



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **14206** (13) **U**  
(51) МПК (2006)  
**G01B 9/021**  
**A61B 3/18**  
**G01N 33/00**  
**A61N 5/00**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

### ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

#### (54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛАСТОПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОКА

1

2

(21) u200509135

(22) 28.09.2005

(24) 15.05.2006

(46) 15.05.2006, Бюл. № 5, 2006 р.

(72) Сминтина Валентин Андрійович, Тюрин Олександр Валентинович, Попов Андрій Юрійович, Щипун Сергій Костянтинович

(73) Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова

(57) Спосіб визначення еластопружних властивостей ока, що включає освітлювання поверхні ока когерентним випромінюванням, здійснення просторового суміщення опорної хвилі та об'єктної спекл-хвилі та просторової фільтрації сумарної хвилі діафрагмою до зникнення регулярних інтерференційних смуг усередині усіх спеклів сумарної

хвилі, реєстрацію набору спеклограм при дискретному змінюванні фази опорної хвилі від 0 до  $2\pi$  для початкового стану ока, здійснення тестуючої дії на око, реєстрацію набору спеклограм при дискретному змінюванні фази опорної хвилі від 0 до  $2\pi$  для зміненого стану ока, порівняння спеклограм початкового та зміненого стану ока, визначення деформації поверхні та еластопружних властивостей ока, який **відрізняється** тим, що освітлювання ока здійснюють спеціально сформованим випромінюванням зі спекловою структурою, а як тестуючу дію використовують або електричне поле, або ультразвук, або струмінь повітря, або механічний тиск, або локальну зміну зовнішнього атмосферного тиску.

Корисна модель відноситься до вимірювальної техніки, голографічної і спекл-інтерферометрії і може використовуватися в медицині для вимірювання деформації поверхні ока з метою визначення еластопружних властивостей рогівки і склери ока шляхом використання фазомодульованої спекл-інтерферометрії.

Відомий спосіб визначення еластопружних властивостей рогівки ока "Interferometric technique to measure biomechanical changes in the cornea induced by refractive surgery" [див. Journal of cataract & refractive surgery, 2005, V.31, N1, pp.175-184]. Спосіб здійснюється з використанням лазерного світла - однорідного когерентного випромінювання, яке ділиться на 2 пучки за допомогою дільника (напівпрозорого дзеркала), один з променів є опорним, а другий прямує на рогівку ока для створення об'єктного пучка. Поверхня рогівки покривається дифузно розсіюючим порошком, завдяки якому розсіяне світло (об'єктна хвиля) приймає спеклову структуру і збирається приймальною оптичною системою, формуючи об'єктний пучок. На об'єктний пучок накладається опорний пучок,

результуючий пучок проходить крізь діафрагму і за допомогою телекамери реєструється просторовий розподіл інтенсивності світла (спеклограма). Для кожного стану ока реєструють декілька спеклограм з різним фазовим зсувом опорного пучка. Комп'ютерний аналіз спеклограм, одержаних для двох станів ока - до і після тестуючої дії дозволяє визначити деформацію поверхні рогівки, і, знаючи величину тестуючої дії, розрахувати пружні властивості рогівки ока. У даному методі запропоновано використовувати два варіанти тестуючої дії, що змінює форму рогівки:

ін'єкція всередину ока фізіологічного розчину  
зміна внутрішньо очного тиску в результаті серцевого ритму.

Даний спосіб обрано прототипом.

Прототип співпадає з корисною моделлю, що заявляється, в наявності спільних операцій:

- освітлювання поверхні ока;
- здійснення просторового суміщення двох когерентних світлових хвиль - об'єктної та опорної;
- здійснення просторової фільтрації сумарної хвилі діафрагмою;

(19) **UA** (11) **14206** (13) **U**

- реєстрацію спеклограм при зміні фазі опорної хвилі від 0 до  $2\pi$  до та після тестової дії;
- порівняння спеклограм для стану поверхні ока початкового та зміненого;
- визначення зміни форми ока;
- визначення еластопружних властивостей ока.

Але відомий спосіб має такі недоліки:

- при його застосуванні необхідно покривати поверхню рогівки ока, що дзеркально відбиває світло, порошком, який дифузно розсіює світло, що дратує око і затрудняє проведення вимірювань.

У якості тестуючої дії використовують:

- ін'єкцію всередину ока фізіологічного розчину;
- зміну внутрішнього тиску ока в результаті серцевого ритму.

Такі тестуючі дії мають такі недоліки: ін'єкція травмує око, а зміна внутрішнього тиску ока в результаті серцевого ритму не піддається точному калібруванню і вимагає стабілізації положення ока з голографічною точністю на великий проміжок часу - близько 1сек., що неможливо для живого об'єкту "in vivo". Це утруднює або робить неможливим застосування відомого способу на практиці.

У основу корисної моделі поставлено задачу розробити нетравматичний спосіб визначення еласто-пружних властивостей ока, завдяки якому можливо вимірювати зміни форми рогівки та склери ока у реальному часі "in vivo" та запропонувати такі оптимальні методи тестуючої дії, що дають змогу визначати еластопружні властивості ока.

Поставлена задача вирішена у способі визначення еластопружних властивостей ока, що включає освітлювання поверхні ока когерентним випромінюванням, здійснення просторового суміщення опорної хвилі та об'єктної спекл-хвилі та просторової фільтрації сумарної хвилі діафрагмою до зникнення регулярних інтерференційних смуг усередині усіх спеклів сумарної хвилі, реєстрацію набору спеклограм при дискретному змінюванні фази опорної хвилі від 0 до  $2\pi$  для початкового стану ока, здійснення тестуючої дії на око, реєстрацію набору спеклограм при дискретному змінюванні фази опорної хвилі від 0 до  $2\pi$  для зміненого стану ока, порівняння спеклограм початкового та зміненого стану ока, визначення деформації поверхні та еластопружних властивостей ока, тим, що освітлювання ока здійснюють спеціально сформованим випромінюванням зі спекловою структурою, а у якості тестуючої дії використовують або електричне поле, або ультразвук, або струмінь повітря, або механічний тиск, або локальну зміну зовнішнього атмосферного тиску.

Новим у заявленої корисної моделі є те, що око освітлюють спеціально сформованим випромінюванням зі спекловою структурою, а у якості тестуючої дії використовують або електричне поле, або ультразвук, або струмінь повітря, або механічний тиск, або локальну зміну зовнішнього атмосферного тиску.

Таким чином нема потреби покривати дзеркально відбиваючу поверхню ока дифузно розсіюючим порошком та використовувати тестуючі дії, які травмують око. Це дозволяє використовувати спо-

сіб, що заявляється "in vivo" та визначати еластопружні властивості рогівки і склери ока.

Відомий спосіб фазомодульованої спекл-інтерферометрії для вимірювання зміни фази об'єктної хвилі [див. деклараційний, патент. UA №7343, МКІ 7G01B9/021, Бюл. №6, 2005] дозволяє у реальному часі вимірювати зміни форми об'єкту з дзеркально або дифузно відбиваючою поверхнею довільної форми. Недоліком цього способу є те, що він не орієнтований на вимір деформацій саме очей і в ньому не визначені способи тестуючої дії, які змінюють форму рогівки; або склери ока та дають змогу визначати їх еластопружні властивості.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю заявляємих ознак та технічним результатом, що досягається, є таким:

Додаткове розсіювання випромінювання лазера завдяки дифузору, що формує світловою пучок із спекловою структурою з заданим розміром спекла, дозволяє сформувати спекловий об'єктний пучок і за допомогою фазомодульованої спекл-інтерферометрії визначати деформацію оболонок ока, що дзеркально відбивають світло, а використання таких тестових дій на око як електричне поле, або ультразвук, або струмінь повітря, або механічний тиск або локальна зміна зовнішнього атмосферного тиску дозволяє, не травмуючи око, вивчати еластопружні характеристики рогівки і склери ока.

Спосіб здійснюється таким чином:

Промінь лазера розширюється лінзою і колімується за допомогою коліматора, випромінювання освітлює дифузно розсіюючу пластину (дифузор) що формує хвилю зі спекловою структурою, яка поділяється напівпрозорим дзеркалом на опорну і об'єктну хвилі (у такій пропорції, що б інтенсивності об'єктної і опорної хвиль у момент реєстрації були близькі), опорна хвиля прямує на фазозсувний пристрій, об'єктна хвиля прямує на поверхню ока. Відображені від дзеркала опорна хвиля і від ока об'єктна хвиля просторово поєднуються за допомогою напівпрозорого дзеркала. Сумарна хвиля просторово фільтрується діафрагмою, розмір якої підбирається таким, щоб зникли регулярні інтерференційні смуги усередині всіх спеклів сумарного поля, просторовий розподіл інтенсивностей в неї (спеклограми) реєструється телекамерою або фотоапаратом.

Вимірювання здійснюють таким чином:

Для початкового стану рогівки ока реєструють декілька (дві або більш) спеклограм при різних значеннях фази опорної хвилі, яка може змінюватися від 0 до  $2\pi$  за допомогою фазозсувного пристрою, наприклад п'єзокераміки. Порівнюючи отримані спеклограми визначають фазу кожного спекла.

Ці ж операції повторюють для зміненого стану об'єкту, викликаного, тестовою дією.

Порівнюючи між собою фази кожного із спеклів початкового і зміненого стану об'єкту, визначають зміни фази об'єктної хвилі - інтерферограми, а по них - деформацію рогівки або склери та з урахуванням величини тестової дії визначають еластопружні властивості ока.

На протязі всього циклу вимірювань (реєстра-

ція серії інтерферограм в початковому стані, тестова дія, реєстрація серії інтерферограм в деформованому стані) око повинно бути стабілізованим з голографічною точністю, тобто його випадкові переміщення, викликані не тестовою дією, а іншими, випадковими причинами, не повинні перевищувати половину довжини хвилі випромінювання використаного лазера. Оскільки таку стабілізацію для біологічних об'єктів важко забезпечити "in vivo" на великі проміжки часу, необхідно зробити весь цикл вимірювань можливо коротшим (менше 1/400с). Для цього необхідно застосовувати високошвидкісні телекамери і високошвидкісні методи здійснення тестуючої дії. Використовується слідує з тестуючих дій:

1. Зміна зовнішнього атмосферного тиску в прозорій герметичній ємності, яка накладена на око.

2. Механічний тиск на око.

3. Струм повітря.

4. Ультразвукова дія.

5. Електричне поле.

Запропонований спосіб ілюструється пояснювальними кресленнями, де:

Фіг.1 - здійснення визначення за прикладом 1.

Фіг.2 - картина інтерферограми поверхні ока при зміні зовнішнього атмосферного тиску на 0,01%.

Фіг.3 - Розрахований по Фіг.3 профіль деформації поверхні склери ока.

Приклади конкретного виконання способу.

Приклад 1.

Дослідження еластопружних властивостей рогівки та склери ока (див. Фіг.1).

Промінь лазера 1 розширюється лінзою 2 і колімується коліматором 3, випромінювання освітлює дифузно розсіюючу пластину - дифузор 4, і поділяється напівпрозорим дзеркалом 5 на опорну і об'єктну хвилі (у такій пропорції, щоб інтенсивності об'єктної і опорної хвиль в момент реєстрації були близькі), опорна хвиля прямує на дзеркало 6, що поєднано з фазозсувним пристроєм 7, об'єктна

хвиля прямує на рогівку або склеру 10 ока 11. Відбита від дзеркала 6 опорна хвиля і від ока об'єктна хвиля просторово суміщаються за допомогою напівпрозорого дзеркала 5. Сумарна хвиля просторово фільтрується діафрагмою 8, розмір якої підбирається просторово фільтрується діафрагмою 8, розмір якої підбирається таким, щоб зникли регулярні інтерференційні смуги усередині всіх спеклів сумарного поля, просторовий розподіл інтенсивностей в неї (спеклограма) реєструється телекамерою або фотоапаратом 9.

Вимірювання здійснюються таким чином:

Для початкового стану рогівки ока реєструють декілька (дві або більш) спеклограм при різних значеннях фази опорної хвилі, яка може змінюватися від 0 до  $2\pi$  за допомогою фазозсувного пристрою 7, наприклад п'єзокераміки. Порівнюючи одержані спеклограми визначають фазу кожного спекла.

Ці ж операції повторюють для зміненого стану об'єкту, викликаного, тестуючою дією 10 - у даному випадку зміною зовнішнього атмосферного тиску в прозорій герметичній ємності 12, яка накладена на око.

Порівнюючи поміж собою фази кожного із спеклів початкового і зміненого стану об'єкту визначають зміни фази об'єктної хвилі - інтерферограми (див. Фіг.2), а по них - деформацію рогівки ока (див. Фіг.3). По величинам деформацій з урахуванням величини зміни тиску знаходять еластопружні властивості рогівки та склери ока.

Переваги даного способу наступні:

- швидкість запропонованого методу дає можливість використовувати його на живих об'єктах, in vivo;

- при високій чутливості запропонованого способу використовуються малі величини тестової дії, які не травмують око;

- відсутня дратівлива для ока операція покриття поверхні ока дифузно розсіюючим світлом порошком.

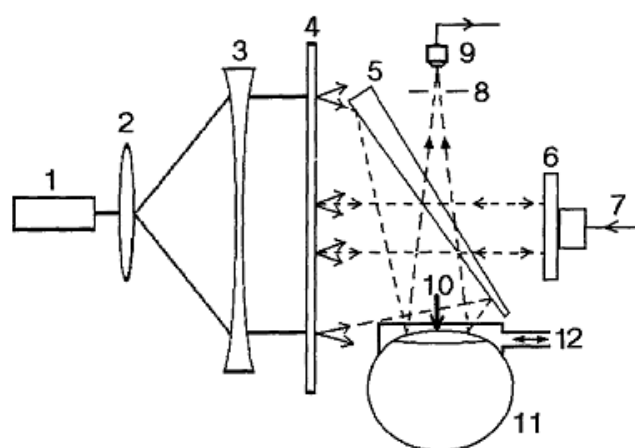


Fig. 1

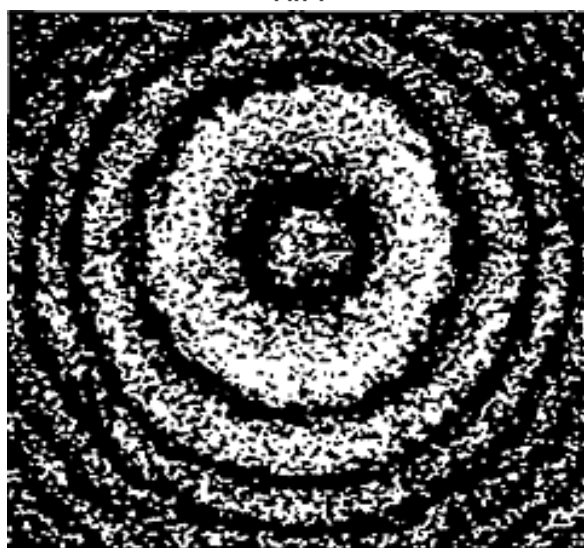


Fig. 2

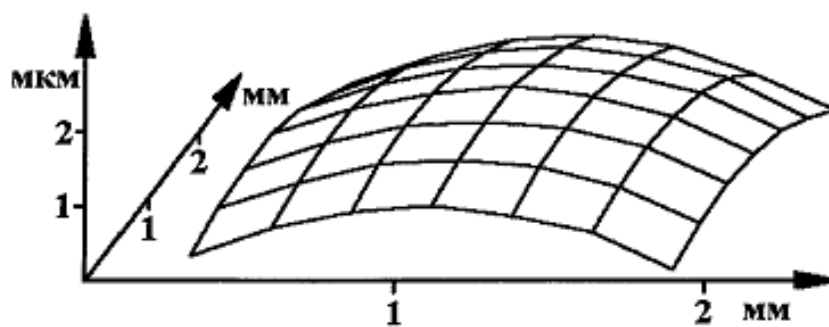


Fig. 3