



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **85805** (13) **U**  
(51) МПК

**G09B 23/28** (2006.01)

**G09B 23/32** (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

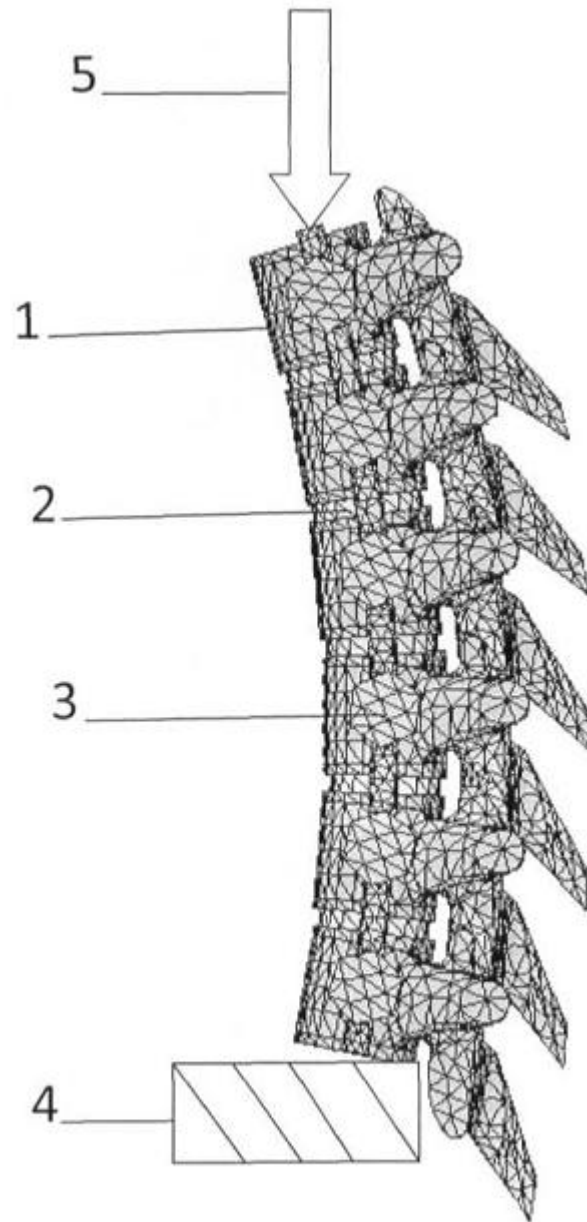
(21) Номер заявки: <b>u 2013 08910</b>	(72) Винахідник(и): <b>Петренко Дмитрій Євгенійович (UA), Ярьсько Олександр Васильович (UA), Мезенцев Андрій Олексійович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>16.07.2013</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.11.2013</b>	(73) Власник(и): <b>ДЕРЖАВНА УСТАНОВА "ІНСТИТУТ ПАТОЛОГІЇ ХРЕБТА ТА СУГЛОБІВ ІМ. ПРОФ. М.І. СИТЕНКА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ МЕДИЧНИХ НАУК УКРАЇНИ", вул. Пушкінська, 80, м. Харків-24, 61024 (UA)</b>
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.11.2013, Бюл.№ 22</b>	

## (54) КІНЦЕВО-ЕЛЕМЕНТНА МОДЕЛЬ ГРУДНОГО ТА ПОПЕРЕКОВОГО ВІДДІЛІВ ХРЕБТА

### (57) Реферат:

Кінцево-елементна модель грудного та поперекового відділів хребта являє собою тривимірне векторне комп'ютерне зображення тіл хребців і міжхребцевих дисків грудного та поперекового відділів хребта у вигляді кінцево-елементної сітки, засноване на виконаних послідовних растрових томографічних зрізах цих відділів хребта, та механізму навантаження. Модель додатково містить нижню опору, яка являє собою елементи комп'ютерної програми, до якої жорстко "зафіксовано" тіло нижнього хребця відділу хребта, імітатор імплантатів, який являє собою елемент комп'ютерної програми, який дозволяє по черзі "встановлювати" різні імплантати на тілах хребців та "розміщувати" їх по-різному відносно ділянки хребта, яка підлягає фіксації. Механізм навантаження, який також являє собою елементи комп'ютерної програми, може створювати фізіологічне навантаження необхідної величини як уздовж гравітаційної лінії хребта, так і в іншому заданому напрямку.

UA 85805 U



Фиг. 1

Корисна модель належить до галузі медицини, а саме до ортопедії та травматології і може бути використана для оцінювання напружено-деформованого стану грудного та поперекового відділів хребта як при фізіологічному статичному вертикальному навантаженні згідно з біомеханічними особливостями цих відділів хребта, так і при різних варіантах його навантаження в нормі або при патологічних станах, у тому числі після виконання хірургічних втручань при ушкодженнях та захворюваннях.

Відомі моделі грудного та поперекового відділів хребта виконано, як правило, або у вигляді механічних систем, або побудовано на основі тривимірного векторного комп'ютерного зображення тіл хребців у вигляді кінцево-елементної сітки. Останні моделі є більш прогресивними і мають значно більші можливості для оцінювання напружено-деформованого стану хребта. Ці моделі дають можливість виконувати моделювання хребта в нормі, при його ушкодженнях та захворюваннях, у тому числі за наявності або відсутності фіксуєчих та коригувальних елементів (фіксаторів, ендопротезів, ортезів).

Відома тривимірна кінцево-елементна бісегментарна модель шийного відділу хребта CIV-CVI, яку виконано у вигляді тривимірного векторного комп'ютерного зображення розташованих вертикально двох хребців, нижнього і верхнього, та ендопротеза, що їх з'єднує [Барыш А.Е. Конечно-элементное бисегментарное моделирование позвоночных двигательных сегментов C<sub>IV</sub>-C<sub>VI</sub>/ Ортопедия, травматология и протезирование.-2005. - № 1. - С. 41-49].

Ця модель дозволяє досліджувати характер розподілу внутрішніх напружень в елементах вказаних хребтово-рухових сегментів як при фізіологічному статичному вертикальному навантаженні відповідно до біомеханічних особливостей шийного відділу хребта, так і при різних варіантах його навантаження в нормі або при патологічних станах, у тому числі після виконання хірургічних втручань з приводу ушкоджень та захворювань.

Однак навантаження на модель здійснюється тут безпосередньо на тіла хребців у точках, які не повністю відповідають розосередженому навантаженню, яке є в реальних умовах у людини. Це значною мірою спотворює напружено-деформований стан системи моделювання, а отже, значно погіршує точність дослідження на моделі.

Крім того, відома модель є бісегментарною і стосується тільки шийного відділу хребта і не може бути використана як модель грудного та поперекового відділів хребта.

Відома кінцево-елементна модель поперекового відділу хребта у вигляді тривимірного векторного комп'ютерного зображення розташованих вертикально двох хребців, нижнього і верхнього, і ендопротеза, що їх з'єднує. Модель додатково має дві пари пластин, встановлених попарно на кожному із хребців одна на одну таким чином, що пластини, які контактують з тілами хребців, виконані із податливого матеріалу, а інші - із жорсткого [Патент на корисну модель № 43430, UA, G 09 B 23/28, G 09 B 23/32, 2009].

Ця модель створює умови для розосередженого навантаження поперекових хребців і уникає, таким чином, похибок впливу способу навантаження на напружено-деформований стан системи, а отже, підвищує точність дослідження на ній.

Недоліком відомої моделі є те, що вона включає тільки два тіла хребців і ендопротез, що їх з'єднує, тобто це, як і вищеописана модель, не є модель відділу хребта, а це є модель міжтілового зчленування, на якому неможливо дослідити напружено-деформований стан конкретного відділу хребта або, тим більше, двох відділів.

Крім того, ця модель не передбачає можливості виконувати на ній дослідження за наявності патологічних змін у хребті та за наявності на тілах хребців фіксуєчих елементів.

Найбільш близьким аналогом до запропонованої корисної моделі, є кінцево-елементна модель грудного та поперекового відділів хребта, яка являє собою тривимірне векторне комп'ютерне зображення тіл хребців та міжхребцевих дисків грудного і поперекового відділів хребта у вигляді кінцево-елементної сітки, засноване на виконаних послідовних растрових томографічних зрізах цих відділів хребта, та механізму навантаження, який дозволяє виконувати різні варіанти навантаження [Gignas D., Aubin C, Dansereau J. Et al. Optimization method for 3D bracing correction of scoliosis using a finite element model // Eur. Spine J.-2000. - № 9. - P. 185-190].

Вказана модель дозволяє досліджувати характер розподілу внутрішніх напружень в елементах зазначених відділів хребта, але тільки при консервативному лікуванні сколіозу або кіфозу на основі використання ортезів, які повністю облягають визначену ділянку тулуба з утворенням на ній необхідних для лікування бічних зусиль тиску.

Водночас, у багатьох випадках, пов'язаних з лікуванням сколіозу, кіфозу, інших захворювань та ушкоджень хребта, здійснюється хірургічне лікування хребта з використанням імплантатів, які встановлюють у відповідні хребці і забезпечують тим самим випрямлення та фіксацію деформованої ділянки хребта.

Зазначені імплантати значною мірою впливають на напружено-деформований стан не тільки у фіксованих ними ділянках хребта, а і у суміжних з ними тілах хребців. Відома модель не дає можливості вирішувати завдання, пов'язані з хірургічним лікуванням хребта з використанням імплантатів і урахуванням різних схем фіксації ними хребта, які можуть відрізнятися між собою

5 різною кількістю фіксуючих елементів, наявністю або відсутністю, за рахунок хірургічного усунення, того або іншого міжхребцевого диска з урахуванням індивідуальних особливостей пацієнта, його патології та фізіологічного навантаження на ушкоджену ділянку хребта, величини, напрямку та розподілу сил при навантаженні і напруженні від маси тіла залежно від локалізації імплантата. Це суттєво обмежує функціональні можливості відомої моделі.

10 Крім того, у відомій моделі не фіксується нижня частина відділу хребта, який досліджується і не враховується величина фізичного навантаження на ділянку хребта, що моделюється, та на імплантат залежно від маси тіла конкретного хворого і локалізації зазначеного імплантата. Це спотворює результати моделювання.

15 В основу корисної моделі, що заявляється, поставлено задачу - створення кінцево-елементної моделі грудного та поперекового відділів хребта, яка забезпечує можливість дослідження цих відділів хребта з встановленим імплантатом та урахуванням індивідуальних особливостей хворого, фізіологічного навантаження на задану ділянку хребта і імплантат залежно від маси тіла хворого, а також від розміщення зазначеного імплантата і, таким чином, розширює функціональні можливості моделі та підвищує точність відтворення на ній реальних умов навантаження грудного та поперекового відділів хребта.

20 Поставлена задача вирішується тим, що в кінцево-елементну модель грудного та поперекового відділів хребта, яка являє собою тривимірне векторне комп'ютерне зображення тіл хребців і міжхребцевих дисків грудного та поперекового відділів хребта у вигляді кінцево-елементної сітки, засноване на виконаних послідовних растрових томографічних зрізах цих відділів хребта, та механізм навантаження, згідно з корисною моделлю, вона додатково містить нижню опору, яка являє собою елемент комп'ютерної програми, до якої жорстко "зафіксовано" тіло нижнього хребця відділу хребта, який досліджується, а також додатково має імітатор імплантатів, який являє собою елемент комп'ютерної програми, який дозволяє по черзі

25 "встановлювати" різні імплантати на тілах хребців та "розміщувати" їх по-різному відносно ділянки хребта, яка підлягає фіксації, крім того, механізм навантаження, який також являє собою елемент комп'ютерної програми, може створювати фізіологічне навантаження необхідної величини як уздовж гравітаційної лінії хребта, так і в іншому заданому напрямку.

30 Оснащення моделі нижньою опорою, яка являє собою елемент комп'ютерної програми, до якої жорстко "зафіксовано" тіло нижнього хребця відділу хребта, який досліджується, а також імітатором імплантатів, який являє собою елемент комп'ютерної програми, який дозволяє по черзі "встановлювати" різні імплантати на тілах хребців та "розміщувати" їх по-різному відносно ділянки хребта, яка підлягає фіксації, забезпечує можливість дослідження грудного та поперекового відділів хребта з встановленим імплантатом та з урахуванням індивідуальних особливостей хворого.

40 Виконання механізму навантаження у вигляді елемента комп'ютерної програми, який може створювати фізіологічне навантаження необхідної величини як уздовж гравітаційної лінії хребта, так і в іншому заданому напрямку, дає можливість здійснювати фізіологічне навантаження на задану ділянку хребта і імплантат залежно від маси тіла конкретного хворого, а також від розміщення зазначеного імплантата.

45 Таким чином, корисна модель, що заявляється, розширює функціональні можливості моделі та підвищує точність відтворення на ній реальних умов навантаження грудного та поперекового відділів хребта конкретного хворого.

Корисна модель пояснюється кресленням, де на фіг. 1, 2 зображено кінцево-елементну модель грудного та поперекового відділів хребта з встановленим імплантатом.

50 Кінцево-елементна модель грудного та поперекового відділів хребта (фіг. 1, 2) складається зі з'єднаних між собою розташованих вертикально у вигляді тривимірного векторного комп'ютерного зображення тіл хребців 1 і міжхребцевих 2 дисків грудного та поперекового відділів хребта та імітатора імплантатів 3. Модель також має нижню опору 4, до якої жорстко "зафіксовано" тіло нижнього хребця відділу хребта, який досліджується, та механізм навантаження 5, який може створювати фізіологічне навантаження необхідної величини як уздовж гравітаційної лінії хребта, так і в іншому заданому напрямку.

55 Модель створюють таким чином.

60 Виконують послідовні растрові томографічні зрізи і побудову тривимірного векторного комп'ютерного зображення хребців грудного і поперекового відділів хребта разом з міжхребцевими дисками як одне ціле у вигляді кінцево-елементної сітки. Додатково за

допомогою елемента комп'ютерної програми формують нижню опору, до якої "фіксують" тіло нижнього хребця відділу який досліджується. Імітують на комп'ютерному зображенні ділянки хребта, що досліджують, імплантат у вигляді декількох розміщених на визначеній відстані між собою фіксуючих елементів - спонгіозних гвинтів, встановлених у відповідних хребцях, і поздовжнього стержня, що з'єднує зазначені елементи. Задають фізичні характеристики матеріалів окремих елементів хребта та матеріалів імплантата.

Матеріали умовно вважають однорідними та ізотропними.

Для побудови кінцево-елементної сітки використовували: 3-Д, 10-вузловий тетраедральний елемент SOLID 187; 3-Д, 20-вузловий квадратичний елемент SOLID 186, а також TARGE 170 і CONTA 174 - контактні елементи. Усього кінцево-елементна сітка моделі нараховувала 25146 елементів.

На тіло верхнього хребця прикладають навантаження уздовж гравітаційної лінії хребта за величиною, що дорівнює  $\approx 40\%$  від маси тіла конкретного хворого.

Виконують реєстрацію напружень і деформацій в окремих компонентах моделі (хребцях, дисках, фіксуючих елементах і поздовжньому стержні імплантата).

У процесі дослідження змінюють локалізацію імплантата, кількість і розмір (діаметр) його фіксуючих елементів, а також стан анатомічних структур хребта за рахунок видалення окремих дисків хребта, наявності та відсутності накладок та інших допоміжних фіксуючих елементів, що використовуються при хірургічному лікуванні сколіотичної або кіфотичної деформації хребта. Фіксують розподіл напружень у досліджуваній моделі і виконують порівняльний аналіз величин зазначених напружень з можливостями матеріалів окремих компонентів моделі, на основі чого формують пропозиції щодо використання тієї або іншої схеми імплантації хребта залежно від патологічного стану його анатомічних структур.

За результатами досліджень, проведених з використанням моделі, що пропонується, встановлено, що формування на комп'ютерному зображенні хребта нижньої опори, і закріплення до неї відділу хребта, який досліджується, наближує умови моделювання хребта до реальних умов функціонування організму пацієнта, що позитивно позначається на точності моделювання зазначеної патології хребта.

Імітація на тривимірному комп'ютерному зображенні грудного та поперекового відділів хребта та імплантата дає можливість визначити розподіл навантажень і напружень як на окремих ділянках хребта, так і на конструктивних елементах встановленого імплантата. При цьому виникає можливість визначення зон ризику ушкоджень як у кістках хребта, так і в окремих елементах імплантата. На основі цього визначення прогнозують технічний і клінічний результати після здійснення реального хірургічного лікування за схемою моделювання даної анатомічної ситуації.

Практика лікування захворювань хребта з використанням результатів, отриманих на даній моделі, показала, що клінічний успіх і надійне лікування підвищуються на 18-25%. Крім того, урахування дії навантаження на верхню ділянку грудного відділу хребта, що складає за величиною  $\approx 40\%$  від загальної маси тіла пацієнта, дозволяє виявити зони максимального і мінімального ризику напружень на різних ділянках оперованого хребта і імплантата і регулювати зазначені напруження шляхом змінення місця розміщення імплантата, кількості і розмірів його фіксуючих елементів і положення анатомічних структур хребта. Це розширює функціональні можливості моделювання і сприяє більш високому ступеню прогнозування успіху хірургічного лікування ушкоджень та захворювань хребта.

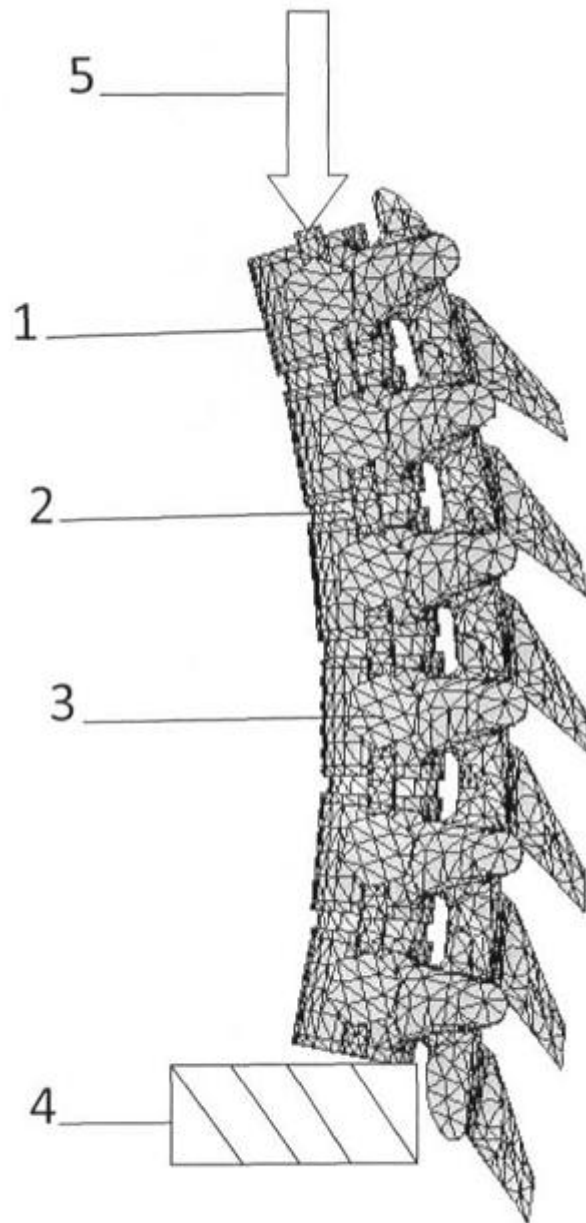
На момент створення корисної моделі, що заявляється, використано при обстеженні 13 хворих.

Корисна модель може бути використана у будь-якій лікувальній або діагностичній установі, яка займається діагностикою та лікуванням ушкоджень і захворювань хребта.

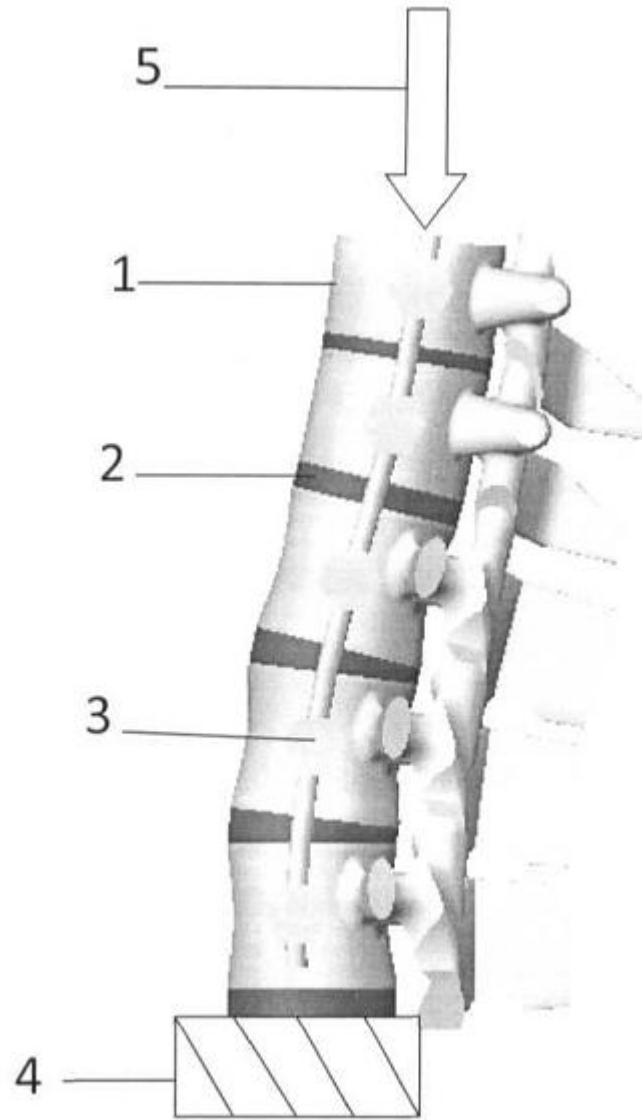
## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Кінцево-елементна модель грудного та поперекового відділів хребта, яка являє собою тривимірне векторне комп'ютерне зображення тіл хребців і міжхребцевих дисків грудного та поперекового відділів хребта у вигляді кінцево-елементної сітки, засноване на виконаних послідовних растрових томографічних зрізах цих відділів хребта, та механізму навантаження, яка **відрізняється** тим, що вона додатково містить нижню опору, яка являє собою елементи комп'ютерної програми, до якої жорстко "зафіксовано" тіло нижнього хребця відділу хребта, який досліджується, а також додатково містить імітатор імплантатів, який являє собою елемент комп'ютерної програми, який дозволяє по черзі "встановлювати" різні імплантати на тілах хребців та "розміщувати" їх по-різному відносно ділянки хребта, яка підлягає фіксації, крім того,

механізм навантаження, який також являє собою елементи комп'ютерної програми, може створювати фізіологічне навантаження необхідної величини як уздовж гравітаційної лінії хребта, так і в іншому заданому напрямку.



Фіг. 1



Фиг. 2

---

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601