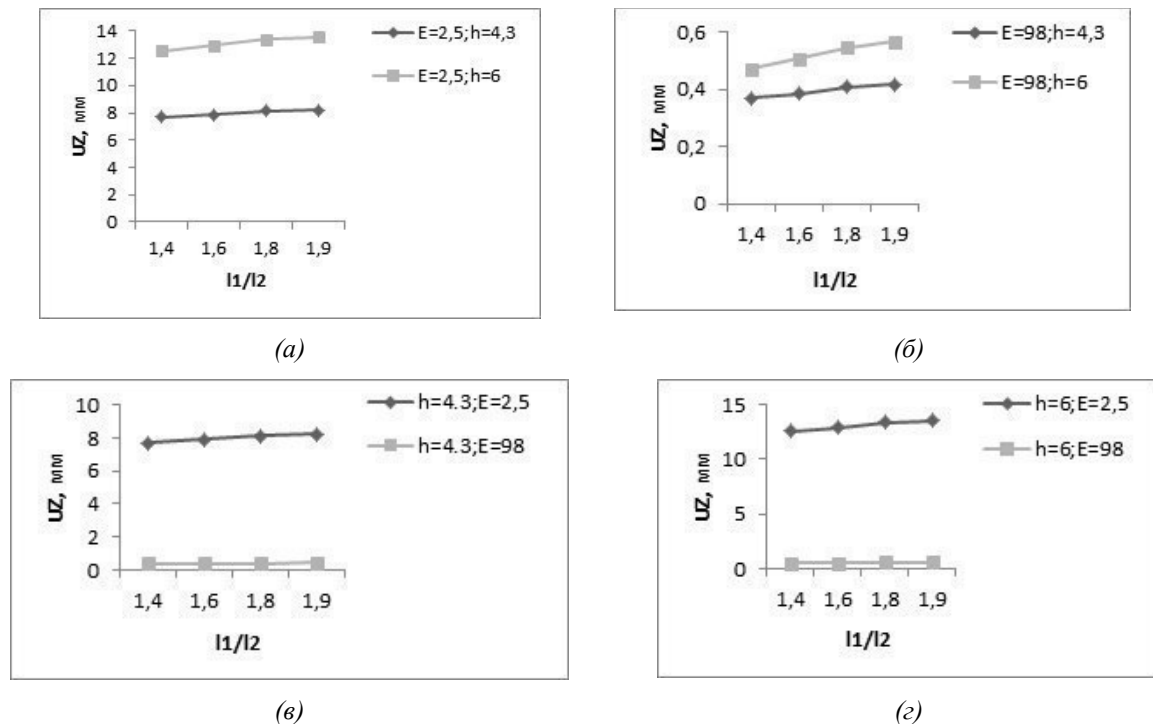


Рис. 3. Зависимость полей перемещений  $U_Z$  от отношения высот передней части МПД ( $l_1$ ) к задней его части ( $l_2$ ): (а), (б) при фиксированном значении  $E$  (МПа) и разными значениями средней  $h$  (мм); (в), (г) при фиксированном значении средней  $h$  (мм) и разными значениями  $E$  (МПа)

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кремер, Ю. Заболевания межпозвонковых дисков. – М. : МЕДпресс-информ, 2013. – 472 с.
2. Effective modulus of the human intervertebral disc and its effect on vertebral bone stress / H. Yang [et al.] // Journal of Biomechanics. – 2016. – Vol. 49. – No. 7. – P. 1134–1140.
3. 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.
4. Latif M J A Characterisation and Modelling of Spinal Facet Joints // Ph.D. thesis (The University of Leeds). – 2011. – P. 336.
5. Sohn H M, You J W and Lee J Y The relationship between disc degeneration and morphologic changes in the intervertebral foramen of the cervical spine: a cadaveric MRI and CT study // J. Korean Med. Sci. – 2004. – Vol. 19(1). – P. 101–106.