

## Моделирование позвоночника

Дмитриев Сергей Валерьевич

Новосибирский Государственный Технический Университет

sdmitriew@gmail.com

### ВВЕДЕНИЕ

Оперативное лечение деформаций позвоночника остается актуальной задачей современности и одной из наиболее трудных проблем травматологии и ортопедии поскольку количество этих деформаций не имеет тенденций даже к уменьшению, а меры профилактики деформаций позвоночника и консервативное их лечение или малоэффективны или невозможны.

Наряду с этим все больше ортопедов и травматологов устремляют свои усилия на разработку наиболее эффективных способов коррекции деформаций позвоночника. Причем, если на заре своего становления вертебрология решала вопросы коррекции умеренно выраженных деформаций, то в настоящее время делаются попытки коррегировать очень грубые и сложные деформации, лечение которых раньше было неосуществимо, или лечебные пособия носили паллиативный характер.

Изучение патологии позвоночника методами моделирования, требует постоянного сопоставления получаемых результатов с нашими представлениями об уже изученных сторонах этой проблемы, а так же подтверждения выявляемых закономерностей или другими экспериментальными методами или на практике.

Дифференцированный биомеханический анализ патологических состояний позвоночника диктует необходимость разработки классификаций различных видов деформаций позвоночника на основе количественных показателей.

### 1 СТРОЕНИЕ ПОЗВОНОЧНИКА

Позвоночный столб (позвоночник) образован последовательно накладывающимися друг на друга позвонками, которые соединены между собой при помощи межпозвоночных дисков, связок и суставов.

Формируя осевой скелет, позвоночный столб выполняет опорную функцию, служит гибкой осью туловища, участвует в образовании задней стенки грудной и брюшной полостей и таза и является вместилищем для спинного мозга. В позвоночном канале находится спинной мозг. Таким образом, позвоночник принимает участие в защите спинного мозга и внутренних органов от повреждений. В вертикальном положении позвоночный столб образует опору для головы, органов грудной и брюшной полостей. Сила тяжести, воспринимаясь позвоночным столбом, увеличивается сверху вниз, поэтому размеры образующих его сегментов (позвонков) в нижнем отделе столба больше, чем верхних. В позвоночном столбе выделяют пять отделов: шейный, грудной, поясничный, крестцовый и копчиковый. Только крестцовый отдел позвоночного столба является неподвижным, остальные его отделы обладают различной степенью подвижности.

### 2 ОСНОВНЫЕ ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Длина позвоночника по кривизне

$$L_s = Hb_2 + Hb_3 + \dots + Hb_{23} + Hd_2 + Hd_3 + \dots + Hd_{23}$$

Угол наклона тела позвонка в сагиттальной плоскости:

$$Fb_i = \arg(x^b_i - x^n_i; y^b_i - y^n_i)$$

Угол наклона тела позвонка во фронтальной плоскости:

$$Fbz_i = \arg(z^b_i - z^n_i; y^b_i - y^n_i)$$

Угол наклона диска в сагиттальной плоскости:

$$Fd_i = \arg(x^n_i - x^b_{i+1}; y^n_i - y^b_{i+1})$$

Угол наклона диска во фронтальной плоскости:

$$Fdz_i = \arg(z^n_i - z^b_{i+1}; y^n_i - y^b_{i+1})$$

Длина хорды дуги:

$$L_c = \sqrt{(x_0^b - x_{nc}^n) + (y_0^b - y_{nc}^n)}$$

$$L_t = \sqrt{(x_{nc}^b - x_{nc+nt}^n) + (y_{nc}^b - y_{nc+nt}^n)}$$

$$L_t = \sqrt{(x_{nc+nt}^b - x_{nc+nt+nl}^n)^2 + (y_{nc+nt}^b - y_{nc+nt+nl}^n)^2}$$

Модель движения позвонка

Основываясь на формализованном описании анатомического строения позвонков в сагиттальной плоскости, нами разработана математическая модель анализа перемещений позвонка при сгибании и разгибании. Общая схема представлена на рисунке 1.

1. Перемещение вышележащего позвонка в плоскости суставной поверхности верхних суставных отростков нижележащего позвонка;
2. Поворот вышележащего позвонка вокруг верхушки верхнего суставного отростка нижележащего позвонка.

Граничными условиями для каждой фазы является перемещение точки каудо-вентрального угла тела позвонка по-вертикали не более 1/2 высоты межтелового промежутка, и не более 3.0 мм. по-горизонтالي.

$L_i$  - длина верхней суставной поверхности нижележащего позвонка в сегменте;

$L_s$  - длина нижней суставной поверхности верхнего в сегменте;

$C$  - точка каудо-вентрального угла перемещаемого позвонка;

$H_d$  - высота вентрального отдела межпозвоночного диска;

$S_b$  - сагиттальный размер базальной замыкательной пластинки перемещаемого позвонка;

$S_h$  - сагиттальный размер покровной замыкательной пластинки нижележащего позвонка.

Угол  $AL$  - угол наклона суставной поверхности верхнего суставного отростка нижележащего позвонка;

Рассчитываемые величины:

$\alpha$  - угловое смещение между отрезками  $L_i$  и  $L_S$ .

$X_c$  - линейное перемещение точки  $C$  по оси  $X$ ;

$Z_c$  - линейное перемещение точки  $C$  по оси  $Z$ ;

Перемещение точки  $a$  в новое положение с координатами  $X_c, Z_c$  (рисунок 2) происходит за две фазы: сначала за счет скольжения по суставной поверхности точка  $a$  перемещается в положение точки  $a'$ , а затем происходит поворот вокруг точки с координатами  $X_0, Z_0$  по окружности радиусом  $R$ . Отрезок  $a'-a$  параллелен суставной поверхности. Таким образом, отрезок  $a'-a$  равен смещению по суставной поверхности, а угол  $\alpha$  повороту тела позвонка.

Необходимо решить следующую задачу: по заданным значениям  $X_c, Z_c$  найти угол  $\alpha$  и длину отрезка  $a'-a$ , при этом считаются известными координаты  $X_0, Z_0, \varphi$  и положение точки  $a$  т.е. исходная высота межпозвонкового диска (величина  $h$ ). Для решения этой задачи необходимо решить систему уравнений:

$$\begin{cases} z - h = kx \\ (X - X_2)^2 + (Z - Z_2)^2 = R^2 \end{cases}$$

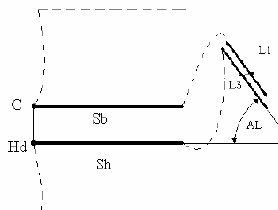


Рисунок 1: Общая схема модели перемещения позвонка в сагиттальной плоскости

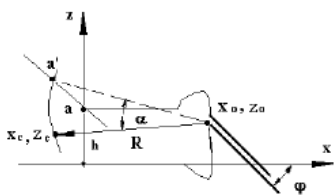


Рисунок 2: Расчетная схема перемещения позвонка в сагиттальной плоскости

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основываясь на основании теории [2] и приведенном выше математическом аппарате разрабатывается система, позволяющая спрогнозировать компенсаторные реакции в

позвоночнике человека при различных механических патологиях. На рисунке 3 изображен пример механической деформации с учетом смещения позвонков в сагиттальной плоскости.

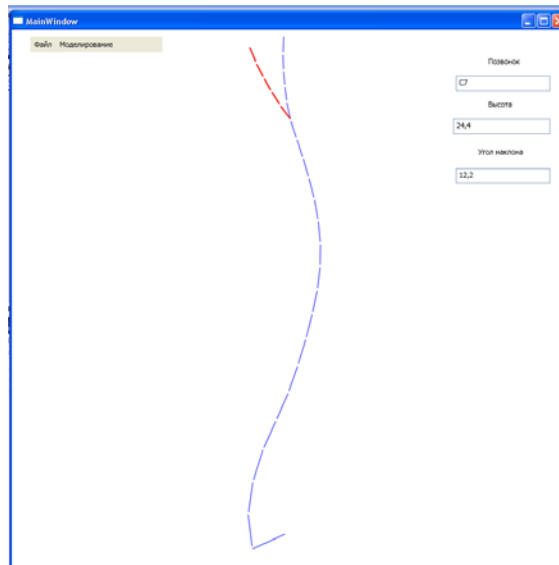


Рисунок 3: Пример патологической деформации, со смещением вышележащих позвонков

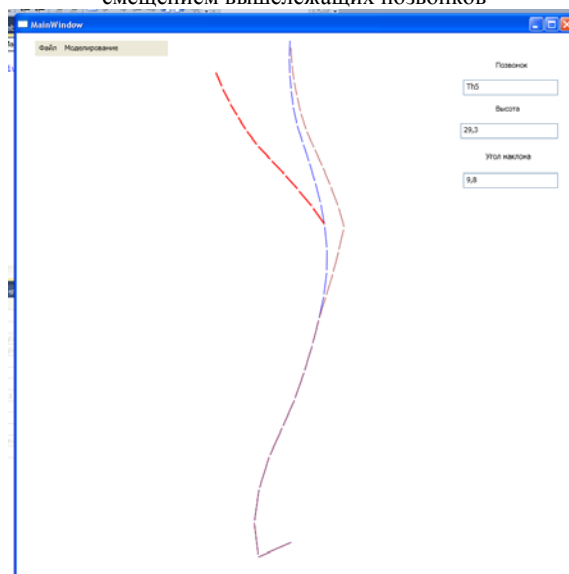


Рисунок 4: Пример скомпенсированной деформации

## ССЫЛКИ

- [1] Хвсюк Н.И. Кинематика позвоночного столба в сагиттальной плоскости в норме и при дегенеративной нестабильности // Ортопедия травматология и протезирование.- 1978.-№ 9.-С.29-34.
- [2] Гладков А.В. Создание системы клинко-биомеханического анализа состояния позвоночника при различной патологии: Диссертация д-ра мед. наук.- Новосибирск, 1994.-320с.