

Список литературы: 1. Барчан Е.Н. Методы, модели и алгоритмы для синтеза параметров выбивной инерционной машины на основе моделирования динамических процессов. // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – 2007. – №3. – С.3-17. 2. Барчан Е.Н., Ткачук Н.А., Грабовский А.В. Экспериментальное исследование динамических процессов в выбивной машине с дебалансным приводом. // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – 2007. – №3. – С.17-24. 3. Барчан Е.Н. Совершенствование конструкции выбивной машины в составе автоматизированной линии крупного вагонного литья на основе расчетно-экспериментальных исследований рабочего процесса. // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – 2007. – №23. – С.3-26. 4. Барчан Е.Н., Шкода В.А., Просянок В.В., Грабовский А.В. Экспериментальное исследование динамических процессов в оптимизированной выбивной машине. // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – 2007. – №23. – С.26-33.

Поступила в редколлегию 19.08.07

УДК 539.3:612.76:616.001

**Ю.В. ВЕРЕТЕЛЬНИК, О.В. ВЕРЕТЕЛЬНИК, НТУ „ХПИ”,
И.Б. ТИМЧЕНКО, А.А. ДЫННИК, Ю.К. СОСНИНА,**

ДУ „Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. Ситенко”
АМН Украины, г. Харьков

К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ШЕЙНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Аналіз механічної поведінки шийного відділу хребта все ще потребує розгляду, незважаючи на велику кількість досліджень, які проводились протягом минулих років. У роботі пропонується новий підхід до побудови параметричних моделей шийного відділу хребта на основі узагальненого параметричного підходу до моделювання елементів біомеханічних систем. Скінченно-елементний метод разом з програмами CAD і експериментальними даними використовувалися в дослідженнях ортезування. Аналізи напружень виконувалися для ортезів, що знаходяться в клінічному використанні.

The analysis of mechanical conduct of neck department of spine still calls to consideration, in spite of plenty researches which was conducted for the last years. The new going is in-process offered near the construction of self-reactance models of neck department of spine on the basis on the generalized self-reactance going near the design the elements of the biomechanics systems. The finite element method together with CAD programs and experimental information was used in researches of ortessing. The analyses of tensions were executed for ortes, being in the clinical use.

Введение. Шея – одна из важнейших стратегических зон человеческого организма. Сложность анатомического строения, обилие магистральных кровеносных и нервных стволов, наличие дыхательных путей и эндокринных органов обуславливает огромное влияние шейной области на жизнеобеспечение всего тела человека.

Заболевания и повреждения шейного отдела позвоночника (ШОП) часто встречаются в жизни. При лечении заболеваний ШОП (остеохондроз, травмы, состояния после операций и т.д.) используются различные ортопедические средства, что способствует ранней реабилитации и сокращению сроков пребывания пациентов в стационаре [1].

Созданию максимального покоя в позвоночно-двигательном сегменте (ПДС) способствует иммобилизация пораженных отделов позвоночника с помощью ортезов. Ортез – это функциональное приспособление, обеспечивающее фронтальную (препятствует наклону головы вправо-влево) и сагиттальную (препятствует сгибанию и разгибанию вперед-назад) фиксацию ШОП, ограничивает ротационно-корректирующую функцию и разгружает ШОП.

В настоящее время проводятся экспериментальные исследования по изучению количественных и качественных характеристик шейных ортезов, но экспериментальные исследования имеют свои ограничения, в связи с чем в настоящее время в мировой практике прибегают к математическому моделированию [2].

Однако в литературе отсутствует описание параметрических моделей ШОП, что в целом сдерживает проведение исследований поведения шейного отдела с учетом индивидуальных особенностей пациента и патологии, а также характеристик ортезов. В связи с этим задача создания таких моделей является актуальной и важной задачей биомеханики.

Постановка задачи. В работе предлагается новый подход к построению параметрических моделей шейного отдела позвоночника на основе обобщенного параметрического подхода к моделированию элементов биомеханических систем.

С этой целью была создана конечно-элементная модель (КЭМ), основанная на компьютерно-томографических срезах реально существующих позвонков и физических свойствах мягкотканевых элементов ПДС, соединяющих позвонки. С помощью КЭМ возможно исследование кинематики (движений в ПДС), динамики (движений в результате приложения нагрузок) и распределения внутренних напряжений в ПДС при различных вариантах нагружения.

Формирование модели ШОП с ортезом. Позвоночник имеет в своем составе позвонок, позвоночные диски, хорда и связки. Кости позвоночника – позвонки – составляют 7 шейных (cervical), 12 грудных (thoracic), 5 поясничных (lumbar vertebrae), 5 крестцовых (sacral), сливающихся с возрастом, формируя крестец, и 4 копчиковых позвонка, которые слиты и формируют копчик (рис. 1) [3].

Шейные позвонки размещены между черепом и грудной клеткой. Первый затылочный позвонок, названный Atlas, второй – Axis и седьмой позвонок имеют специальные характеристики. Четыре оставшихся позвонка рассматриваются как типичные.



Рис. 1. Позвоночный столб



Рис. 2. Ортез

Существуют различные типы хирургического лечения повреждений, как, например, цервикальные пластины, которые являются объектом дальнейших изысканий, или ортезирование, которое является объектом данного изучения.

Эта работа сконцентрирована на моделировании напряженно-деформированного состояния в ШОП и ортезе (рис. 2).

Для геометрического моделирования ортеза необходимо промоделировать ШОП – т.е. семь шейных позвонков, мышцы, связки, кровеносные магистрали, нервные стволы, дыхательные пути и т.д. Для простоты моделирования шейные позвонки C_I , C_{II} и C_{VII} были промоделированы так же, как и $C_{III} - C_{VI}$, так как исследуемая область – $C_{III} - C_{VI}$; мышцы, связки, кровеносные магистрали и т.д. были промоделированы как единое целое, схематично была построена голова, так как в исследованиях интересует только область контакта головы и ортеза, и также упрощенно была промоделирована нижняя опора ортеза – область ключиц и надплечий.

При моделировании было предположено, что ШОП симметричен в сагитальной плоскости. На рис. 3 и 4 представлена геометрия исследуемых моделей ШОП и вся геометрия в сборке (ШОП, шея, голова, опора), соответственно.

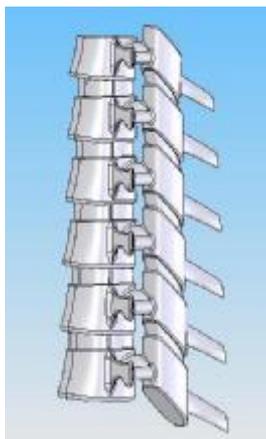


Рис. 3. Геометрия ШОП

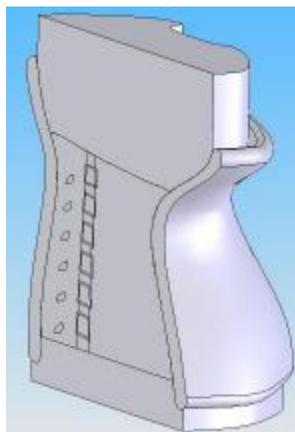


Рис. 4. Геометрия сборки

На первом этапе строилась геометрическая модель с помощью CAD SolidWorks. Для построения $C_I - C_{VII}$ были использованы компьютерно-томографические срезы шейных позвонков без признаков врожденных аномалий развития или деструктивного поражения [4].

На втором этапе геометрическая модель передавалась в программный комплекс ANSYS/WorkBench, в котором проводились дальнейшие расчеты. Задавались физические характеристики

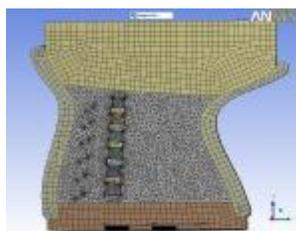
материалов модели. Материалы считались однородными и изотропными. Модуль упругости и коэффициент Пуассона различных материалов, используемых при расчетах, взяты из литературных первоисточников [4, 5, 6] и приведены в таблице.

Вся геометрическая модель разбивалась на конечные элементы (КЭ). Для построения КЭ сетки использовались: 3-D, 10-узловой тетраэдральный элемент – SOLID187; 3-D, 20-узловой квадратичный элемент – SOLID186, а также TARGE170 и CONTA174 – контактные элементы. Всего КЭ модель насчитывала 246159 элементов, ее вид представлен на рис. 5.

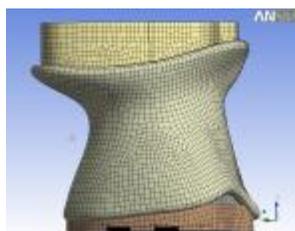
Таблица

Свойства материалов ШОП

Материал	Модуль Юнга E (МПа)	Коэффициент Пуассона ν
Кортикальная	10 000	0,3
Губчатая кость	450	0,2
Суставной	10,6	0,49
Диск	4,2	0,45



вид 1



вид 2

Рис. 5. Конечно-элементная модель

Нагружение осуществлялось путем приложения к поверхности головы силы, величина которой равнялась 100 Н, что согласно расчетам [7, 8], соответствует весу головы среднестатистического человека. На модель накладывались ограничения по перемещениям, опора жестко фиксировалась и добавлялась симметрия в сагиттальной плоскости.

Результаты исследований. Численное моделирование исследуемой сборки показало, что в результате ортезирования напряжения шейного отдела в интересующей области $C_{III} - C_{VI}$ снизились. Распределение напряжений по von-Mises в исследуемых сборках (без ортеза и с отрезом) представлены на рис. 6 и 7 соответственно.

Закключение. Разработанная модель шейного отдела позвоночника об-

ладает следующими свойствами, отличающими ее от ранее созданных:

- 1) геометрия ШОП является полностью параметризованной;
- 2) модель ШОП дополнена параметрически заданными моделями тканевой области шеи, а также моделями металлических фиксирующих пластин крепления и ортезов;
- 3) параметры всей комплексной модели, включающей собственно ШОП, прилегающие ткани, элементы крепления и ортеза, а также нагрузки и закрепления, являются варьируемыми и управляемыми.

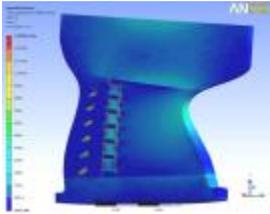


Рис. 6. Распределение напряжений по von-Mises в исследуемой геометрии без ортеза

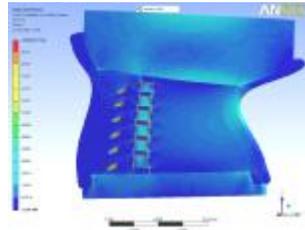


Рис. 7. Распределение напряжений по von-Mises в исследуемой геометрии с ортезом

Анализ модели позволяет заключить, что она полностью отвечает требованиям вариативного анализа для определения оптимальных параметров ортеза по критериям иммобилизации, разгрузки ШОП с учетом индивидуальных особенностей пациента, что позволяет в дальнейшем организовывать многовариантные исследования данной биомеханической системы.

Авторы выражают благодарность к.т.н. Ярьско А.В. и Васильеву А.Ю., сертифицированному преподавателю SolidWorks, за ценные консультации и помощь в создании параметрических моделей элементов ШОП.

Список литературы: 1. Битчук Д.Д., Фадеев О.Г., Истомин А.Г. Ортезирование шейного отдела позвоночника после реконструктивно-восстановительных операций // Международ. научн. практ. конф. 25-летия каф. Травматологии и вертебрологии Харьк. мед. академии последипломного образования. 10-11 апреля 2003. 2. Yoganandan N., Kumaresan S., Voo L., Pintar F. Finite element applications in human cervical spine modeling // Spine, 1996. – Vol. 21. – №15. – PP.1824-1834. 3. Katherina Rojas, Abraham Krivoy, Miguel Cerrolaza Analysis and design of anterior cervical plates using the finite element method // International congress on computational bioengineering M. Doblaré, M. Cerrolaza and H. Rodrigues (Eds.) I3A, España, 2003. 4. Барыш А.Е. Конечное-элементное бисегментарное моделирование позвоночных двигательных сегментов $C_{IV} - C_{VI}$ // Ортопедия, травматология и протезирование. – 2005. – №1. – С.41-49. 5. Natarajan R.N., Chen B.H., An H.S., Andersson G.B.J. Anterior cervical fusion: a finite element model study on motion segment stability including effect of osteoporosis // Spine, 2000. – Vol. 25.– №8. – PP.955-961. 6. Yoganandan N., Kumaresan S., Voo L., et.al. Finite element modeling of C4-C6 cervical spine unit // Med. Eng. Phys. – 1996. – Vol. 18. – №7. – PP.569-574. 7. Nolan J.P., Sherk H.H. Biomechanical evaluation of the extensor musculature of the cervical // Spine, 1988. – Vol. 13. – PP.9-11. 8. Panjabi M.M., Duranceau J., Goel V., et.al. Cervical human vertebrae: quantitative three-dimensional anatomy of the middle and lower regions // Spine, 1991. – Vol.16. – №.8. – PP.861-869.

Поступила в редколлегию 19.09.07