

Головаха М.Л.<sup>1</sup>, Тяжелов А.А.<sup>2</sup>, Летучая Н.П.<sup>3</sup>, Суббота И.А.<sup>2</sup>, Карпинский М.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Запорожский национальный медицинский университет МЗ Украины, г. Запорожье, Украина

<sup>2</sup>ГУ «Институт патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко НАМН Украины», г. Харьков, Украина

<sup>3</sup>КУ «Днепропетровская городская студенческая поликлиника» ДОС, г. Днепр, Украина

## Биомеханические аспекты экспериментального исследования функционального лечения S-образной сколиотической деформации позвоночника

**Резюме. Актуальность.** В нашей клинической практике был разработан комплекс физических упражнений, во главу которого были поставлены топические особенности деформации позвоночника. **Цель:** на основе математического моделирования обосновать эффективность физиофункционального лечения пациентов с S-образной деформацией позвоночника. **Материалы и методы.** В качестве экспериментального исследования мы использовали математическое моделирование, основой которого являлась математическая модель позвоночника, позволяющая изучить распределение внутренних напряжений в позвоночных двигательных сегментах при различных вариантах их нагружения. На данной математической модели были проверены 15 упражнений. **Выводы.** Исследование с помощью математической модели позволило изучить дифференцированное воздействие методов кинезотерапии на S-образную деформацию позвоночника в зависимости от ее вершины. Данное исследование позволило биомеханически обосновать показания и противопоказания для использования различных физических упражнений при лечении сколиотической болезни. Проведенное исследование позволило усовершенствовать методологический подход к разработке комплексов лечебной гимнастики с учетом топических особенностей деформации позвоночника.

**Ключевые слова:** сколиоз; экспериментальное моделирование; функциональное лечение

### Введение

Сколиотическая болезнь является объектом многочисленных разработок и исследований самых различных специалистов медицины. Она по праву занимает одно из ведущих мест в реестре патологий пациентов ортопедо-травматологического профиля. Многогранность подхода к одной из сложнейших тем ортопедии, вертебрологии и педиатрии абсолютно обоснованна. Данные говорят не только о росте заболеваемости сколиозом в целом, но и об увеличении числа пациентов с тяжелыми степенями деформации [5]. В последнее время в лечении данной патологии хирургический подход к исправлению деформации позвоночника дает хорошие результаты [2], в то же время ведение паци-

ентов активно включает в свою программу такой мощнейший фактор, как функциональное лечение, и для пациентов после операции, и для больных, которым хирургическое вмешательство не показано. Разработано много различных методик лечебной гимнастики [3, 4, 9, 10], однако оценить все предложенные комплексы субъективно не всегда представляется возможным. Имеются только единичные работы, в которых подбор специальных упражнений обоснован с позиции биомеханики [4].

В нашей клинической практике был разработан комплекс физических упражнений, во главу которого были поставлены топические особенности деформации позвоночника [7].

**Цель:** на основе математического моделирования обосновать эффективность физиофункционального лечения пациентов с S-образной деформацией позвоночника.

## Материалы и методы

В качестве экспериментального исследования мы использовали математическое моделирование, основой которого являлась математическая модель позвоночника, позволяющая изучить распределение внутренних напряжений в позвоночных двигательных сегментах при различных вариантах их нагружения.

В Институте патологии позвоночника и суставов имени проф. М.И. Ситенко в лаборатории биомеханики была разработана математическая модель позвоночника с S-образной сколиотической деформацией, которую использовали для анализа напряженно-деформирующего состояния. Следует отметить, что нас прежде всего интересовало распределение внутренних напряжений в нашей модели, а не величина создаваемых напряжений под воздействием данной силы, поэтому во всех случаях нагрузка принималась равной 10 Н. В случаях применения дополнительных компенсирующих усилий, связанных с поддержанием ту-

ловища в исходном положении, например при одноопорном стоянии, использовалась дополнительная нагрузка, которая была равна 2Н.

Модель состоит из следующих составляющих: верхнего опорного комплекса (1), позвоночного столба (2), нижнего опорного комплекса (3) (рис. 1).

Верхний опорный комплекс представляет собой два реберных кольца, соединенных с двумя верхними позвонками и связанных между собой элементами с механическими свойствами, характерными для межреберной мышечной ткани (рис. 2а).

Блок, моделирующий позвоночный столб, состоит из 15 позвонков, соединенных между собой элементами с механическими свойствами межпозвоночных дисков. Он состоит из грудопоясничного отдела позвоночника, имеющего S-образное искривление (рис. 2б). Искривление моделировалось за счет клиновидности 9 позвонков (с углом наклона опорных поверхностей позвонков от 1 до 6°). Нижний опорный комплекс представлен одним элементом, который обеспечивает положение нагрузок (рис. 2в).

При моделировании движений верхних конечностей зоны нагружения формировали в области лопаток (рис. 3а), движения нижних конечностей моделировали созданием зон нагружения в области вертлужных впадин (рис. 3б).

При выполнении расчетов использовали механические свойства биологических тканей по данным Березовского [1]. Цифровые значения основных характеристик тканей приведены в табл. 1.

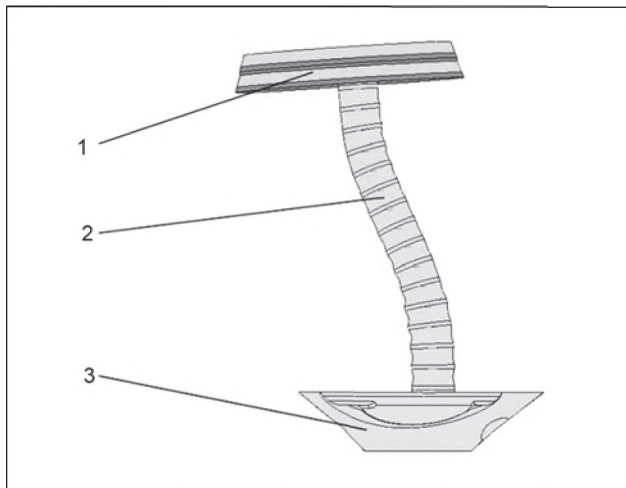
На данной математической модели были проверены 15 упражнений.

## Результаты и обсуждение

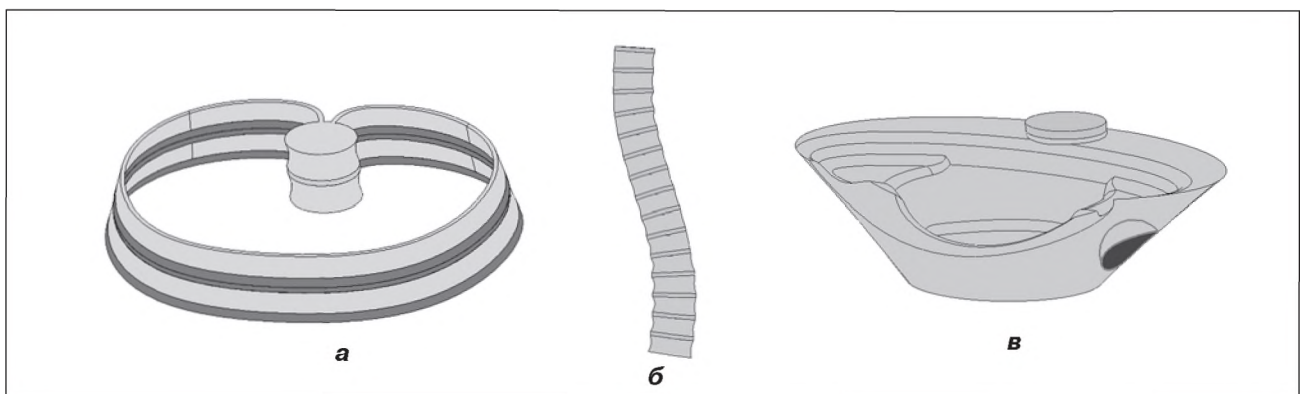
Приведем результаты анализа некоторых воздействий упражнений при S-образных сколиотических деформациях позвоночника.

**Упражнение 1.** Стоя, руки вверх, сгибание ноги в тазобедренном и коленном суставах.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 4, при которой опора на левую нижнюю конечность представлена силой  $P_1$ , усилие, необходимое для удержания таза в



**Рисунок 1. Математическая модель сколиотической осанки**



**Рисунок 2. Элементы модели: а — верхнего опорного комплекса; б — позвоночного столба при S-образном искривлении; в — нижнего опорного комплекса**

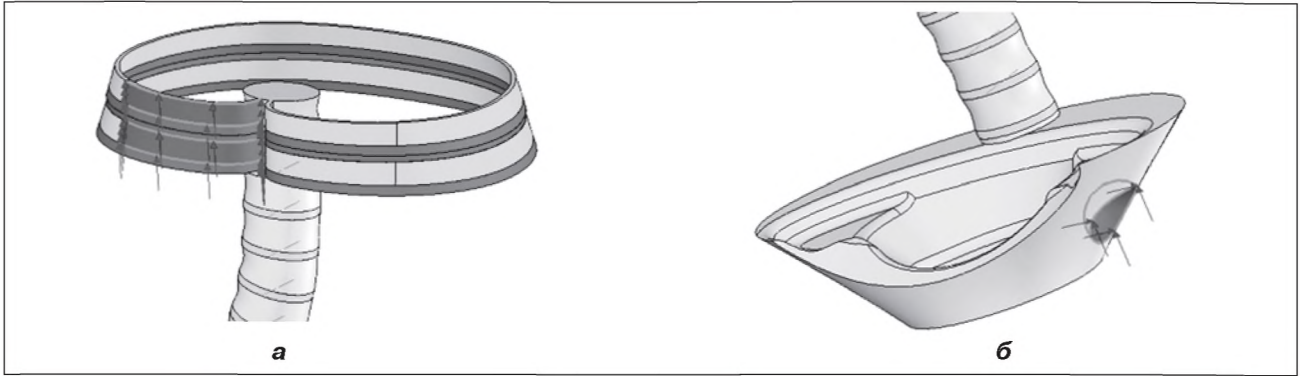


Рисунок 3. Зона приложения усилий: а — вызванных движениями верхних конечностей; б — вызванных движениями нижних конечностей

Таблица 1. Механические свойства материалов, использованных при моделировании

Материал	Модуль упругости E, МПа	Коэффициент Пуассона, $\mu$
Костная ткань	1500	0,29
Межпозвоночный диск	50	0,35
Межреберная мышечная ткань	50	0,32

горизонтальном положении, —  $P_2$ , усилие, вызванное поднятием правой ноги, —  $P_3$ , и поднятые руки создают силы  $P_4$ ,  $P_5$ . Это создает зону растягивающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (черная область, расположенная слева). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений спереди (светло-серая область) и растягивающих — сзади (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном позвонке поясничного отдела. Упражнение способствует исправлению искривления в грудном отделе позвоночного столба при S-образной деформации.

**Упражнение 2.** Лежа на боку, одна рука под головой, вторая вытянута вверх, нога (ноги) в сторону.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 5, при которой поднятая вверх рука создает усилие  $P_3$ , вторая рука является опорой и создает усилие  $P_4$ , поднятые ноги — усилие  $P_1$ , а удержание таза в исходном положении обеспечивается дополнительным усилием  $P_2$ . Это создает зону растягивающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (черная область). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная слева) и растягивающих — справа (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном позвонке поясничного отдела. Упражнение способствует исправлению искривления

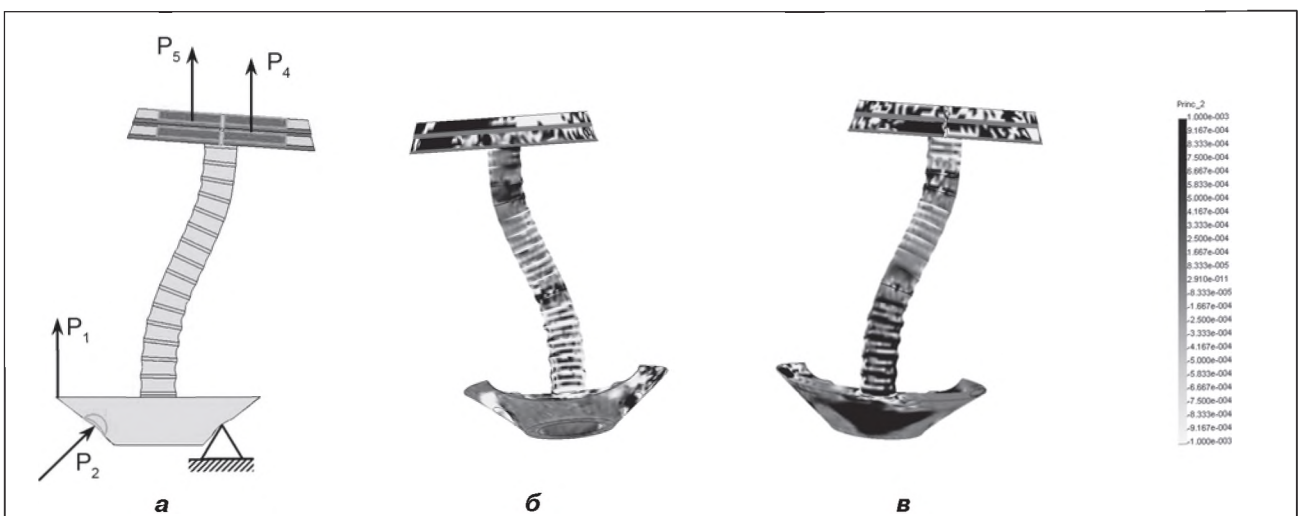


Рисунок 4. Моделирование выполнения упражнения 1: а — схема; б — вид спереди; в — вид сзади

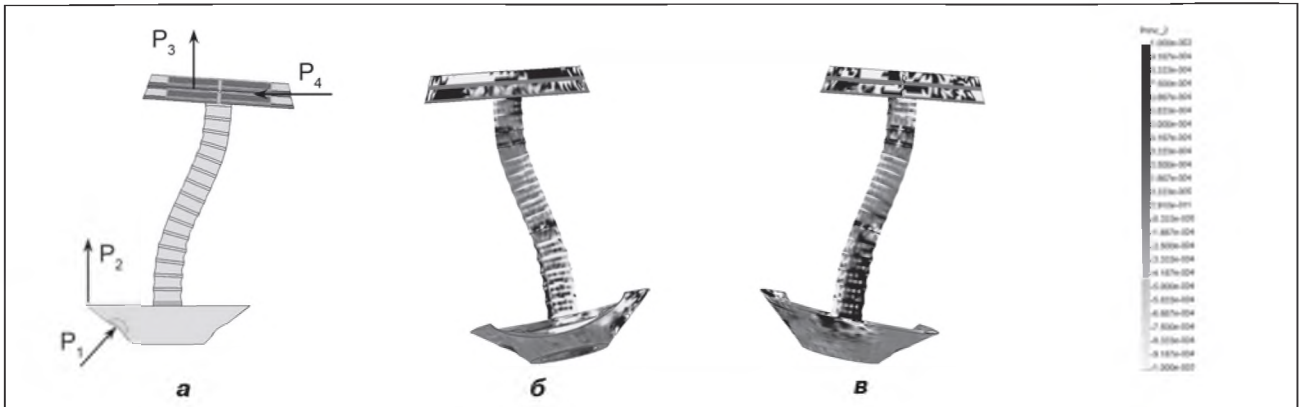


Рисунок 5. Моделирование выполнения упражнения 2: а — схема; б — вид спереди; в — вид сзади

в грудном и поясничном отделах позвоночного столба при S-образной деформации.

**Упражнение 3.** Стоя, одна рука за головой, вторая упирается в таз, на уровне искривления валик.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 6, рука, поднятая вверх, создаст усилие  $P_4$ , валик, прижимаемый рукой, создаст усилие  $P_3$ , приведение ноги — усилие  $P_1$ , а опорная конечность — усилие  $P_2$ . Это создает зоны растягивающих напряжений (черная область) и сжимающих напряжений (светло-серая область) на всем протяжении позвоночного столба, при этом исправляется положение позвоночного столба без создания противоискривления.

**Упражнение 4.** Стоя, одна рука вверх, вторая вниз, выпад в сторону.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 7, при котором рука, поднятая вверх, создает усилие  $P_4$ , а рука, опущенная вниз, —  $P_3$ , нога, совершающая выпад в сторону, создает усилие  $P_2$ , а нога, которая остается на месте, —  $P_1$ . Это создает зону растягивающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (черная область). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область,

расположенная слева-спереди) и растягивающих — справа-сзади (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном позвонке поясничного отдела. Упражнение способствует исправлению искривления в грудном и поясничном отделах позвоночного столба при S-образной деформации.

**Упражнение 5.** Стоя, руки вверх, выпад вперед.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 8, при котором поднятые руки создают усилия  $P_3$  и  $P_4$ , нога, выполняющая выпад, создает усилие  $P_2$ , а нога, которая остается на месте, —  $P_1$  (направленное вперед). Это создает зону растягивающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (черная область). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная слева-спереди) и растягивающих — справа-сзади (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном позвонке поясничного отдела. Упражнение способствует исправлению искривления в грудном и поясничном отделах позвоночного столба при S-образной деформации.

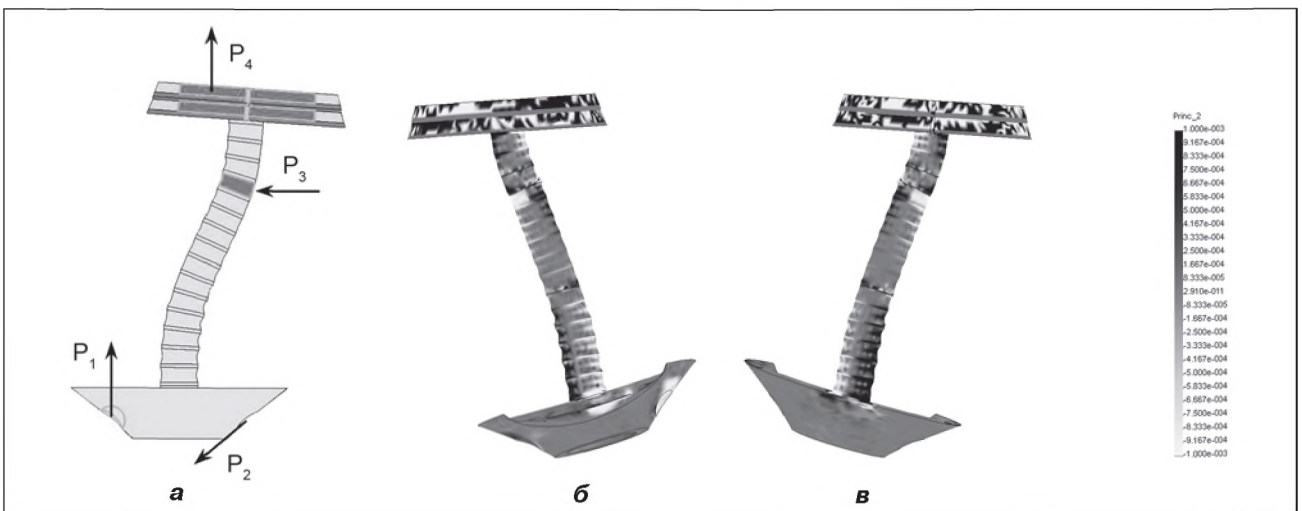


Рисунок 6. Моделирование выполнения упражнения 3: а — схема; б — вид спереди; в — вид сзади

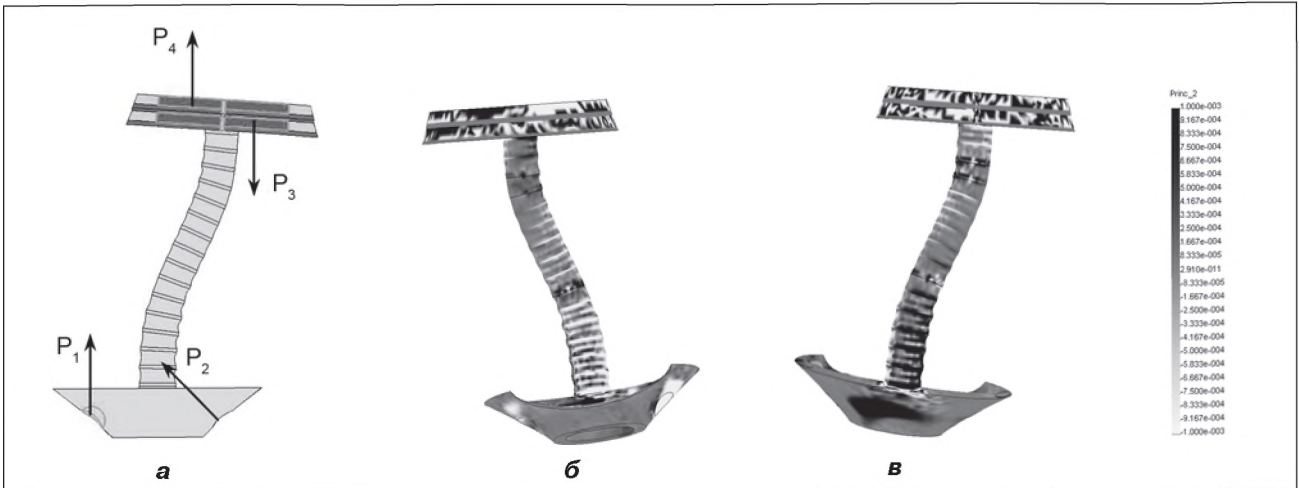


Рисунок 7. Моделирование выполнения упражнения 4: а – схема; б – вид спереди; в – вид сзади

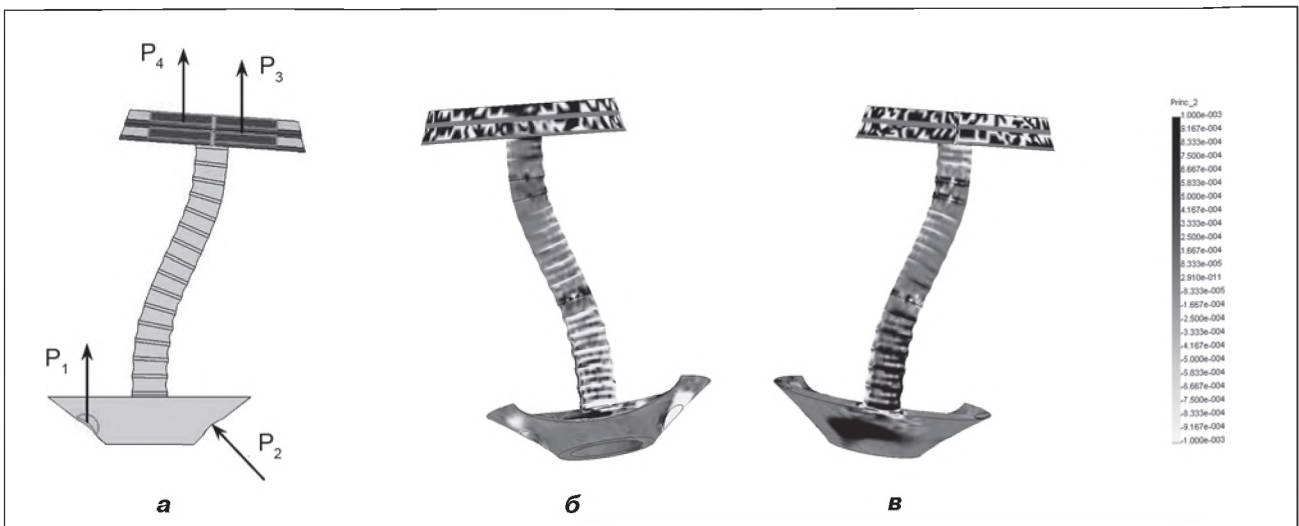


Рисунок 8. Моделирование выполнения упражнения 5: а – схема; б – вид спереди; в – вид сзади

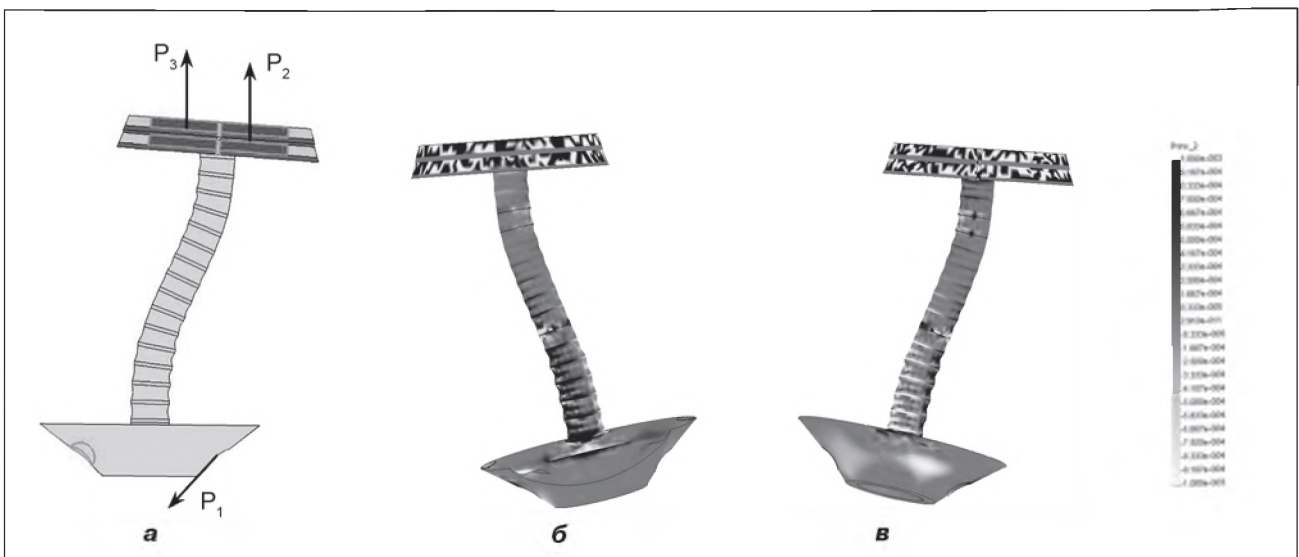


Рисунок 9. Моделирование выполнения упражнения 6: а – схема; б – вид спереди; в – вид сзади

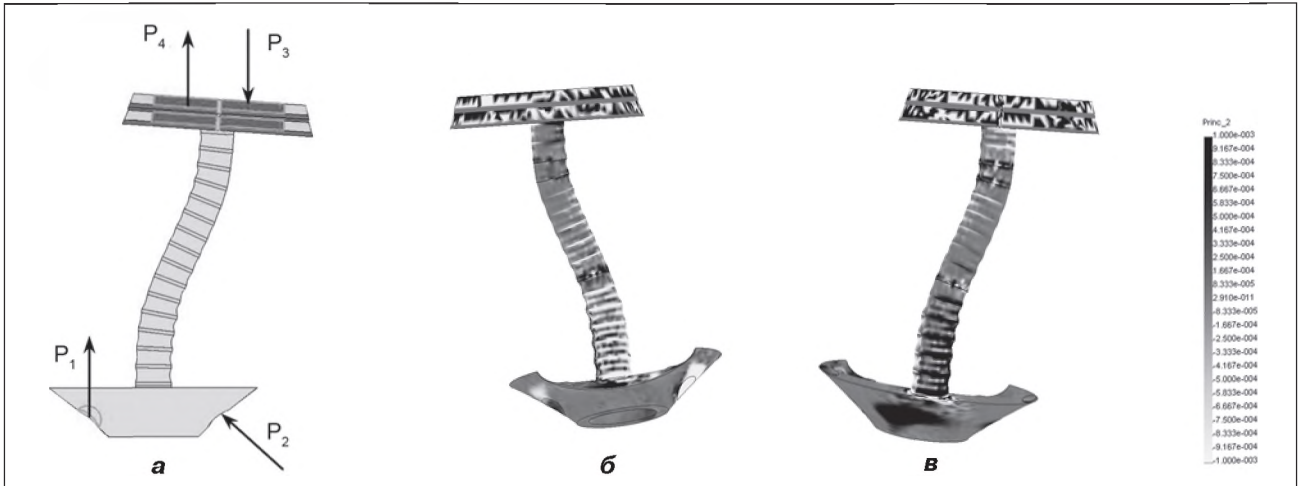


Рисунок 10. Моделирование выполнения упражнения 7: а — схема; б — вид спереди; в — вид сзади

**Упражнение 6.** Лежа на животе, руки вверх, ногу поднять и привести внутрь.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 9, при котором поднятые руки создают усилия  $P_2$  и  $P_3$ , нога, выполняющая движение, создает усилие  $P_1$ . Это не приводит к существенному изменению напряжений в грудном отделе позвоночника. В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная слева) и растягивающих — справа (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к концентрации в ней растягивающих напряжений. Упражнение способствует исправлению искривления в поясничном отделе позвоночного столба при S-образной деформации.

**Упражнение 7.** Стоя, выпад вперед, одна рука вверх, вторая прижата к туловищу.

При S-образном искривлении упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 10, при котором поднятая рука создает усилия  $P_4$ , а рука, прижатая к туловищу, —  $P_3$ , нога, выполняющая выпад, создает усилие  $P_2$ , а нога, которая остается на месте, —

$P_1$  (направленное вперед). Это создает зону растягивающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (черная область). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная слева-спереди) и растягивающих — справа-сзади (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном позвонке поясничного отдела. Упражнение способствует исправлению искривления в грудном отделе позвоночного столба при S-образной деформации.

**Упражнение 8.** Лежа на животе, одна рука перемещается через сторону вверх, вторая заведена за спину, поднимаются голова и верхняя часть туловища.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 11, при котором поднятая рука создает усилия  $P_3$ , а рука, заведенная за спину, —  $P_1$ , движение туловища осуществляется за счет приложения дополнительных усилий  $P_2$  и  $P_4$  (к плечевому поясу),  $P_5$  и  $P_6$  (к тазу). Это создаст зону сжимающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (светло-серая

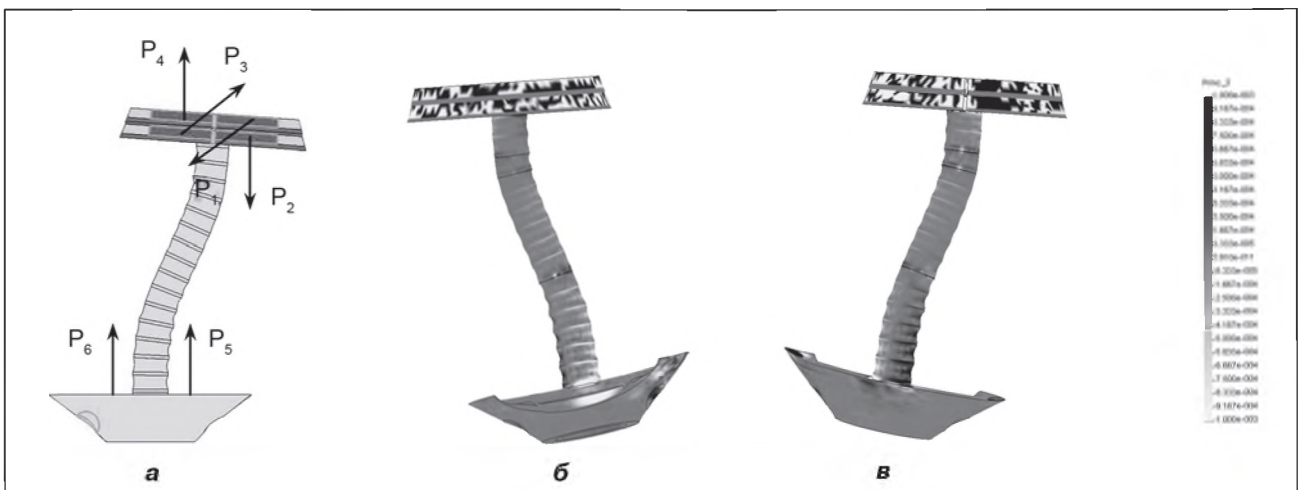


Рисунок 11. Моделирование выполнения упражнения 8: а — схема; б — вид спереди; в — вид сзади

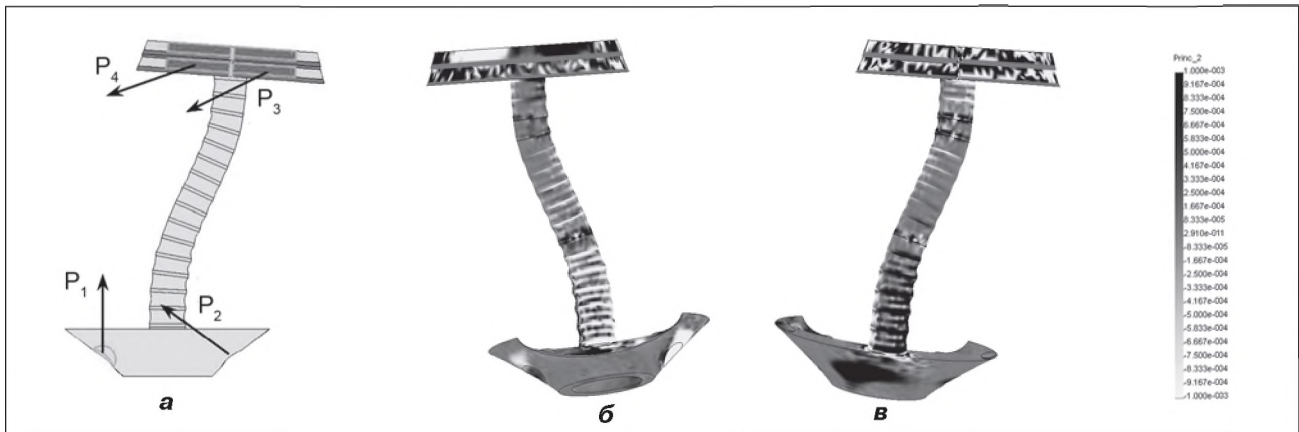


Рисунок 12. Моделирование выполнения упражнения 9: а – схема; б – вид спереди; в – вид сзади

область, расположенная над областью максимальной деформации справа). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная в нижней части поясничного отдела слева) и растягивающих — справа (черная область). Наличие двух вершин искривления приводит к исправлению положения позвонков, но за счет деформации межпозвоночных дисков. Упражнение способствует исправлению искривления в грудном и поясничном отделах позвоночного столба при S-образной деформации.

**Упражнение 9.** Стоя, выпад вперед, руки фиксируются за спиной.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 12, при котором поднятая рука создает усилия  $P_3$  и  $P_4$  (направлены назад), нога, выполняющая выпад, создает усилие  $P_1$ , а нога, которая остается на месте, —  $P_2$  (направленное вперед). Это создает зону растягивающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (черная область). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная слева-спереди) и растягивающих — справа-сзади (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном

растягивающих — справа-сзади (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном позвонке поясничного отдела. Упражнение способствует исправлению искривления в грудном и поясничном отделах позвоночного столба при S-образной деформации.

**Упражнение 10.** Лежа на спине, руки в стороны, опора на плечи и пятки, ноги согнуты в тазобедренном и коленном суставах, одну ногу выпрямить и отвести.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 13, при котором опора на плечи создает усилия  $P_3$ ,  $P_4$ , нога, выполняющая движение, создает усилие  $P_1$  (направленное внутрь-назад), а нога, которая остается на месте, —  $P_2$  (направленное вперед). Это создает зону растягивающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (черная область). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная слева-спереди) и растягивающих — справа-сзади (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном

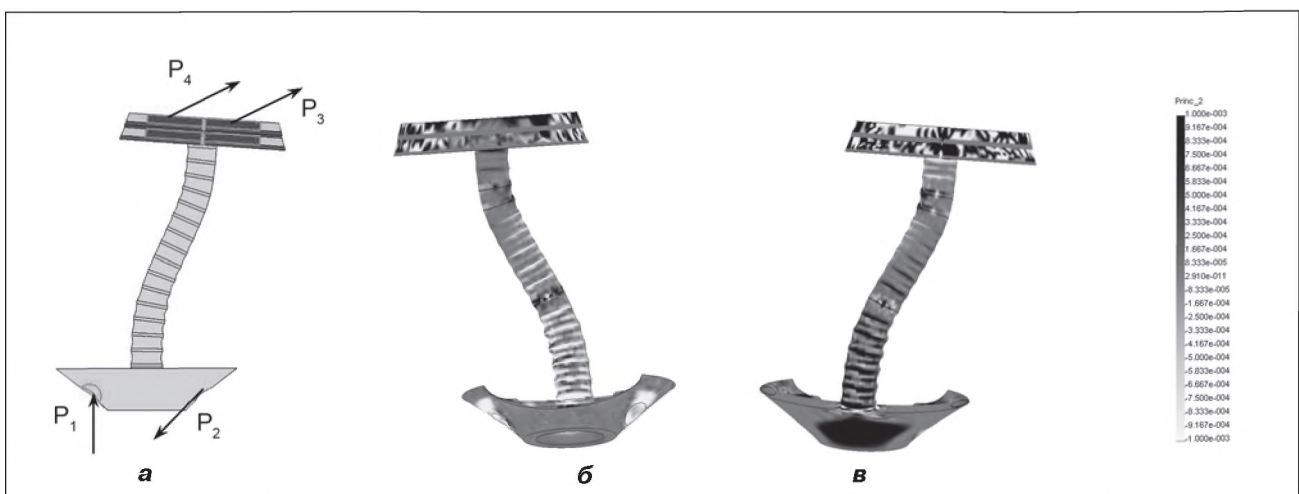


Рисунок 13. Моделирование выполнения упражнения 10: а – схема; б – вид спереди; в – вид сзади

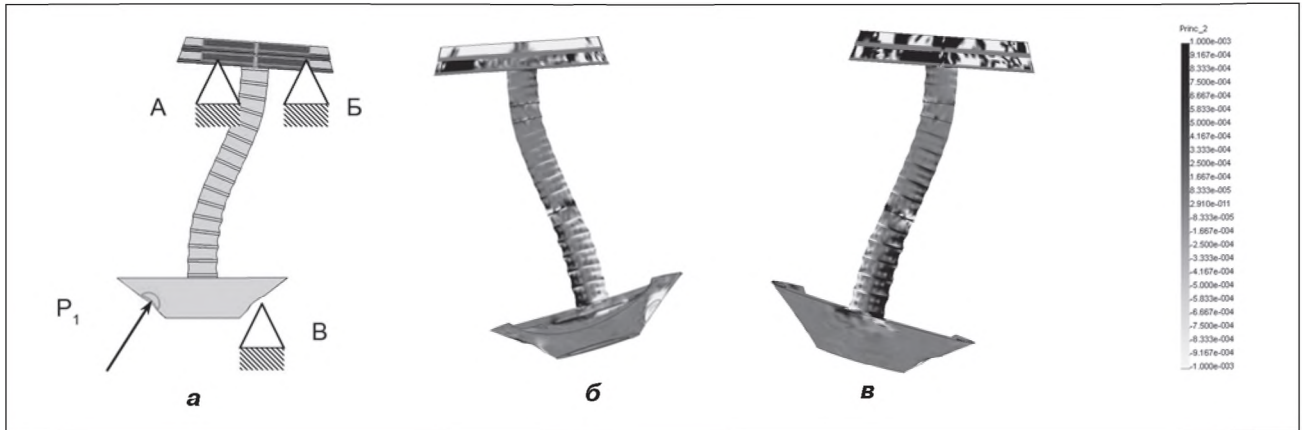


Рисунок 14. Моделирование выполнения упражнения 11: а — схема; б — вид спереди; в — вид сзади

позвонке поясничного отдела. Упражнение способствует исправлению искривления в грудном и поясничном отделах позвоночного столба при S-образной деформации.

**Упражнение 11.** Лежа на скамейке, опора на руки и пятки, таз поднять, одну ногу согнуть и повернуть наружу.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 14, при котором опора на руки создает усилия  $P_3, P_4$ , нога, выполняющая движение, создает усилие  $P_1$  (направленное внутрь-назад-вверх), а нога, которая остается на месте, —  $P_2$  (направленное вперед). Это создает зону сжимающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (светло-серая область, расположенная над областью максимальной деформации справа) и зону растягивающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (черная область, расположенная над областью максимальной деформации слева). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная в нижней части поясничного отдела слева) и растягивающих — справа (черная область). Наличие двух вершин искривления приводит к исправлению положения позвонков, но за счет

деформации межпозвоночных дисков. Упражнение способствует исправлению искривления в грудном и поясничном отделах позвоночного столба при S-образной деформации.

**Упражнение 12.** Лежа на спине, руки вверх (в покое), нога отводится в тазобедренном суставе, колено согнуто.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 15, при котором нога, выполняющая выпад, создает усилие  $P_1$  (направленное вперед-вверх-внутри). Это создает зону растягивающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (черная область). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная слева-спереди) и растягивающих — справа-сзади (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном позвонке поясничного отдела. Упражнение способствует исправлению искривления в грудном и поясничном отделах позвоночного столба при S-образной деформации.

**Упражнение 13.** Лежа на животе, рука с усилием направляется вверх.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 16, при

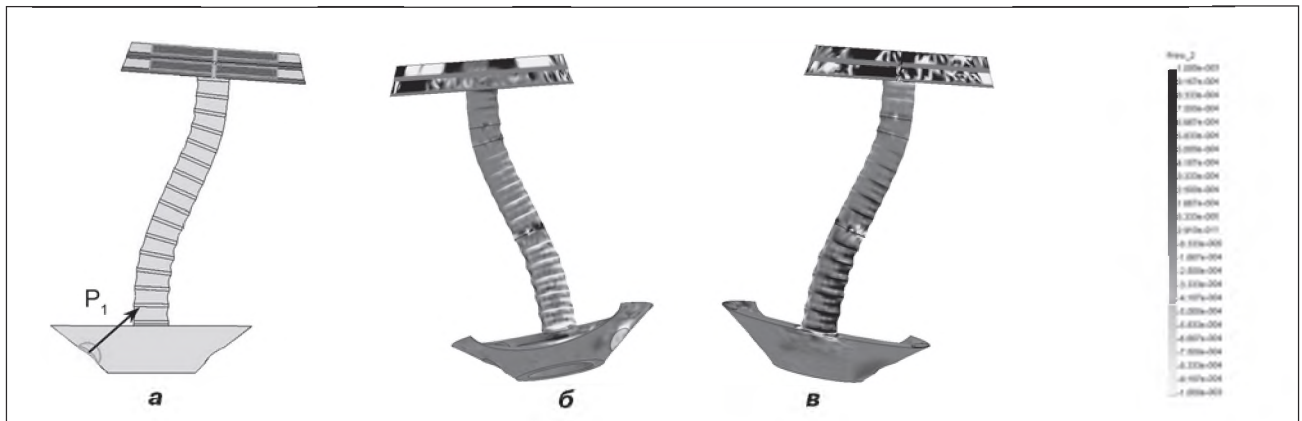


Рисунок 15. Моделирование выполнения упражнения 12: а — схема; б — вид спереди; в — вид сзади



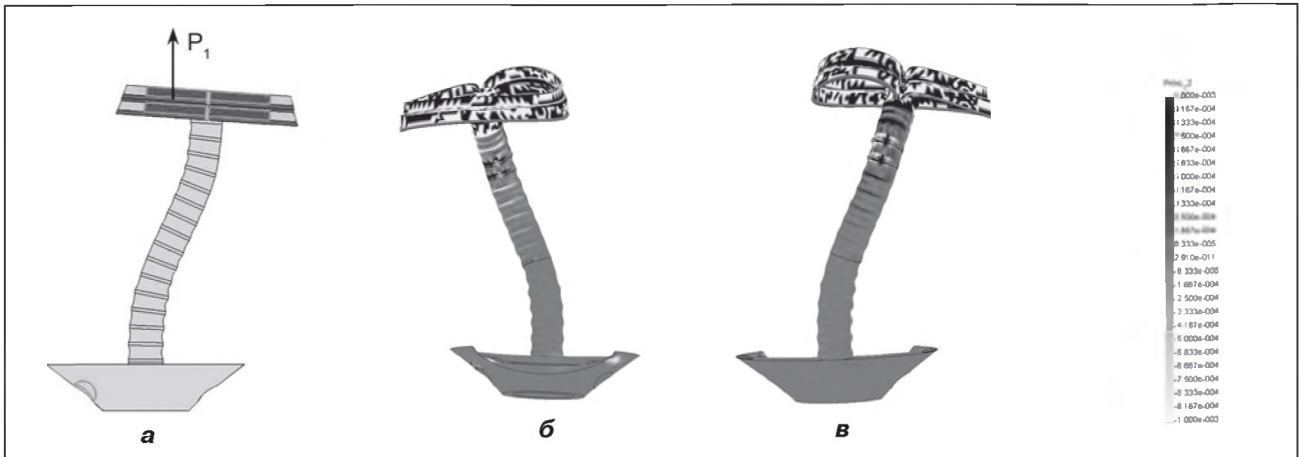


Рисунок 16. Моделирование выполнения упражнения 13: а – схема; б – вид спереди; в – вид сзади

котором поднятая рука создает усилия  $P_1$ . Это воздействует только на грудной отдел позвоночника и создает в области вершины искривления позвоночника зону растягивающих напряжений (черная область, расположенная спереди) и зону сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная сзади). Упражнение способствует исправлению искривления в грудном отделе позвоночного столба при S-образной деформации.

**Упражнение 14.** Лежа на спине, руки в стороны, вращение ногами (при движении по часовой стрелке).

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схемам нагружения, приведенным на рис. 17, так как вращение можно разделить на две фазы: первая – подъем ног, вторая – опускание, при которых усилия  $P_3$  и  $P_4$  создаются мышцами живота, ноги, выполняющие движение, создают усилия  $P_2$  и  $P_1$  (которые меняют свое направление в зависимости от фазы движения).

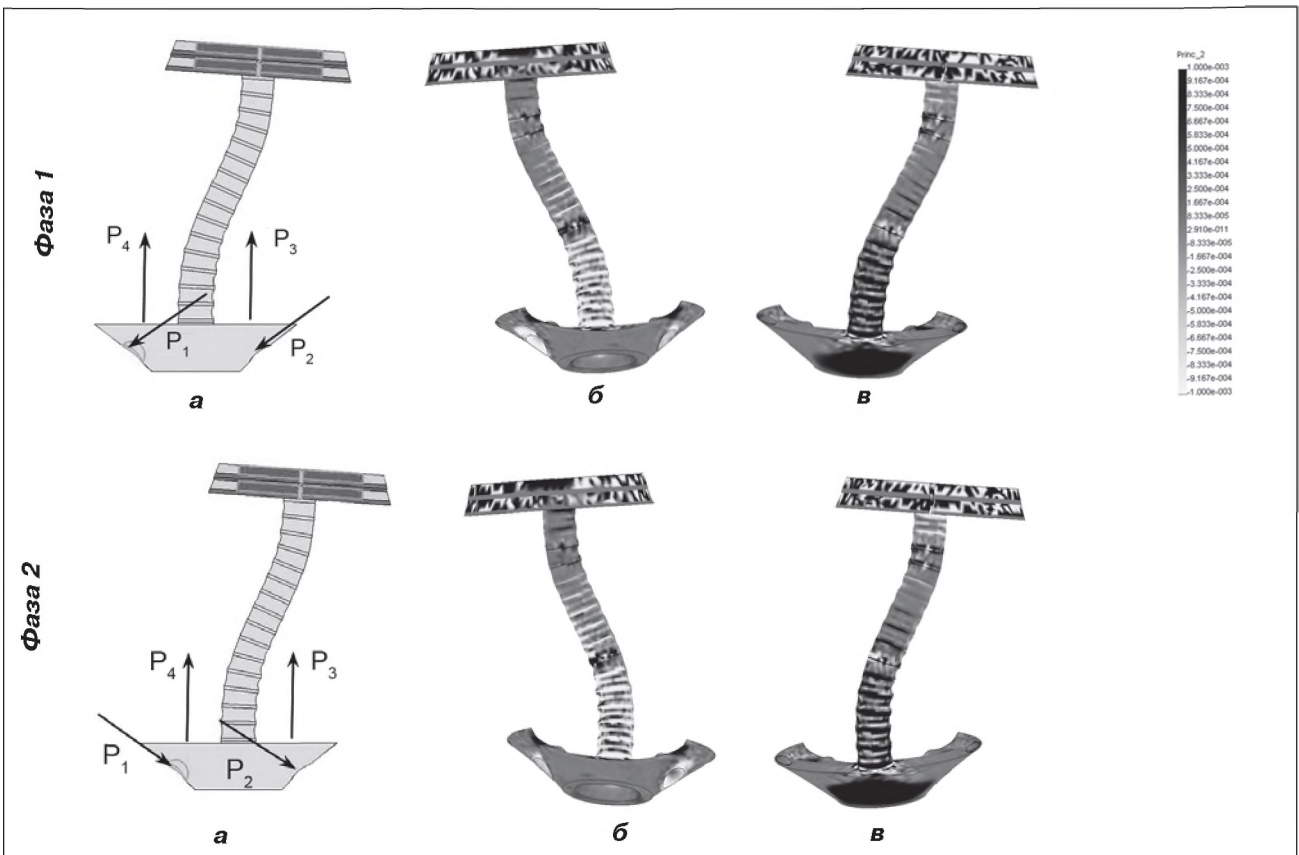
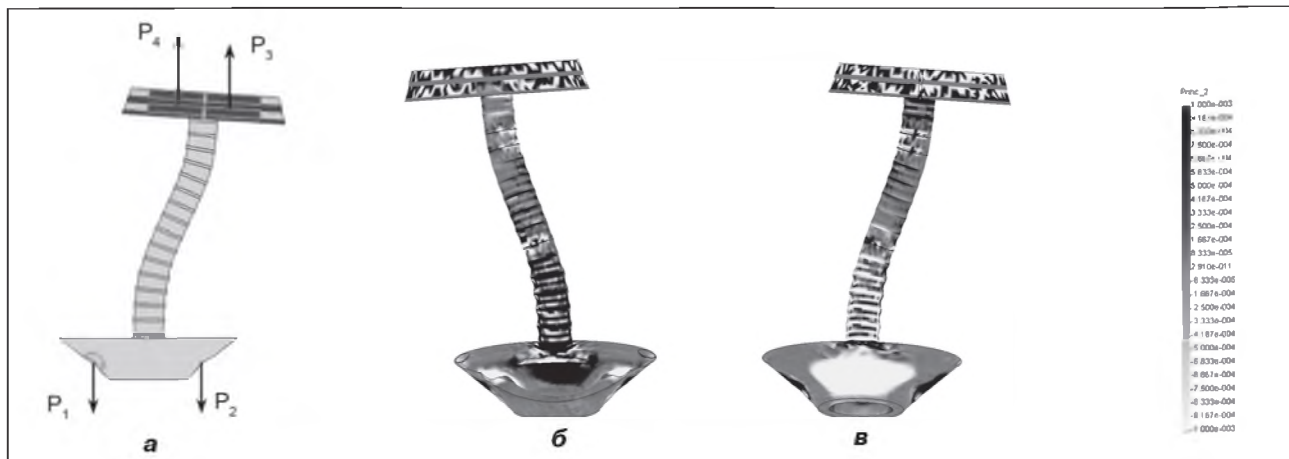


Рисунок 17. Результаты нагружения модели при выполнении упражнения 14. Фаза 1: а – схема; б – вид спереди; в – вид сзади. Фаза 2: а – схема; б – вид спереди; в – вид сзади



**Рисунок 18. Моделирование выполнения упражнения 15: а — схема; б — вид спереди; в — вид сзади**

При первой фазе движения создается зона растягивающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (черная область). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная спереди) и растягивающих — сзади (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном позвонке поясничного отдела. Упражнение способствует исправлению искривления в грудном отделе позвоночного столба при S-образной деформации.

При второй фазе движения создается зона растягивающих напряжений в области вершины искривления позвоночника (черная область). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная спереди) и растягивающих — сзади (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном позвонке поясничного отдела. Упражнение способствует исправлению искривления в грудном отделе позвоночного столба при S-образной деформации.

#### Упражнение 15. Вис.

При S-образном сколиозе упражнение соответствует схеме нагружения, приведенной на рис. 18, при котором руки создают усилия  $P_3$ ,  $P_4$ , а ноги —  $P_1$  и  $P_2$ . Это создает зону растягивающих напряжений выше области вершины искривления позвоночника (черная область, расположенная сзади), а в области вершины искривления создаются сжимающие напряжения (светло-серая область, расположенная слева), в грудном отделе создается область растягивающих напряжений спереди (черная область) и сжимающих — сзади (светло-серая область). В поясничном отделе создается область сжимающих напряжений (светло-серая область, расположенная спереди выше области деформации) и растягивающих — сзади (черная область), наличие второй вершины искривления приводит к замене зон растяжения и сжатия в наиболее деформированном позвонке поясничного отдела. Упражнение

не способствует исправлению искривления в грудном отделе позвоночного столба при S-образной деформации, а увеличивает ее в грудном отделе и формирует условия для увеличения лордоза в поясничном отделе позвоночника.

## Выводы

1. Исследование с помощью математической модели позволило изучить дифференцированное воздействие методов кинезотерапии на S-образную деформацию позвоночника в зависимости от ее вершины.
2. Данное исследование позволило биомеханически обосновать показания и противопоказания для использования различных физических упражнений при лечении сколиотической болезни.
3. Проведенное исследование позволило усовершенствовать методологический подход к разработке комплексов лечебной гимнастики с учетом топических особенностей деформации позвоночника.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии какого-либо конфликта интересов при подготовке данной статьи.

## Список литературы

1. Белова А.Н., Шопетова О.Н. *Руководство по реабилитации больных с двигательными нарушениями.* — М.: Антидор, 1998. — 224 с.
2. Васюра А.С., Новиков В.В., Михайловский М.В. и др. *Некоторые особенности оперативного лечения тяжелых форм идиопатического сколиоза подростков // Хирургия позвоночника.* — 2006. — № 3. — С. 29-37.
3. Епифанов В.А. *Медицинская реабилитация.* — М.: Медпресс-Информ, 2005. — 328 с.
4. Кон И.И. *Эффективность асимметричной тренировки подвздошно-поясничной мышцы в комплексе лечения идиопатических и диспластических сколиозов // Ортопедия.* — 2003. — № 4. — С. 33-40.
5. Корж Н.А., Мезенцев А.А. *Сколиотическая болезнь // Лікування та діагностика.* — 2004. — № 4. — С. 9-16.

6. Корнилов Н.В., Грязнухин Э.Г. Травматология и ортопедия: Рук. для врачей. — М.: Гиппократ, 2006. — Т. 4. — С. 330-347.

7. Лоскутов А.Е., Летучая Н.П., Головаха М.Л. Применение лечебной физкультуры с использованием аппаратно-программного комплекса «Антропометр» при лечении сколиотической болезни // Вісник ортопедії, травматології та протезування. — 2008. — № 2. — С. 21-27.

8. Малышкина С.В. Экспериментальное моделирование в научных исследованиях Института патологии позвоноч-

ника и суставов им. проф. М.И. Ситенко // Ортопедия, травматология и протезирование. — 2007. — № 4. — С. 5-16.

9. Фищенко В.Я., Улещенко В.А., Вовк Н.Н. и др. Консервативное лечение сколиоза. — К.: Унити-Атлант, 1994. — 187 с.

10. Чаплин В.Д., Абальмасова Е.А. Сколиозы и кифозы. — М.: Медицина, 1973. — 254 с.

Получено 03.01.2018

Головаха М.Л.<sup>1</sup>, Тяжелов О.А.<sup>2</sup>, Летуча Н.П.<sup>3</sup>, Суббота І.А.<sup>2</sup>, Карпінський М.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Запорізький національний медичний університет МОЗ України, м. Запоріжжя, Україна

<sup>2</sup>ДУ «Інститут патології хребта і суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України», м. Харків, Україна

<sup>3</sup>КЗ «Дніпропетровська міська студентська лікарня» ДОР, м. Дніпро, Україна

### Біомеханічні аспекти експериментального дослідження функціонального лікування S-подібної сколіотичної деформації хребта

**Резюме.** *Актуальність.* У нашій клінічній практиці був розроблений комплекс фізичних вправ, в основу якого були покладені топічні особливості деформації хребта. *Мета роботи:* на підставі математичного моделювання обґрунтувати ефективність фізіофункціонального лікування пацієнтів із S-подібною деформацією хребта. *Матеріали і методи.* Як експериментальне дослідження ми використовували математичне моделювання, основою якого була математична модель хребта, що дозволила вивчати розподіл внутрішніх напружень у хребцевих рухових сегментах при різних варіантах навантаження. На даній математичній моделі було перевірено 15 вправ. *Ви-*

*сновки.* Дослідження за допомогою математичної моделі дозволило вивчити диференційний вплив методів кінезотерапії на S-подібну деформацію хребта при лікуванні сколіотичної хвороби. Дане дослідження дозволило біомеханічно обґрунтувати показання та протипоказання для використання різних фізичних вправ при лікуванні сколіотичної хвороби. Проведене дослідження дозволило удосконалити методологічний підхід до розробки комплексів лікувальної гімнастики з урахуванням топічних особливостей деформації хребта.

**Ключові слова:** сколіоз; експериментальне моделювання; функціональне лікування

M.L. Golovaha<sup>1</sup>, A.A. Tyazhelov<sup>2</sup>, N.P. Letuchaya<sup>3</sup>, I.A. Subbota<sup>2</sup>, M.Yu. Karpinski<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Zaporozhye State Medical University, Zaporizhia, Ukraine

<sup>2</sup>State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the Academy of Medical Science of Ukraine", Kharkiv, Ukraine

<sup>3</sup>Dnepropetrovsk Municipal Student Polyclinic, Dnipro, Ukraine

### Biomechanical aspects of experimental study of functional treatment for S-shaped scoliosis

**Abstract.** *Background.* Scoliotic disease is the object of numerous developments and studies of a wide variety of medical specialists. The multifaceted approach to one of the most difficult issues of orthopedics, vertebrology and pediatrics is absolutely justified. The data indicate an increase not only in the incidence of scoliosis as a whole, but also in the number of patients with severe deformities. Recently, in the treatment of this pathology, a surgical approach to correct spine deformity produced good results, while patients' management actively includes such a powerful factor as functional treatment, both for patients after surgery and for patients, who do not undergo surgical intervention. Many different methods of therapeutic exercises have been developed, but it is not always possible to evaluate all the proposed methods subjectively. In our clinical practice, a set of physical exercises was developed, with topical features of the spinal deformity at the head. The objective of the study was to substantiate the effectiveness of physiofunctional treatment of patients with S-shaped scoliosis based on mathematical modeling. *Materials and methods.* In the laboratory of biomechanics of Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology, a mathematical model of the spine with S-shaped scoliotic deformations was

developed, which were used to analyze the stress-strain state. We were interested in the distribution of internal stresses in the model, and not in the magnitude of the stresses produced by this force, so in all cases, the load was assumed to be 10 N. In case of applying additional compensating forces associated with maintaining the body in the initial position, for example, in one-leg standing, additional load equal to 2 N was used. As an experimental study, we used mathematical modeling, the basis of which was the mathematical model of the spine, which makes it possible to study the distribution of internal stresses in vertebral motor segments under different loading patterns. In this mathematical model, 15 exercises were tested. **Conclusions.** The study with the help of a mathematical model allowed studying the differentiated effect of kinesitherapy methods on spine deformities depending on its apex. This study allowed biomechanical substantiation of indications and contraindications for the use of various physical exercises in the treatment of scoliotic disease. The study made it possible to improve the methodological approach to the development of a set of therapeutic exercises, taking into account the topical features of spine deformity.

**Keywords:** scoliosis; experimental modeling; functional treatment