

РАСЧЁТ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОТЕЗА МЕЖПОЗВОНОЧНОГО ДИСКА

маг. Доста А.А., д. ф.-м.н. Михасев Г.И.

Белорусский государственный университет, г. Минск

Введение. Ежегодно проводят тысячи операций по замене межпозвоночного диска. Можно без всякого преувеличения сказать, что позвоночник – стержень здоровья человека. До 90% всех проблем со здоровьем, что испытывает человек в течении жизни, объясняется проблемами с позвоночником. Он состоит из 33-34 позвонков, соединёнными суставами, мышцами и сухожилиями, сообщающими позвоночнику гибкость и подвижность, и в то же время прочность. Одно из образований, соединяющих между собой позвонки - это межпозвоночный диск. Эти диски представляют собой хрящевые конструкции, чье основное назначение – поддержание устойчивости позвоночника и амортизация сотрясений при сохранении его подвижности.

Если рассматривать строение межпозвоночного диска упрощенно, то можно выделить две основные его части: оболочку и сердцевину. В тех случаях, когда сердцевина выходит за пределы своей оболочки (выпадение диска), человек чувствует боль. Это объясняется тем, что сдавливаются нервные корешки.

Для исследования напряжённо-деформированного состояния импланта межпозвоночного диска человека, как правило, прибегают к методу конечно-элементного (МКЭ) моделирования. С помощью МКЭ модели и специализированных программных пакетов, возможно предсказание нагрузок, действующих на позвоночный столб, позвоночные сегменты и межпозвоночные диски, в частности. Эти исследования позволяют определить наиболее оптимальные геометрические и физические характеристики импланта при проектировании.

Биомеханика позвоночника. Позвоночник, выполняющий опорную, двигательную и защитную функцию для спинного мозга, нервных и сосудистых структур функции, представляет собой многозвеньевую систему. Своеобразие опорной и амортизирующей функций позвоночника и его строения иллюстрирует приспособляемость к чрезвычайно сложным условиям функционирования в вертикальном положении. Оно отразилось в структуре, форме и прочностных характеристиках основных его элементов – позвонков, межпозвоночных дисков и суставов, связочного аппарата, различных в зависимости от уровня их расположения и требований, предъявляемых им при функционировании [1-3].

При наклонах туловища, поднятии тяжестей, на межпозвоночные диски действуют нагрузки, которые могут существенно превышать величину массы тела и поднимаемого груза. Это связано с тем, что плечо силы, которую приходится уравновешивать разгибателям спины относительно оси вращения, например, поясничных позвонков, существенно увеличивается и может достигать 35 см. Давление на позвонки и межпозвоночные диски в этом случае обусловлено суммарным действием сил мышечной тяги, массы тела и поднимаемого груза. Например, при подъеме спортсменом штанги массой 80 кг нагрузка на поясничные позвонки достигает 1000 кг.

Целью данного исследования является построение конечно-элементной (КЭ) модели импланта межпозвоночного диска шейного отдела позвоночника человека и расчёт его напряжённно-деформированного состояния (НДС) при статической нагрузке.

Материалы и метод. В настоящее время существует множество вариантов конструкций имплантов межпозвоночного диска. Однако существует ряд проблем, связанных с вариациями этих конструкций. Импланту межпозвоночного диска необходимо обеспечивать такие требования, как биосовместимость, высокая износостойкость, обеспечение функциональности импланта для нормальной жизнедеятельности человека.

Для проектирования импланта межпозвоночного диска была выбрана конструкция с использованием керамической пары трения, так как использование данного материала не образует продуктов износа, что снижает вероятность воспалительных процессов и повышает износостойкость импланта. Так же в конструкции используется титан, обеспечивающий хорошую биосовместимость, высокую прочность и низкий вес. Так же применяется пористый титан, хорошо зарекомендовавший себя в эндопротезировании [4]. Пористая структура обеспечивает фиксацию импланта относительно позвонков и обеспечивает биологическую интеграцию (врастание костных тканей).

Для исследования была создана трёхмерная геометрическая модель импланта (рис. 1).

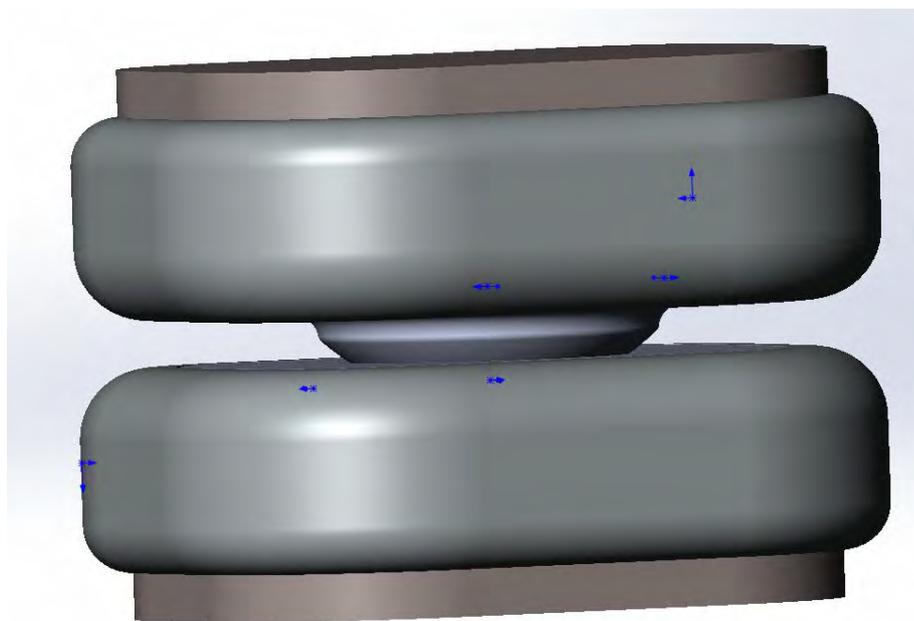


Рис. 1. Трёхмерная геометрическая модель импланта межпозвоночного диска

Имплант состоит из пары трения, корпуса и титановой вставки. За счёт использования сферической пары трения обеспечивается нормальное физиологическое движение межпозвоночного диска.

Геометрическая модель позвонков была создана по усреднённым значениям результатов компьютерных топограмм позвонков С4-С5 шейного отдела.

С помощью программного обеспечения была создана КЭ модель системы «позвонок-имплант-позвонок» с заданием граничных условий, статической нагрузки на позвонок. Все компоненты КЭ модели приняты как однородные и изотропные, физические свойства материалов формулируются в рамках закона Гука. Механические характеристики биологических тканей были приняты исходя из данных, приведенных в [5]. Характеристики приведены в таблице 1.

Табл. 1. Механические свойства материалов

Материал	Модуль Юнга, МПа	Коэффициент Пуансона
Титановый сплав	100000	0,36
Пористый титан	110000	0,3
Керамика Al ₂ O ₃	300000	0,2
Кость позвонка	10000	0,3

Характеристики нагрузки были приняты исходя из исследований [6]. Межпозвоночный диск в различный возрастной период в норме может выдержать различные нагрузки – от 6кН в детстве и до 25кН в возрасте 20-30 лет. При расчёте НДС была принята нагрузка в 10кН.

Результаты исследования. Выполненные расчёты показали, что, при нормальной физиологической нагрузке в 10кН в вертикальном положении, с естественным относительным углом между позвонками C4-C5, максимальное напряжение, по Мизесу, возникает в области контакта керамической пары трения и составляет 897,7 МПа. Напряжения, возникающие в области контакта импланта и тела позвонка, составляют до 80Мпа (рисунок 2).

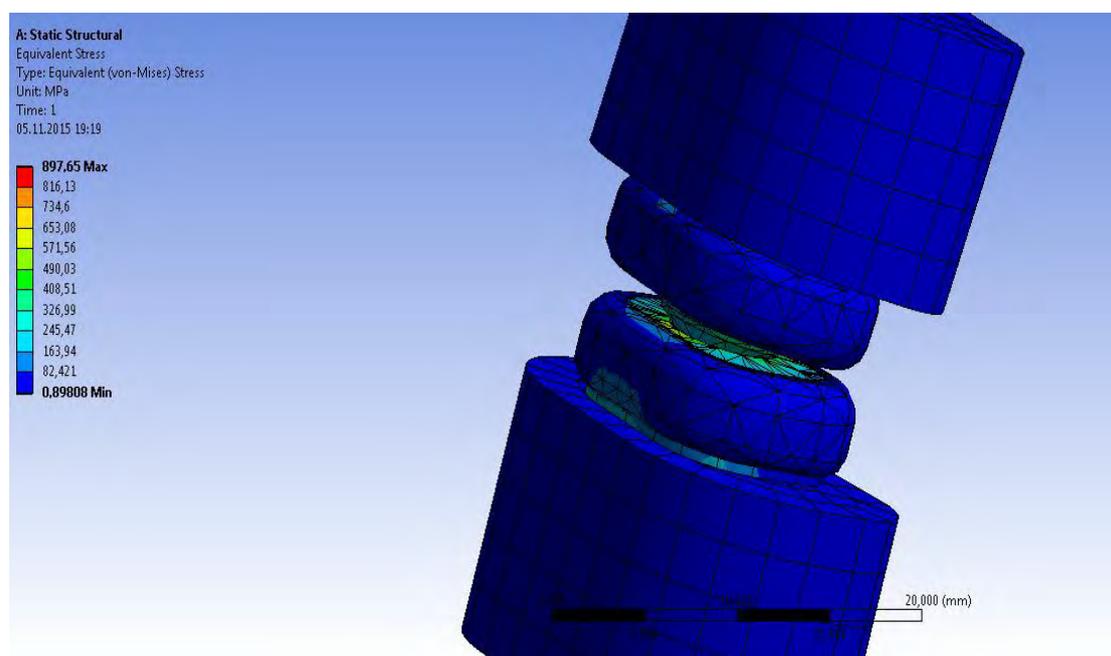


Рис. 2. Распределение интенсивности напряжений в КЭ модели импланта и позвонков

Так же, расчёт НДС показал, что при увеличении статической нагрузки на тело позвонка не происходит смещение имплантов относительно друг друга и не возникает явление выпадения импланта.

Стоит однако отметить, что при высоких показателях нагрузки ~ 1300 МПа, происходит деформация позвонков, что соответствует теоретическим данным [7-8]. Величина интенсивности напряжений в теле позвонков зависит от функциональных нагрузок и других факторов. В частности, предлагаемая модель не учитывает влияние упругих элементов позвоночного столба человека. Поэтому для дальнейшего исследования НДС импланта межпозвоночного диска следует внести в КЭ модель упругий компонент - межпозвоночные диски человека. Это позволит исследовать влияние импланта на здоровые межпозвоночные диски.

Выводы. Разработанная конечно-элементная модель позвоночно-двигательного сегмента позволяет предсказывать напряжения и деформации импланта межпозвоночного диска. Расчёты показывают, что применение в конструкции импланта керамической пары трения и пористого титана дают преимущества по износостойкости, биосовместимости, приживаемости и фиксации импланта.

РЕЗЮМЕ

Исследование предоставляет результаты анализа напряженно-деформированного состояния межпозвоночных имплантата в фрагменте позвоночника методом конечных элементов. Эти исследования оценивают эффективность конструкции имплантата, его влияние на тело позвонка и анализа напряжений, возникающих во время нагрузки на позвоночно-двигательный сегмент с имплантатом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абельская, И.С. Остеохондроз шейного отдела позвоночника / И.С. Абельская, О.А. Михайлов. – Минск: БелМАПО, 2004.-220с.
2. Антонов, И.П. Шейный остеохондроз: клиника, лечение и профилактика / И.П. Антонов //Здравоохранение. 1996. - №4. – С. 7-9.
3. Hodler, J. Degenerative changes of the cervical spine. Imaging / J. Hodler //Orthopade 1996. – Vol. 25, №6. – P.512-518.
4. Bobyn, J.D. Producing and avoiding stress shielding: laboratory and clinical observations of noncemented total hip arthroplasty. Clin Orthop Relat Res. 1992. P. 79–96.
5. White, A.A. Clinical biomechanics of the spine / A.A. White, M.M. Panjabi. - 2nd ed. – Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 1990. – 739 p.
6. Райхинштейн, В.Е. Измерение механических свойств межпозвоночных дисков под влиянием длительных статических компрессионных нагрузок / В.Е. Райхинштейн, Я.Л. Цивьян, Я.Л. Овсейчик // Механика композит. материалов. 1967. - №6. – С. 1076-1081
7. Цивьян, Я.Л. Повреждения позвоночника / Я.Л. Цивьян. – М.: Медицина, 1971. - 310 с.
8. Lodygowski, T. Three-dimensional nonlinear finite element model of lumbar intervertebral disc // Acta of bioengineering and biomechanics. – Vol.7. – No.2. 2005. P. 29-37.

SUMMARY

This article provides the results of the analysis of the stress-strain state of intervertebral implant in a fragment of the spine by the finite element method. These studies evaluate the effectiveness of the design of the implant, its impact on the body of the vertebrae and analysis of the stresses generated during the loading on spinal motor segment with the implant.

E-mail: dastify@gmail.com
mikhasev@bsu.by

Поступила в редакцию 25.10.2015