

5. *Кравченко П.П.* Основы теории оптимизированных дельта-преобразований второго порядка. Цифровое управление, сжатие, параллельная обработка информации: Монография. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, – 2008. – 192 с.
6. *Казанцев А.П. Сенин А.А.* Метод сжатия электрокардиосигналов для передачи в реальном масштабе времени. // Биомедицинская радиоэлектроника, – 2008. – № 7. – С. 15-21.
7. *Бай К.А.* Разработка алгоритмов компрессии биомедицинских сигналов с использованием дельта-преобразований второго порядка // Автореф. ... канд. дисс. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2003. – 19 с.

Шульга Алексей Степанович

ООО НПКФ «Медиком МТД».

E-mail: ShulgaAlexey@gmail.com.

347913, г. Таганрог, ул. Яблочкина д. 41, кв. 92, тел.: (960)4594593.

Старший инженер-программист.

Shulga Alexey Stepanovich

R&D "Medicom-MTD" Ltd.

E-mail: ShulgaAlexey@gmail.com.

ap. 92, 41, Yablochkina st, Taganrog, 347913, Russia, Phone: (960)4594593.

Senior software engineer.

Кравченко Павел Павлович

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: kravch@tsure.ru.

347922, г. Таганрог, Октябрьская площадь, д. 2, кв. 43, тел.: (909)4170139.

Кафедра математического обеспечения и применения ЭВМ, профессор, д.т.н.

Kravchenko Pavel Pavlovich

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: kravch@tsure.ru.

43, 2, Oktyabrskaya Square, Taganrog, 347922, Russia, Phone: (909)4170139.

Department of Software and the Use of Computers, Professor, Doctor of Eng. Science.

УДК 612.76

Н.Х. Зиннатова**БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ
ПОЗВОНОЧНИКА В НОРМЕ И ПРИ ПАТОЛОГИЯХ**

В статье рассматриваются вопросы разработки методики использования компьютерного моделирования для диагностики состояния позвоночника в норме и при патологиях.

Позвоночник, компьютерное моделирование; метод конечных элементов; биомеханический метод диагностики.

N.H. Zinnatova**BIOMECHANICAL METHOD OF DIAGNOSTICS OF THE CONDITION
OF THE BACKBONE IN NORM AND AT PATHOLOGIES**

In article questions of working out of a technique of use of computer modelling for diagnostics of a condition of a backbone in norm are considered and at pathologies.

Современная медицина является экспериментальной наукой, способной констатировать факты и рекомендовать средства для ослабления патологических процессов. Однако представляется очевидным тот факт, что необходимо изучение функционирования органов как нормальных, так и патологических, сравнивая эти процессы для прогнозирования их развития, возникновения последствий патологии и выдачи медицинских рекомендаций. Множество проблем в ортопедии и травматологии, связанных с восстановлением травмированных структур позвоночника, свидетельствуют о недостатке необходимой информации о состоянии позвоночника в норме, при различных травмах и при реконструкции. Современные средства визуализации позволяют констатировать изменения в отдельных позвонках, паравerteбральных тканях и всем позвоночнике при патологии на различных стадиях заболевания и этапах лечения, однако для прогнозирования заболевания и развития осложнений необходим биомеханический анализ процессов в позвоночнике. Ни один из современных методов не дает информацию о механических характеристиках измененных структур позвоночника [1]. Численное изучение физиологических и патологических процессов, происходящих в организме человека, в настоящее время представляется одним из самых актуальных и перспективных направлений в научных исследованиях. Что касается построения математических моделей функционирования позвоночного столба, как нормального, так и патологического, необходимых для изучения протекания и развития процессов, то эта проблема остается открытой. Модель дает значительно больше информации о биомеханике позвоночника, чем можно получить современными средствами измерений. При анализе поведения модели сегментов отделов позвоночника, варьирование значениями параметров структур позвоночного столба дает возможность определить роль каждого из них на проявление синдрома, а, следовательно, рассмотреть множество его вариантов и сочетаний с другими симптомами.

Биомеханические исследования позвоночника необходимы для: 1) анализа состояния позвоночника в норме, при нестандартных нагрузках и патологических изменениях; 2) выбора обоснованного метода коррекции; 3) разработки новых методов коррекции; 4) разработки конструкций имплантатов.

При моделировании структур позвоночника ведущее место занимает интегральный компьютерный метод, позволяющий анализировать состояние структур биологических объектов в норме, патологии и при коррекции. Метод представляет собой симбиоз биомеханического компьютерного моделирования и анализа биологических структур по данным клинических (томографического, ангиографического, эхографического) исследований. Сложность геометрических форм структур позвоночника, неоднородность и анизотропия их конструктивных механических свойств предопределили построение математических моделей в рамках механики трехмерного тела и параметрических моделей, построенных в конечно-элементных пакетах CosmosWorks, NASTRAN, COMSOL, ANSYS, интегрированных в CAD-систему Solid Works.

Позвоночный столб образован позвонками, межпозвоночными хрящами (дисками), крестцом, копчиком, связочным и суставным аппаратами (рис. 1,а и 1,б). Построение модели позвоночника может идти по пути моделирования отдельных функций двигательных сегментов. У всех позвонков одинаковый план строения. Суставные отростки всех истинных позвонков имеют суставные капсулы, укрепленные слабыми пучками фиброзной ткани. Суставные отростки относятся к пло-

ским суставам и допускают движение вокруг всех осей. Движения между отдельными позвонками малы, но, суммируясь, они сообщают позвоночному столбу значительные перемещения.

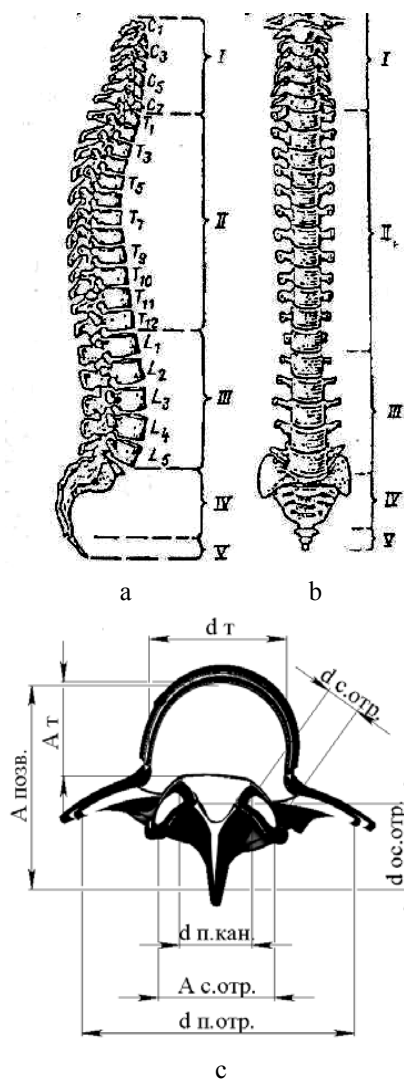


Рис. 1. Позвоночный столб: а – вид справа; б – вид спереди; I – шейный отдел; II – грудной; III – поясничный; IV – крестцовый; V – копчиковый; с – геометрическая схема содержательной модели позвонка

Позвоночный столб может совершать движения вокруг всех осей: фронтальной (сгибание – наклон туловища вперед, разгибание – наклон туловища назад); сагитальной (отведение – наклоны туловища в бок, приведение – выпрямление); вертикальной (вращение – повороты туловища вправо и влево, круговые движения). Наибольшей подвижностью обладают шейный и верхнепоясничный отделы позвоночного столба, наименьшей – грудной. Крестец неподвижен.

В соответствии с расположением, размером, формой и выполняемыми функциями позвонки делят на 5 типов. 7 позвонков небольшого размера образуют

гибкую шею. Затем следуют 12 грудных позвонков, формирующих середину позвоночного столба. Пять поясничных позвонков несут на себе основную массу верхней части туловища и головы. Треугольной формы крестец образован пятью сросшимися и прочно соединенными с костями таза позвонками. Копчик, или хвостовая кость, образован четырьмя сросшимися позвонками и заканчивается копчиковым рогом.

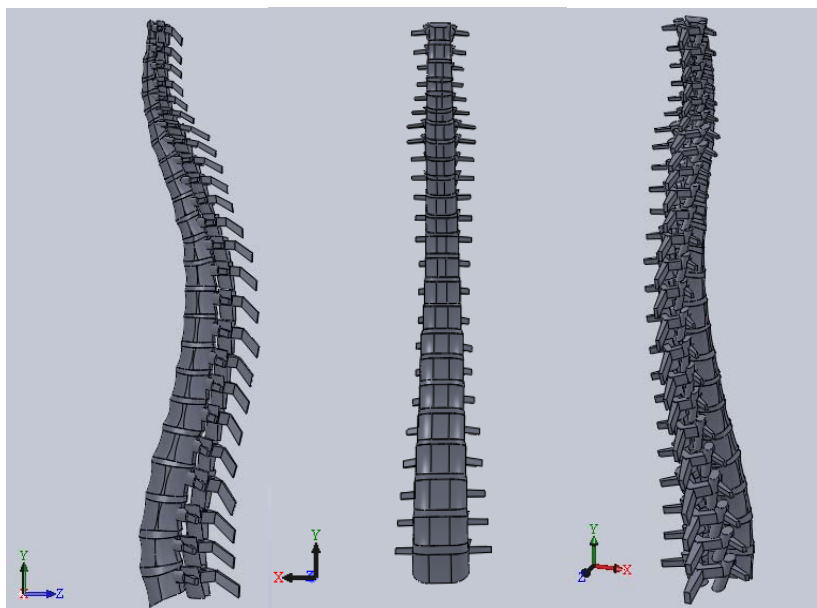


Рис. 2. Проекция компьютерной трехмерной модели 3-х отделов позвоночника

Для создания информационного обеспечения оценки состояния позвоночника необходимо разработать содержательную и компьютерную модели отделов позвоночника и различных вариантов повреждения и остеосинтеза поврежденных участков позвонков, учитывая: а) геометрические и механические параметры структур сегмента поясничного отдела позвоночника; б) изменение механических свойств модели по мере образования регенерата.

При построении содержательной модели введены следующие допущения: 1) материал костей, соединительных элементов однородный и изотропный; 2) среда сплошная, начальные напряжения в структурах отсутствуют.

Геометрическая модель позвоночника в норме в 3-х проекциях (рис. 2) построена на основе данных, полученных в результате послойной визуализации томографических снимков (женщина, 23 года): $d_T = 40$ мм; $d_{с.отр} = 10$ мм; $d_{ос.отр} = 25$ мм; $d_{п.кан} = 21$ мм; $d_{п.отр} = 80$ мм; $A_{с.отр} = 34$ мм; $A_{позв} = 60$ мм; $A_T = 28$ мм (см. рис. 1,с).

Значения модулей нормальной упругости E и коэффициентов Пуассона ν для: 1) костного слоя $E_{кc} = 161$ МПа, $\nu_{кc} = 0,25$; 2) спонгиозной части $E_c = 0,75$ МПа, $\nu_c = 0,45$; 3) гиалиновой пластинки $E_T = 2,43$ МПа, $\nu_c = 0,4$; 4) межпозвоночных дисков $E_T = 57$ МПа, $\nu_c = 0,4$ [2].

Биомеханические модели построены в рамках механики трехмерного тела и реализованы при использовании численного метода, метода конечных элементов (рис. 3,а).

Задано жесткое защемление по нижней поверхности позвонка L5. К верхней поверхности позвонка С1 приложена нагрузка 2 МПа (рис. 3,b).

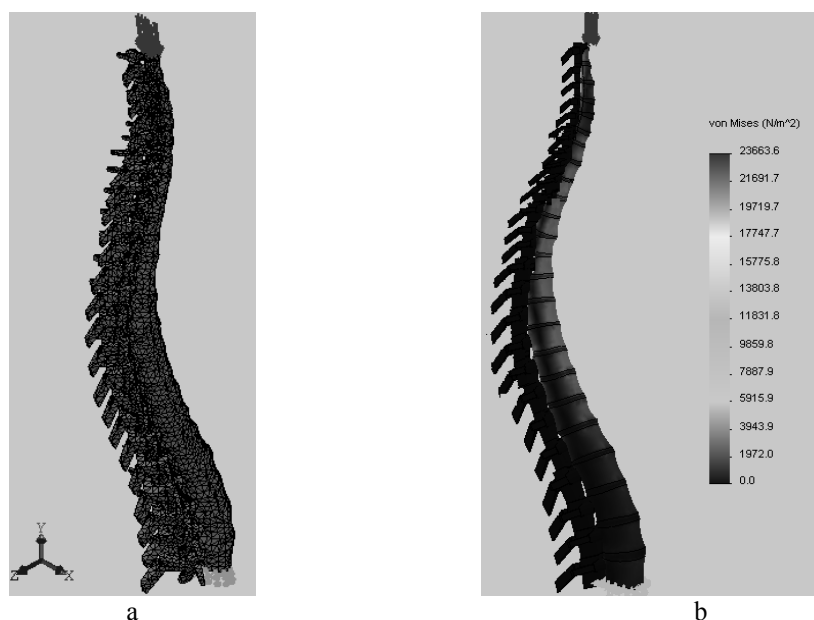


Рис. 3. Конечно-элементная модель (45000 элементов (a)) и эпюра напряжений позвоночника при $P=2$ МПа (b)

Сопоставлены результаты интегральных экспериментальных исследований предельных нагрузок межпозвонковых дисков поясничного отдела позвоночника с результатами проведённых вычислений, учитывающих вариации модуля упругости в норме и при патологиях (табл.1).

Наибольшее значение предельного усилия для шейных межпозвоночных дисков составляет 5,4 кН у мужчин и 3,4 кН у женщин. Вне зависимости от пола и возраста минимальной несущей способностью обладают грудные диски 1-3, расположенные между позвонками T1 – T2, T2 – T3, T3 – T4, максимальной – поясничные диски.

Таблица 1

Возраст (лет)	Предельные нагрузки $P \cdot 10^{-3}$ Н					
	Женщины			Мужчины		
	Эксперимент норма	Вычисления		Эксперимент норма	Вычисления	
	норма	патология		норма	патология	
20	7,1	6,3-6,8	4,5-7,0	8,2	6,8-7,8	5,0-8,0
70	4,2	2,7-3,3	1,9-3,0	5,3	3,3-4,1	2,7-4,0

Предельная нагрузка P на диск при растяжении для возрастной группы от 20 до 30 лет составляет в шейном отделе 1050 ± 145 Н, в верхнегрудном – 1420 ± 163 Н, в нижнегрудном – 2910 ± 215 Н, в поясничном – 3940 ± 246 Н [3].

Разработанный метод позволяет проводить биомеханический анализ состояния структур позвоночника пациента при остеохондрозе, переломах тел позвонков, дегенерации и грыже межпозвонковых дисков, спондилолистезе и при

предоперационном прогнозировании результатов декомпрессионных и стабилизирующих хирургических операций на позвоночнике. При различных физиологических нагрузках позволит определить места критических нагрузок при воздействии силы в различных направлениях (падение, прыжок, изгиб).

Построенные компьютерные модели могут быть положены в основу разработки метода предоперационного прогнозирования позвоночника при различных патологических образованиях, коррекции и протезирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Карих Р.И., Ревенко Т.А., Жигарев В.Е.* Сравнительная оценка эффективности методов стабилизации позвоночника в биомеханическом аспекте. – Рига: Медицинская биотехника: В 4 т. Т. 2, 1996. – С. 97–108.
2. *Цурова Н.Х.* Биомеханическое моделирование и исследование сегмента поясничного отдела позвоночника // Известия СПбГЭТУ (ЛЭТИ). – 2008. – №3. – С. 73-78.
3. *Бегун П.И., Шукейло Ю.А.* Биомеханика: Учебник для вузов. – СПб.: Политехника, 2000. – 463 с.

Зиннатова Надежда Хамбертовна

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ».

E-mail: cnx@nm.ru.

197376, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5, тел.: (904)6173723.

Аспирантка.

Zinnatova Nadezhda Hambertovna

St.-Petersburg state electrotechnical university «LETI»

E-mail: cnx@nm.ru.

5, Prof. Popov str., St. Petersburg, 197376, Russia, Phone: (904)6173723.

Post-graduate student.

УДК 004.942:616.01/-099

М.Ю. Оганисян

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУР ПАТОЛОГИЧЕСКИ ИЗМЕНЕННОГО ЛЕВОГО ЖЕЛУДОЧКА СЕРДЦА ДО И ПОСЛЕ КОРРЕКЦИИ

Разработан компьютерный метод для исследования левого желудочка сердца, представляющий собой симбиоз биомеханического и клинического исследований, который позволяет проводить предоперационное прогнозирование.

Моделирование; биомеханика; патология; сердце.

M.Ju. Oganisyan

COMPUTER MODELLING AND BIOMECHANICAL RESEARCHES OF STRUCTURES PATHOLOGICALLY CHANGED LEFT VENTRICLE OF HEART BEFORE CORRECTION

The complex computer method for left ventricle of heart monitoring is developed. The method represents the symbiosis of biomechanical and clinical research and allows realize the preoperative prediction of critical state for left ventricle of heart.

Modelling; biomechanics; a pathology; heart.