

Левицький А.Ф.¹, Бур'янов О.А.¹, Омельченко Т.М.¹, Овдій М.О.¹, Летуча Н.П.², Суббота І.А.³, Карпінський М.Ю.³

¹Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

²Дніпровська міська поліклініка № 2, м. Дніпро, Україна

³ДУ «Інститут патології хребта та суглобів ім. проф. М.І. Ситенка НАМН України», м. Харків, Україна

Біомеханічні аспекти функціонального лікування сколіотичної деформації хребта

Резюме. Актуальність. Сколіотична деформація хребта була і є об'єктом численних розробок та досліджень різних фахівців медицини. Ведення пацієнтів активно включає в свою програму такий потужний фактор, як функціональне лікування, і для пацієнтів після операції, і для хворих, яким хірургічне втручання показане.

Мета. Поліпшення результатів фізіофункціонального лікування пацієнтів зі сколіотичною хворобою шляхом експериментально-клінічного обґрунтування ефективності різних фізичних вправ, що застосовуються при лікуванні хворих. **Матеріали та методи.** Розроблені математичні моделі хребта із С-подібною та S-подібною сколіотичними деформаціями, які використовували для аналізу напружено-деформуючого стану. Були перевірені 17 різних вправ, серед яких 12 асиметричних, 3 — симетричні та 2 — деротаційні. Із них: 6 вправ ми використовуємо при шийно-грудному типі; 8 — при грудному; 8 — при грудопоперековому; 12 — при поперековому та 10 вправ — при S-подібному типі деформації хребетного стовпа. **Результати.** Створення математичної моделі дозволило вивчити напруження, що виникають при деформаціях хребта за різних варіантів навантаження. Ми отримали чіткі уявлення про розподіл внутрішнього напруження в хребетних рухових сегментах. Було встановлено, що більшість вправ нашого комплексу сприяє створенню компресійних зусиль на опуклій стороні деформованого хребта та формуванню дистракційних зусиль на боці увігнутості. Аналогічні дані підтверджують показники антропометричних досліджень. Все вищесказане свідчить про доцільність враховувати локалізацію вершини викривлення хребетного стовпа при розробці комплексів функціонального лікування. Безперечно, жодне експериментальне дослідження не відбиває увесь спектр анатомо-фізіологічних процесів живого організму. Однак створення математичної моделі дозволило розробити положення диференційованого застосування кінезитерапії в конкретній клінічній ситуації, а результати розробок стали частиною клініко-біомеханічного обґрунтування функціонального лікування сколіотичної патології. **Висновки.** Дослідження за допомогою математичної моделі дозволило вивчити диференційовану дію методів кінезитерапії на деформацію хребта залежно від її вершини. Дане дослідження дозволило біомеханічно обґрунтувати показання та протипоказання для використання різних фізичних вправ при лікуванні сколіотичної хвороби. Проведене дослідження дало змогу удосконалити методологічний підхід до розробки комплексів лікувальної гімнастики з урахуванням топічних особливостей деформації хребта.

Ключові слова: сколіотична деформація; математичне моделювання; складні деформації хребта

Вступ

Сколіотична деформація хребта була і є об'єктом численних розробок та досліджень різних фахівців медицини. Вона по праву займає одне з провідних місць у реєстрі патологій пацієнтів ортопедо-травматологічного профілю. Багатогранність підходу до однієї з най-

складніших тем ортопедії, вертеб্রології та педіатрії є абсолютно обґрунтованою.

Статистичні дані говорять не тільки про зростання захворюваності на сколіоз у цілому, а і про зростання кількості пацієнтів із тяжкими ступенями деформації [1].

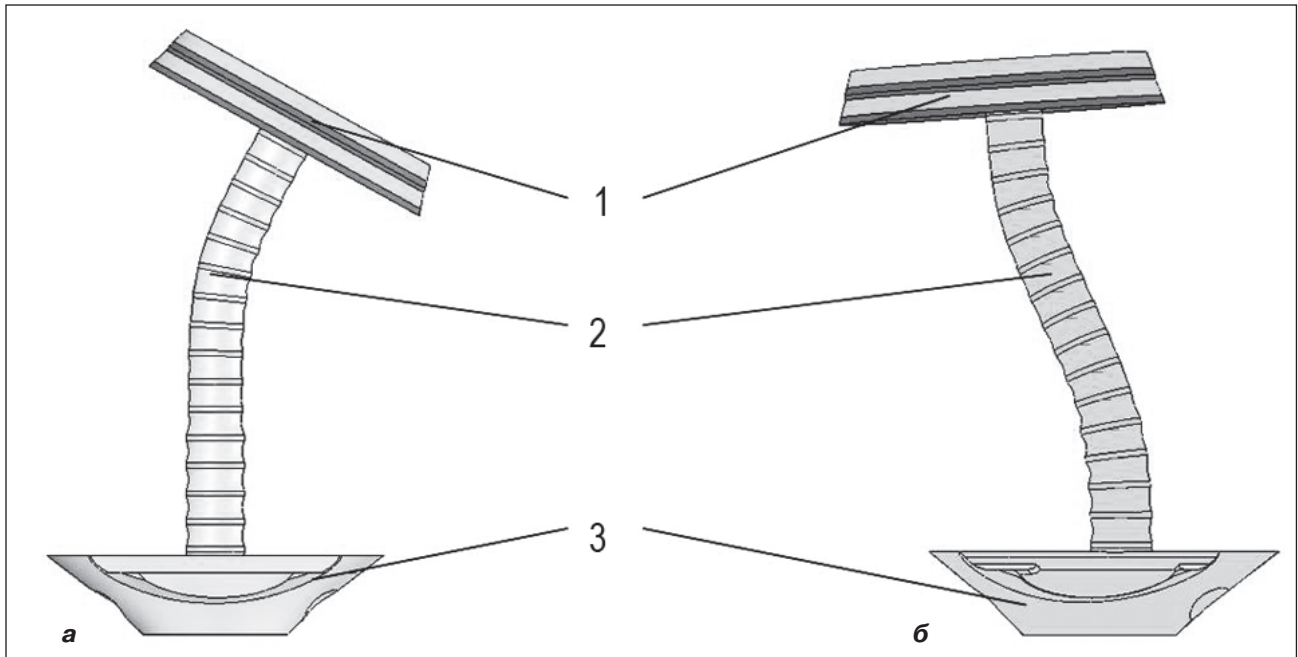


Рисунок 1. Математичні моделі сколіотичної постви: а) С-подібний сколіоз; б) S-подібний сколіоз. Примітки: 1 — верхній опорний комплекс; 2 — хребтовий стовп; 3 — нижній опорний комплекс.

Останнім часом у лікуванні цієї патології хірургічний підхід до виправлення деформації хребта дає хороші результати [2–4], у той же час ведення пацієнтів активно включає в свою програму такий потужний фактор, як функціональне лікування, і для пацієнтів після операції, і для хворих, яким хірургічне втручання показано.

Розроблено багато різних методик лікувальної гімнастики [5–8]. Проте оцінити всі запропоновані комплекси суб'єктивно не завжди можливо. Є поодинокі роботи, у яких вибір спеціальних вправ обґрунтований з позиції біомеханіки [9, 10].

Як експериментальне дослідження ми використовували математичне моделювання, основою якого була математична модель хребта [11], що дозволяє вивчити розподіл внутрішнього напруження в хребтних рухомих сегментах при різних варіантах їх навантаження.

Мета: поліпшення результатів фізіофункціонального лікування пацієнтів зі сколіотичною хворобою шляхом експериментально-клінічного обґрунтування ефективності різних фізичних вправ, що застосовуються при лікуванні хворих.

Матеріали та методи

В Інституті патології хребта та суглобів імені проф. М.І. Ситенка в лабораторії біомеханіки були розроблені математичні моделі хребта зі С- та S-подібного сколіотичними деформаціями, які використовували для аналізу напружено-деформуючого стану [12, 13].

Усього на даній математичній моделі були перевірені 17 різних вправ, серед яких 12 асиметричних; 3 — симетричні та 2 — деротаційні. Із них: 6 вправ ми використовуємо при шийно-грудному типі; 8 — при

грудному; 8 — при груднопоперековому; 12 — при поперековому та 10 вправ — при S-подібному типі деформації хребтної стовпа.

Кожна модель складається із таких частин: верхнього опорного комплексу (1); хребтної стовпа (2); нижнього опорного комплексу (3) (рис. 1).

Верхній опорний комплекс є двома реберними кільцями, з'єднаними з двома верхніми хребцями і пов'язаними між собою елементами з механічними властивостями, характерними для міжреберної м'язової тканини.

Блок, який моделює хребтний стовп, складається з 15 хребців, з'єднаних між собою елементами з механічними властивостями міжхребцевих дисків. Він складається з груднопоперекового відділу хребта, що має S-подібне або С-подібне викривлення. Викривлення моделювалося за рахунок клиноподібності 9 хребців (з кутом нахилу опорних поверхонь хребців від 1° до 6°).

Нижній опорний комплекс представлений одним елементом, який забезпечує застосування навантажень.

Для створення навантаження, пов'язаного з рухами верхніх кінцівок, були сформовані зони навантаження у ділянці розташування лопаток (рис. 2). Для створення навантаження, пов'язаного з рухами нижніх кінцівок, були сформовані зони навантаження в ділянці вертлюжних западин (рис. 2б). Слід зазначити, що наперед нас цікавив розподіл внутрішніх напружень у нашій моделі, а не величина створюваних напружень під впливом даної сили, у всіх випадках навантаження приймалося рівним 10 Н (позначено на рисунках Р). У випадках застосування додаткових компенсуючих зусиль, пов'язаних із підтриманням тулуба у вихідному

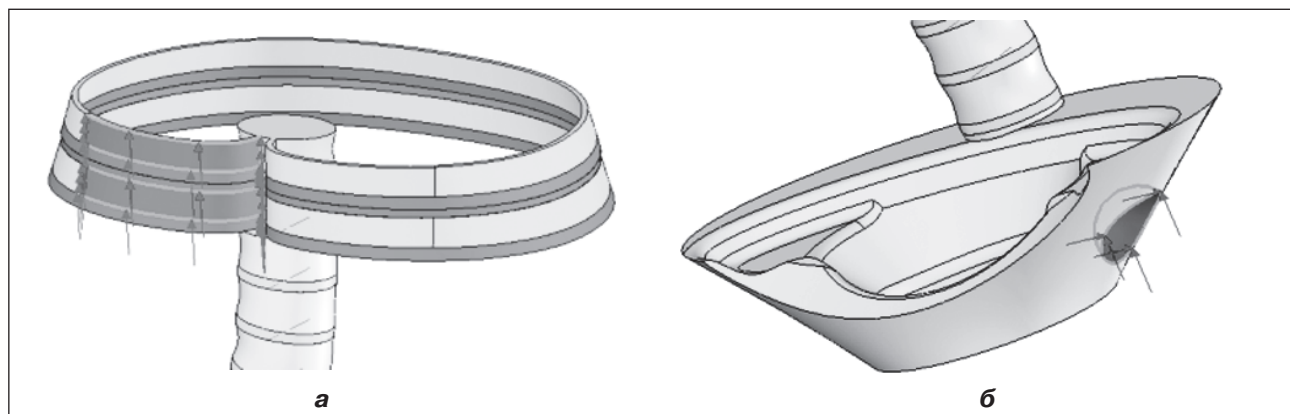


Рисунок 2. Зона прикладання зусиль: а) викликаних рухами верхніх кінцівок; б) викликаних рухами нижніх кінцівок

положенні, наприклад при одноопорному стоянні, використовувалося додаткове навантаження, що дорівнювало 2 Н (позначено на рисунках R).

Слід зазначити, що дані варіанти навантаження використовувалися як із лівої, так і з правої сторони верхнього і нижнього опорних комплексів. Світлі зони показують ділянки стискаючих напружень, а темні — розтягуючих напружень.

Для виконання розрахунків нами використовувалися механічні властивості біологічних тканин за даними Березовського [14]. Цифрові значення основних характеристик тканин наведені в табл. 1.

Дослідження моделей виконували за допомогою методу кінцевих елементів. Як критерій оцінки напружено-деформованого стану моделей використовували напруження за Мізесом [15].

Моделювання виконували за допомогою системи автоматизованого проектування SolidWorks. Розрахунки напружено-деформованого стану моделей виконували за допомогою програмного комплексу CosmosM [16].

Результати та обговорення

Створення математичної моделі дозволило вивчити напруження, що виникають при деформаціях хребта за різних варіантів навантаження. Ми отримали чіткі уявлення про розподіл внутрішнього напруження в хребетних рухових сегментах. Було встановлено, що більшість вправ нашого комплексу сприяє створенню компресійних зусиль на опуклій стороні деформованого хребта та формуванню дистракційних зусиль на боці увігнутості. Аналогічні дані підтверджують показники антропометричних досліджень [17].

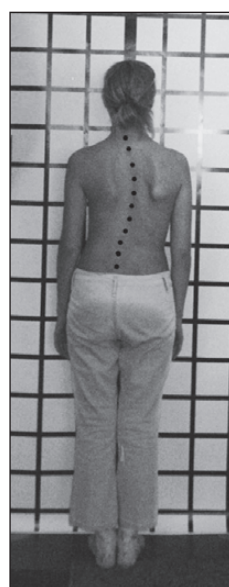


Рисунок 3. Хвора К. у положенні невимушеної постави до лікування

Все вищесказане свідчить про доцільність врахування локалізації вершини викривлення хребетного стовпа при розробці комплексів функціонального лікування.

Безперечно, жодне експериментальне дослідження не відбиває всю гаму анатомо-фізіологічних процесів живого організму. Однак створення математичної моделі дозволило розробити положення диференційованого застосування кінезитерапії в конкретній клінічній ситуації, а результати розробок стали частиною клініко-біомеханічного обґрунтування функціонального лікування сколіотичної патології.

Клінічний приклад. Пацієнтка К., 18 років, звернулася до клініки з діагнозом «сколіоз груднопоперекового відділу хребта II ст.». Кути Кобба: реберний горб — 20°, м'язовий валик — 10°.

На рентгенограмі кут грудного викривлення 27°, кут поперекового — 22°. Супутньої патології немає. Для корекції деформації пацієнтці проведено підбір комплексу, основу якого становили 5 асиметричних та 2 симетричні вправи.

Таблиця 1. Механічні характеристики матеріалів, використаних при моделюванні

Матеріал	Модуль пружності E, МПа	Коефіцієнт Пуассона, ν
Кісткова тканина	1500	0,29
Міжхребцевий диск	50	0,35
Міжреберна м'язова тканина	50	0,32

Вправа 1. Вихідне положення стоячи на лівій нозі, ліва рука перебуває за головою, права упирається в таз, на рівні викривлення — валик, який створює додаткове навантаження, права нога заводиться за ліву.

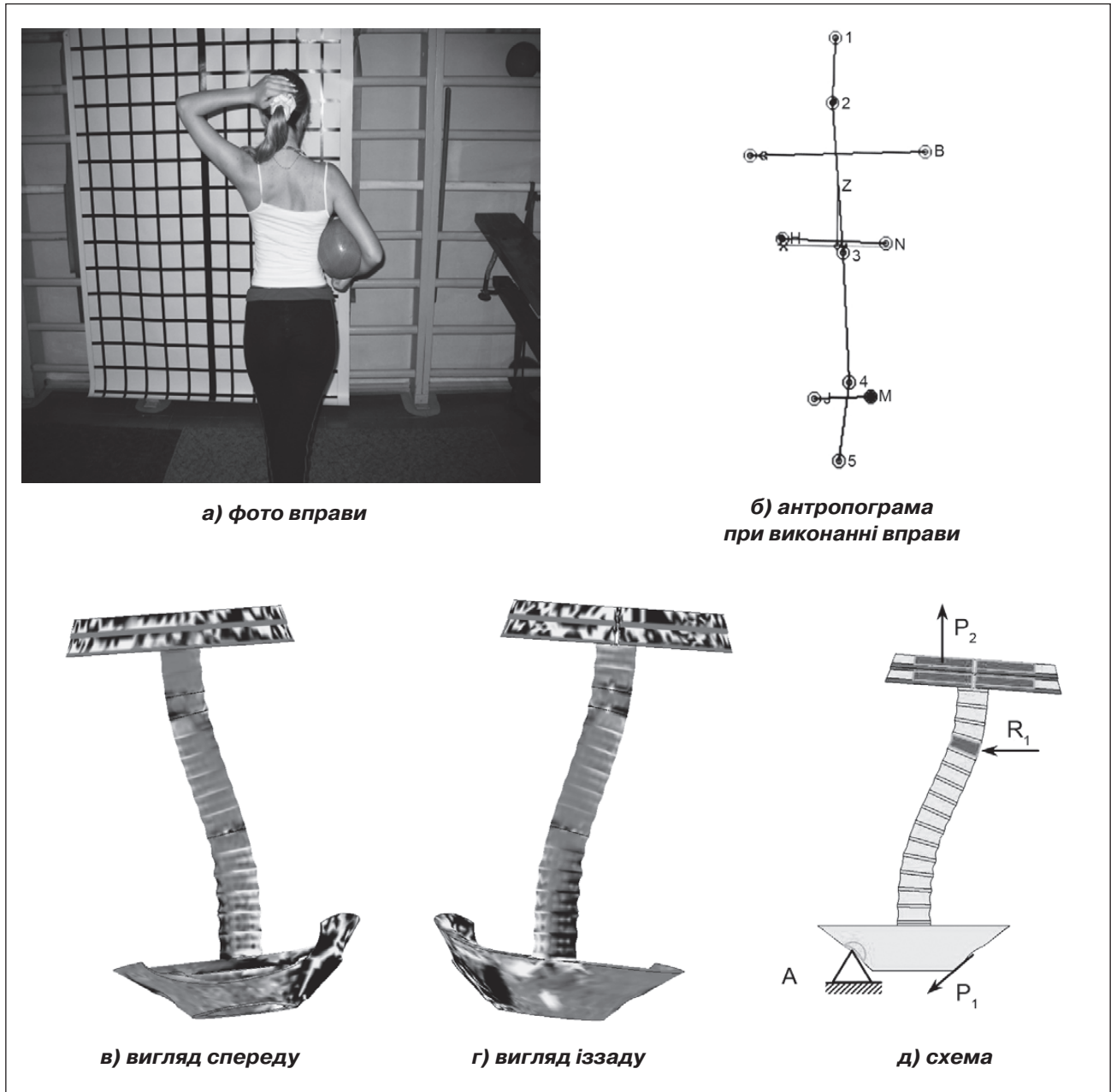


Рисунок 4. Результати навантаження моделі при виконанні вправи 1

Така вправа, на наш погляд, відповідає схемі навантаження, наведеній на рис. 4д, ліва рука створює зусилля P_2 , валик, що притискається рукою, створює зусилля R_1 , а приведення ноги створює зусилля P_1 , опорною є ліва кінцівка (А).

Такий варіант навантаження приводить до таких результатів:

— у грудному відділі від вершини викривлення з правого боку вгору сформувалася зона розтягуючих напружень, а вниз — стискаючих, але ці напруження розташовуються у міжхребцевих дисках

у зв'язку з незначною величиною прикладеного зусилля;

— у поперековому відділі хребта ліворуч спереду сформувалися стискаючі напруження на всьому протязі даного відділу, а праворуч ззаду — розтягуючі напруження.

Таким чином, ця вправа сприяє виправленню викривлення хребетного стовпа в грудному та поперековому відділах при S-подібній деформації.

Примітка: при проведенні вправи слід звертати увагу на поперековий відділ хребта з метою недопущення зменшення його природного лордозу.

Вправа 2. Вихідне положення стоячи, ліва рука вгору, права з м'ячем витягнута вбік, лівою ногою здійснюється випад убік.

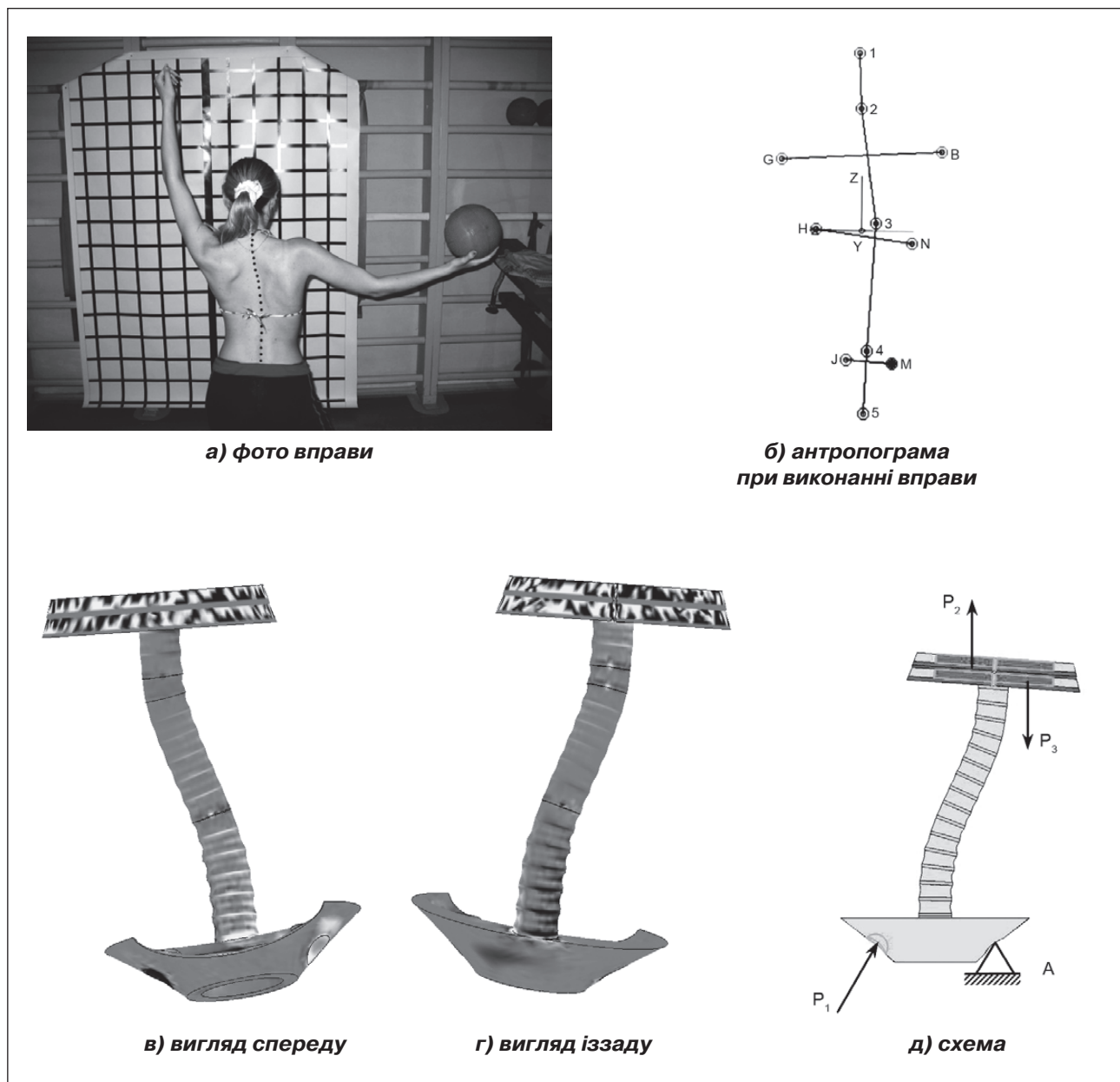


Рисунок 5. Результати навантаження моделі при виконанні вправи 2

Така вправа, на наш погляд, відповідає схемі навантаження, наведеної на рис. 5д, при якому рука, піднята вгору, створює зусилля P_2 , а рука, витягнута вбік, — P_3 , нога, що робить випад убік, створює зусилля P_1 , а нога, що залишається на місці, є опорою (А).

Такий варіант навантаження приводить до таких результатів:

- у грудному відділі, вище від вершини викривлення, праворуч створюється зона стискаючих напружень у міжхребцевих дисках, а зліва виникають незначні розтягуючі напруження;

- у середній частині хребетного стовпа напруження не мають ні виражених стискаючих зон, ні розтягуючих;

- у поперековому відділі хребта ліворуч спереду сформувалися стискаючі напруження на всьому протязі даного відділу, а праворуч ззаду — розтягуючі напруження, які є більш вираженими (величина максимальних розтягуючих напружень більша, ніж стискаючих).

Таким чином, ця вправа сприяє виправленню викривлення хребетного стовпа у верхній частині грудного (вище від рівня максимального викривлення) та поперекового відділах при S-подібній деформації.

Примітка: при проведенні вправи слід звертати увагу на поперековий відділ хребта з метою не допускати зменшення його природного лордозу та виникнення ротації.

Вправа 3. Вихідне положення стоячи, зробити випад вперед лівою ногою, ліва рука піднята вгору, права притиснута до тулуба.

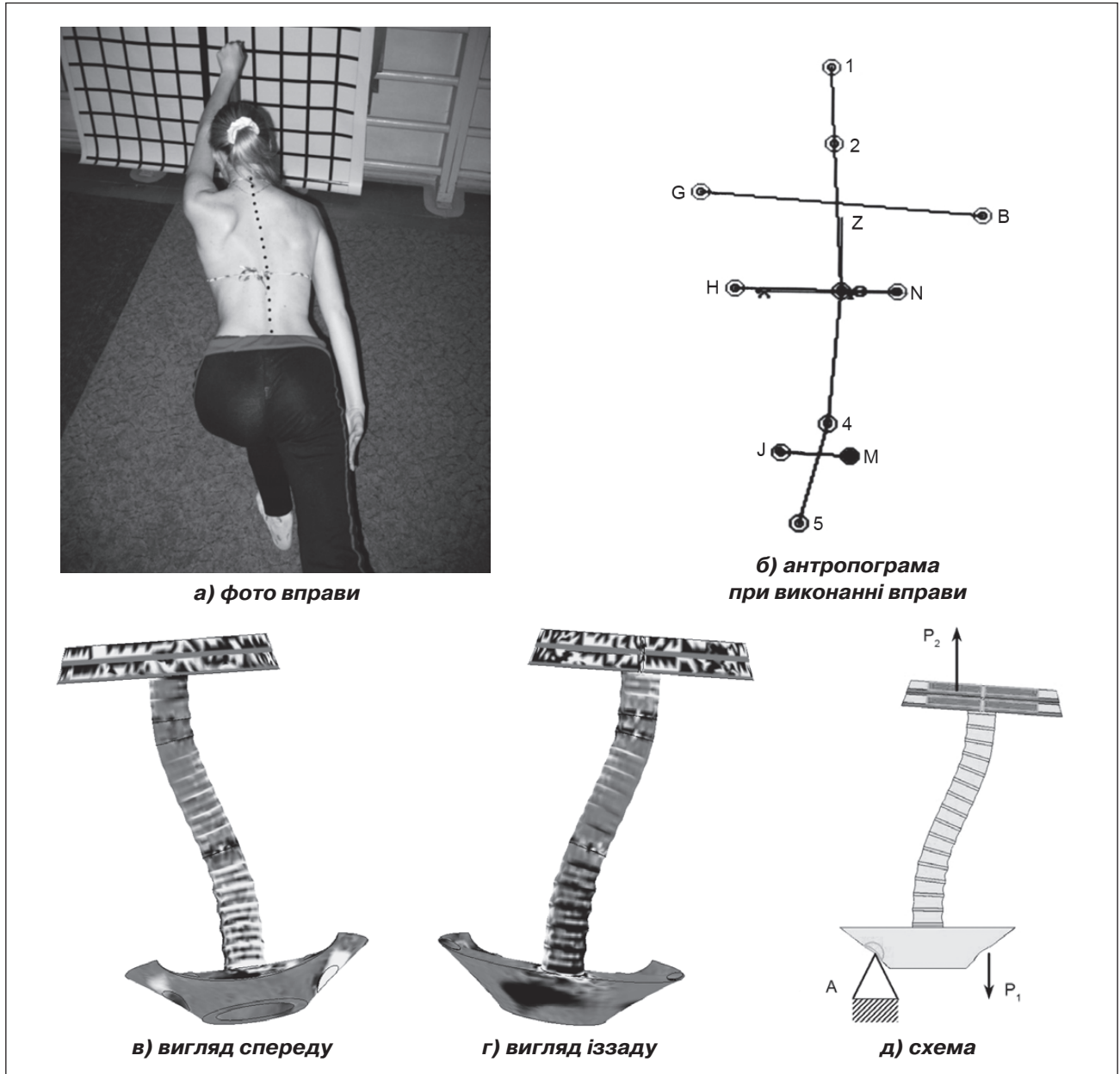


Рисунок 6. Результати навантаження моделі при виконанні вправи 3

Така вправа, на наш погляд, відповідає схемі навантаження, наведеній на рис. 6д, при якому піднята рука створює зусилля P_2 , нога, що виконує випад, виконує опорну функцію (зона А), а нога, яка знаходиться ззаду в безопорному положенні, і створює зусилля P_1 .

Такий варіант навантаження приводить до таких результатів:

- у грудному відділі вище від вершини викривлення в міжхребцевих дисках зліва створюється зона розтягуючих напружень, а праворуч — стискаючих;

- у середній частині хребетного стовпа є стискаюче напруження ліворуч спереду без виникнення суттєвих розтягуючих напружень;

- у поперековому відділі хребта справа спереду сформувалися стискаючі напруження на всьому протязі даного відділу, а праворуч ззаду — розтягуючі напруження.

Таким чином, ця вправа сприяє виправленню викривлення хребетного стовпа у верхній частині грудного (вище від рівня максимального викривлення) та поперекового відділах при S-подібній деформації.

Примітка: при проведенні вправи слід звертати увагу на поперековий відділ хребта з метою недопущення виникнення ротації.

Вправа 4. Вихідне положення лежачи на животі, одна рука переміщається через сторону вгору, друга заведена за спину, піднімається голова та верхня частина тулуба.

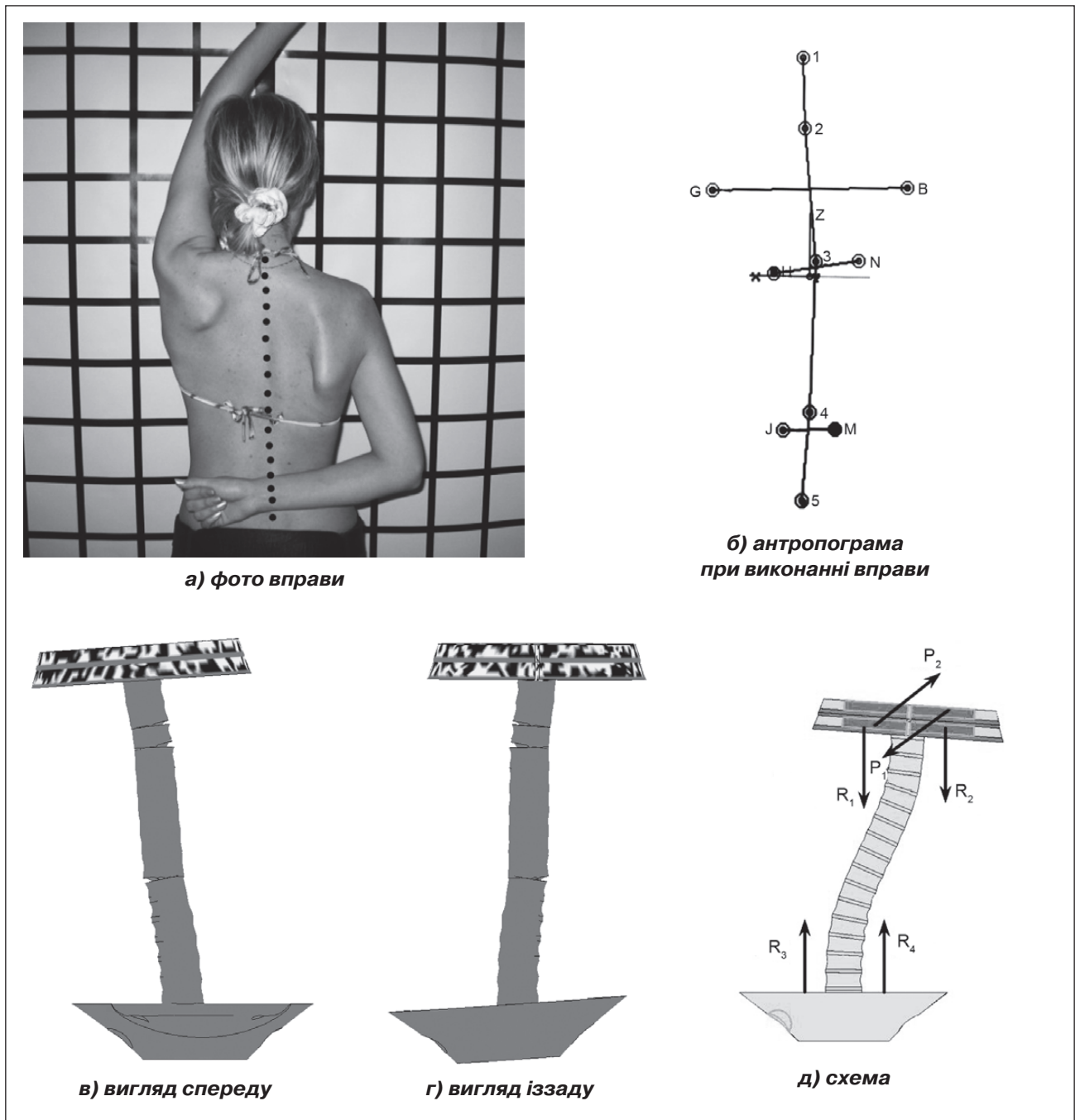


Рисунок 7. Результати навантаження моделі при виконанні вправи 4

Така вправа, на наш погляд, відповідає схемі навантаження, наведеної на рис. 7д, рука, яка піднімається, створює зусилля P_2 , а рука, заведена за спину, — P_1 , рух тулуба здійснюється за рахунок додаткових зусиль R_1 , R_2 (до плечового пояса), R_3 та R_4 (до таза).

Такий варіант навантаження приводить до таких результатів:

— у грудному відділі не виникає суттєвого напруження, але при цьому виправляється положення хреб-

ців за рахунок змін їх просторового положення завдяки пружності зв'язкового апарату;

— у поперековому відділі хребта не виникає суттєвого напруження, але при цьому виправляється положення хребців за рахунок змін їх просторового положення завдяки пружності зв'язкового апарату.

Таким чином, ця вправа сприяє виправленню викривлення хребетного стовпа на всій його протяжності при S-подібній деформації.

Вправа 5. Вихідне положення лежачи, обидві руки піднімають вгору і прогинають спину назад.

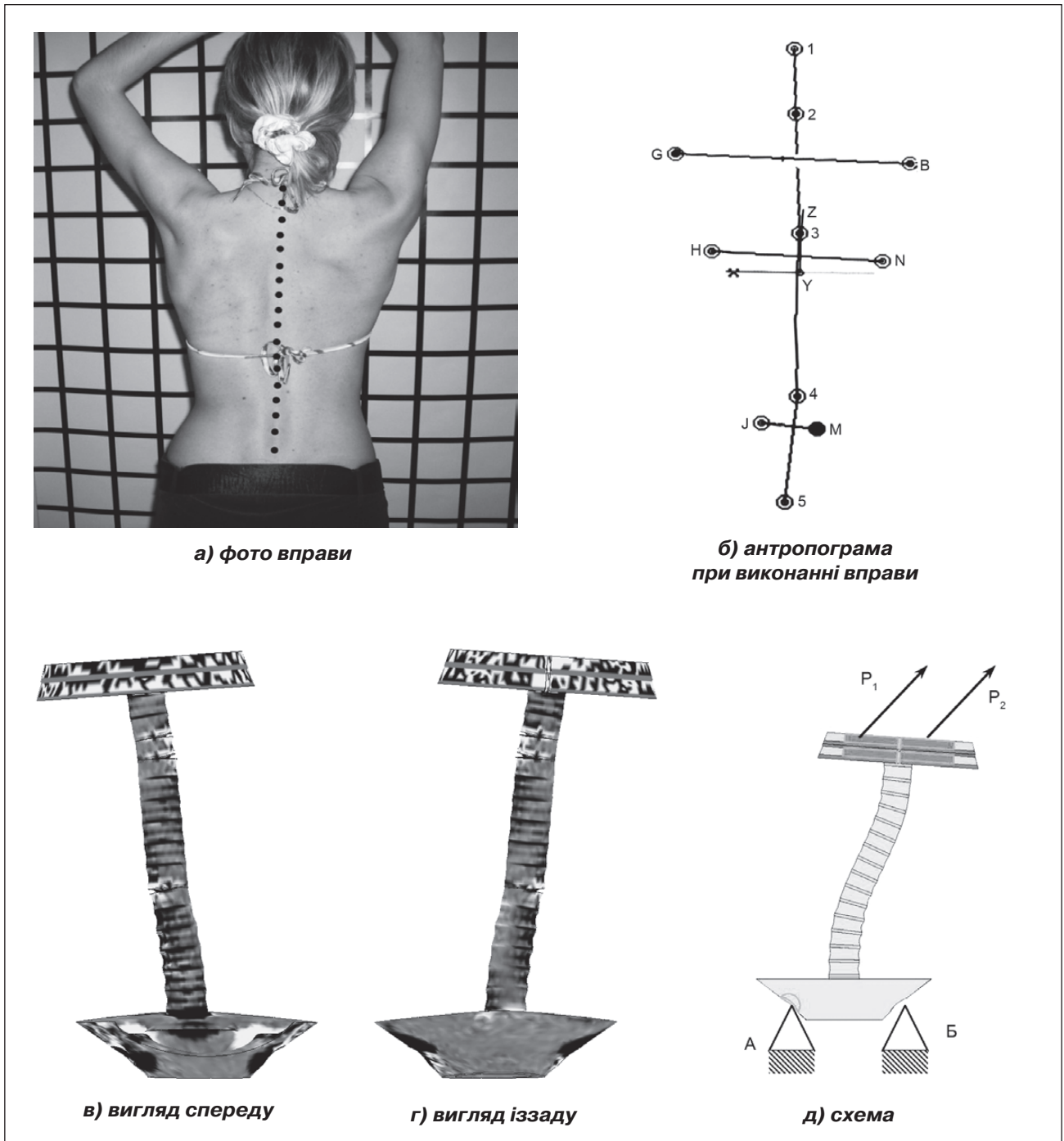


Рисунок 8. Результати навантаження моделі при виконанні вправи 5

Така вправа, на наш погляд, відповідає схемі навантаження, наведеної на рис. 8д, при якому опорними є зони А, Б, руки, що виконують рухи, створюють зусилля P_1 і P_2 (спрямоване вгору назад).

Такий варіант навантаження дає такі результати (для наочності шкала значень зменшена в 1000 разів):

- у грудному відділі вище від вершини викривлення створюється зона незначних розтягуючих напружень у міжхребцевих дисках;

- у середній частині хребетного стовпа мають місце в основному розтягуючі напруження;

- у поперековому відділі хребта ліворуч сформувалися стискаючі напруження, а праворуч — розтягуючі.

Таким чином, ця вправа сприяє виправленню викривлення хребетного стовпа на всій його довжині за рахунок пружних властивостей зв'язкового апарату при S-подібній деформації.

Вправа 6. Вихідне положення стоячи навколішки, руки з м'ячем витягнуті перед собою, м'яч піднімають вгору і виконують нахил тулуба вперед.

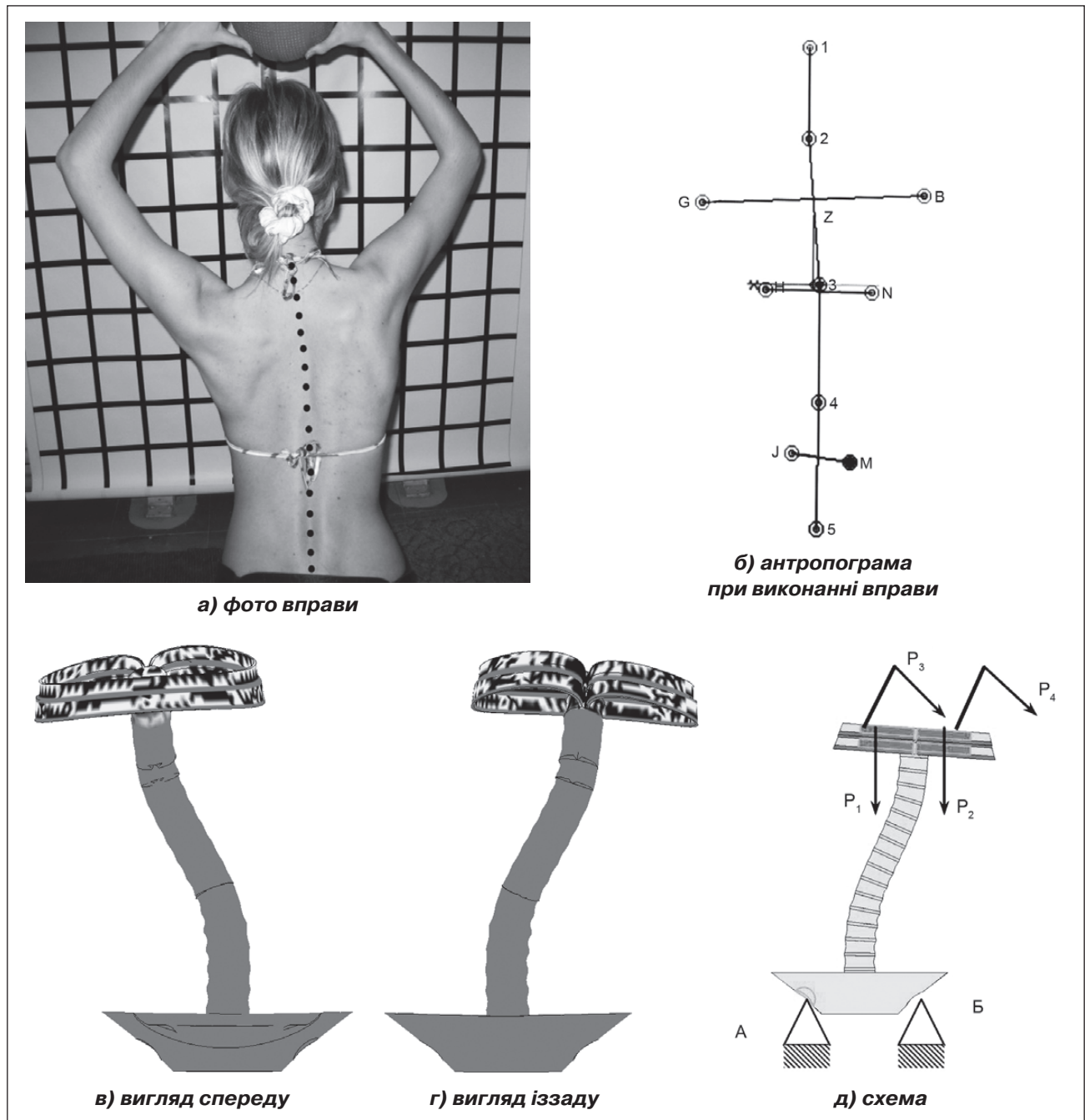


Рисунок 9. Результати навантаження моделі при виконанні вправи 6

Така вправа, на наш погляд, відповідає схемі навантаження, наведеній на рис. 9д, при якому опорними є зони А, Б, руки, що виконують рух, створюють зусилля P_1, P_2, P_3, P_4 (P_3 і P_4 створюють зусилля, подібне до крутного моменту).

Такий варіант навантаження дає такі результати (шкала значень аналогічна до вправ з 1-ї до 5-ї):

— у ділянці вище за рівень максимальних викривлень у грудному відділі створюється зона стискаючих напружень спереду;

— у середньому та поперековому відділах хребта розподіл напружень аналогічний до попередньої вправи, вони мають несуттєві значення.

Таким чином, дана вправа сприяє виправленню викривлення хребетного стовпа в нижній частині грудного (нижче від рівня максимального викривлення) та в поперековому відділі при S-подібній деформації.

Примітка: при проведенні вправи слід звертати увагу на верхню частину грудного відділу хребта з метою недопущення зменшення природного грудного кіфозу.

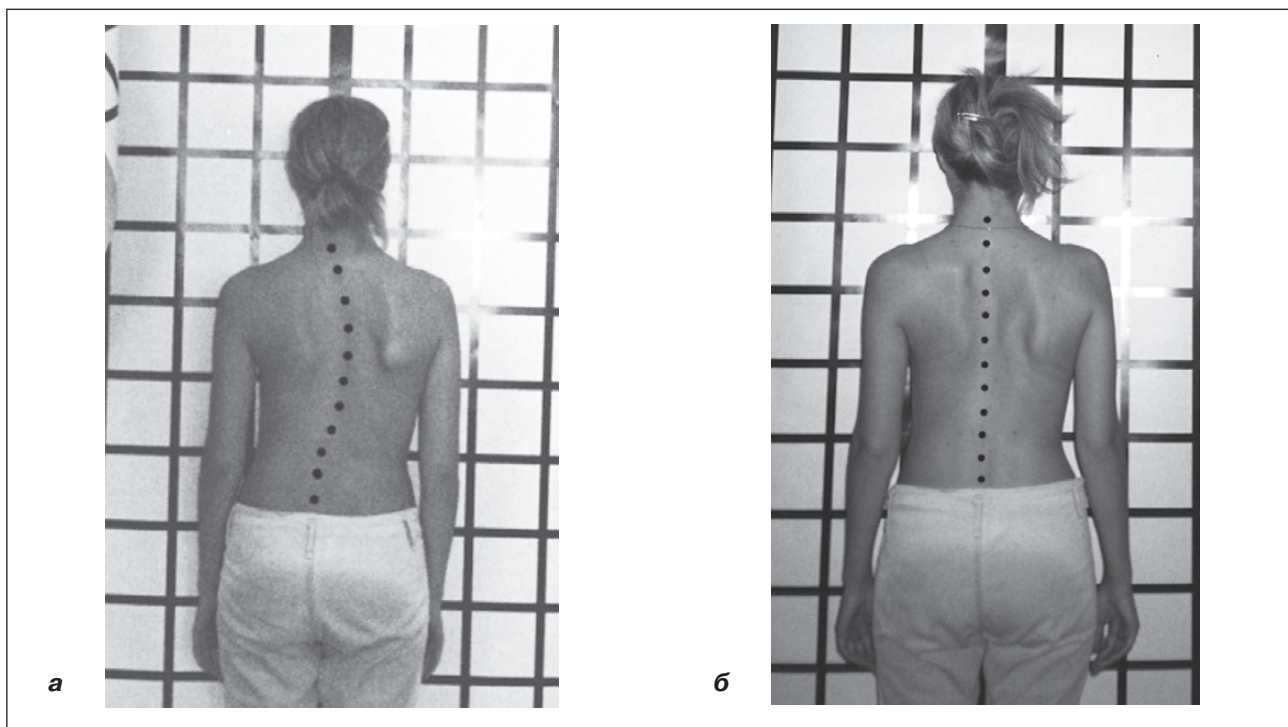


Рисунок 10. Фото хворої К.: а) до курсу відновлювального лікування; б) після курсу відновлювального лікування

Висновки

1. Дослідження за допомогою математичної моделі дозволило вивчити диференційовану дію методів кінезотерапії на деформацію хребта залежно від її вершини.

2. Дане дослідження дозволило біомеханічно обґрунтувати показання та протипоказання для використання різних фізичних вправ при лікуванні сколіотичної хвороби.

3. Проведене дослідження дало змогу удосконалити методологічний підхід до розробки комплексів лікувальної гімнастики з урахуванням топічних особливостей деформації хребта.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Список літератури

1. Корж Н.А., Мезенцев А.А. Сколиотическая болезнь. Лікування та діагностика. 2004. № 4. С. 9-16.
2. Белова А.Н., Шопетова О.Н. Руководство по реабилитации больных с двигательными нарушениями. М.: АОЗТ «Антидор», 1998. 224 с.
3. Rohozynskiy V., Levytskyi A., Dolianytskyi M., Benzar I. Treatment of Severe Spinal Deformations in Children with Idiopathic Scoliosis Using Halo-Gravity Traction. *Wiadomości Lekarskie*. 2020. Vol. 73. № 10. P. 2144-2149.
4. Левицький А.Ф., Рогозинський В.О., Бензар І.М., Доляницький М.М., Карпінська О.Д. Аналіз ефективності використання системи галогравітаційної тракції як фактора, що впливає на крововтрату при хірургічній корекції складних сколіотичних деформацій у дітей. *Хірургія дитячого віку*. 2022. № 1 (74). С. 34-39.
5. 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.
6. Епифанов В.А. Медицинская реабилитация. М.: Медпресс-Информ, 2005. 328 с.
7. Фищенко В.Я., Улещенко В.А., Вовк Н.Н. и др. Консервативное лечение сколиоза. К.: Медицинская фирма «Унити-Атлант», 1994. 187 с.
8. Чаплин В.Д., Абальмасова Е.А. Сколиозы и кифозы. М.: Медицина, 1973. 254 с.
9. Кон И.И. Эффективность асимметричной тренировки подвздошно-поясничной мышцы в комплексе лечения идиопатических и диспластических сколиозов. *Ортопедия*. 2003. № 4. С. 33-40.
10. Корнилов Н.В., Грязнухин Э.Г. Травматология и ортопедия. Руководство для врачей. М.: Гиппократ, 2006. Т. 4. С. 330-347.
11. 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.
12. Головаха М.Л., Тяжелов А.А., Летучая Н.П., Суббота И.А., Карпинский М.Ю. Биомеханические аспекты экспериментального исследования функционального лечения S-образной сколиотической деформации позвоночника.

Травма. 2018. Т. 19. № 1. С. 58-68. DOI: 10.22141/1608-1706.1.19.2018.126661.

13. Головаха М.Л., Тяжелов А.А., Летучая Н.П., Суббота И.А., Карпинский М.Ю. Биомеханические аспекты экспериментального исследования функционального лечения С-образной сколиотической деформации позвоночника. Травма. 2019. Т. 20. № 3. С. 32-41. DOI: 10.22141/1608-1706.3.20.2019.172091.

14. Березовский В.А., Колотилов Н.Н. Биофизические характеристики тканей человека: справочник. К.: Наукова думка, 1990. 224 с.

15. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1978. 519 с.

16. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов. М.: ДМК Пресс, 2004. 432 с.

17. Малышкина С.В. Экспериментальное моделирование в научных исследованиях Института патологии позвоночника и суставов им. проф. М.И. Ситенко. Ортопедия, травматология и протезирование. 2007. № 4. С. 5-16.

Отримано/Received 27.03.2022

Рецензовано/Revised 10.04.2022

Прийнято до друку/Accepted 16.04.2022

Information about authors

A.F. Levitsky, MD, PhD, Head of the Department of Pediatric Surgery, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; <https://orcid.org/0000-0002-4440-2090>.

O.A. Buryanov, MD, PhD, Professor, Head of the Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: kaftraum@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-2174-1882>

T.M. Omelchenko, MD, PhD, Professor at the Department of Traumatology and Orthopedics, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: kaftraum@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0003-1722-0803>

M.O. Ovdij, PhD, Associate Professor at the Department of Physical Rehabilitation and Sport Medicine, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine; e-mail: kaftraum@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0002-0163-7914>

N.P. Letucha, Dnipro City Polyclinic 2, Dnipro, Ukraine; e-mail: navator2011@gmail.com

I.A. Subbota, Junior Research Fellow at the Department of biomechanics laboratory, State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine; e-mail: gs1971@ukr.net; <https://orcid.org/0000-0001-6222-5377>.

M. Karpinsky, Senior Research Fellow at the Department of biomechanics laboratory, State Institution "Sytenko Institute of Spine and Joint Pathology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine", Kharkiv, Ukraine; e-mail: korab.karpinsky9@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-3004-2610>.

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and their own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

A.F. Levitsky¹, O.A. Buryanov¹, T.M. Omelchenko¹, M.O. Ovdij¹, N.P. Letucha², I.A. Subbota³, M.Yu. Karpinsky³

¹Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

²Dnipro City Polyclinic 2, Dnipro, Ukraine

³Sytenko Institute of the Spine and Joints Pathology of NAMS of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

Biomechanical aspects of functional treatment of scoliotic spine deformation

Abstract. Introduction. Scoliotic spinal deformity has been and is the subject of numerous developments and studies by various medical professionals. Patient management actively includes in its program such a powerful factor as functional treatment for both patients after surgery and for patients who are indicated for surgery. The purpose was improving the results of physio-functional treatment of patients with scoliotic disease by experimental-clinical justification of the effectiveness of various physical exercises used in the treatment of patients. **Materials and methods.** Mathematical models of the spine with C-shaped and S-shaped scoliotic deformations were developed, which were used to analyze the stress-strain state. 17 different exercises were tested, including 12 asymmetric ones; 3 — symmetrical and 2 — derotation. Of these: 6 exercises we use for the cervical-thoracic type; 8 exercises for the chest; 8 exercises for thoracolumbar; 12 exercises for lumbar and 10 exercises for S-shaped deformity of the spine. **Results.** The creation of a mathematical model made it possible to study the stresses arising from spinal deformations under different load variants. We got a clear idea of the distribution of internal stress in the vertebral motor segments. It was found that most of the exercises of our complex contribute to the creation of compression forces on the convex side

of the deformed spine and the formation of distraction forces on the concave side. Similar data confirm the indicators of anthropometric research. All the above suggests the feasibility of developing complexes of functional treatment, taking into account the location of the top of the curvature of the spine. Undoubtedly, no experimental study reflects the full range of anatomical and physiological processes of a living organism. However, in general, the creation of a mathematical model allowed to develop the provisions of differentiated application of kinesitherapy in a particular clinical situation, and the results of the development became part of the clinical and biomechanical rationale for functional treatment of scoliotic pathology. **Conclusions.** The study using a mathematical model allowed us to study the differentiated effect of kinesitherapy methods on spinal deformity depending on its apex. This study allowed to biomechanically substantiate the indications and contraindications for the use of various physical exercises in the treatment of scoliosis. The study made it possible to improve the methodological approach to the development of therapeutic gymnastics complexes, taking into account the topical features of spinal deformity.

Keywords: scoliotic deformation; mathematical modeling; complex spinal deformations