УДК 617.761–009.11–089–078:681.3(083.53)

Використання комп'ютерної програми для розрахунку координат об'єктів на поверхні моделі очного яблука при оперативних втручаннях на косих м'язах

В. І. Ємченко, канд. мед. наук, Д. В. Кухаренко, аспірант

Кременчуцька міська дитяча лікарня,
Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського

Введение. *При выполнении оперативных вмешательств на косых мышцах приходится манипулировать в зоне заднего полюса глазного яблока, что создаёт ряд неудобств и угрожает осложнениями. Важно минимизировать объём инструментальных манипуляций в этой зоне.*

Цель. *При выполнении операций на косых мышцах с раздельной регуляцией функций рецессиями нижней косой мышцы использовать непрямое измерение дозирования операций на косых мышцах путём применения компьютерной программы для расчёта координат объектов на поверхности модели глазного яблока.*

Материал и методы. *Проводилось определение на поверхности модели глазного яблока точки, куда планировалось фиксировать косую мышцу, локализации этой точки относительно двух легко доступных ориентиров. Такими ориентирами служили места прикрепления прямых мышц. На глазу больного точка новой фиксации косой мышцы определялась с помощью указанных ориентиров.*

Результаты. *Создан безопасный метод непрямого измерения дозирования операций на косых мышцах. Предложенная компьютерная программа позволяет точно дозировать операции на верней и нижней косых мышцах без риска осложнений, сокращает время операции и пребывание пациента под наркозом.*

Ключевые слова: операции на косых мышцах, дозирование операций, компьютерная программа.

Ключевые слова: операции на косых мышцах, дозирование операций, компьютерная программа.

Use of the computer program for calculation of the object coordinates on the surface of the eyeball model

Emchenko VI, Kukharenko DV

Kremenchug City Children's Hospital,
Kremenchug National University named after M. Ostrogradskiy,
Kremechug, Ukraine

Introduction. *In performing surgical interventions on the oblique muscles we have to manipulate in the area of the posterior pole of the eyeball causing a number of inconveniences and threatening by complications. It is important to minimize the scope of instrumental manipulations in this area.*

Purpose. *While performing operations on the oblique muscles with different regulation functions there is used indirect measurement of operation dosage on the oblique muscles by using computer programs for calculation of the object coordinates on the on the surface of the eyeball model.*

Material and methods. *There was made a determination of the point on the model, on which the oblique would be fixed and localization of this point regarding two easily approachable orientation points. The sites of attachment of straight muscles were such orientation points. These orientation points helped to determine the point of new fixation of the oblique muscle on the patient's eye.*

Results. *There was developed a safe method of indirect measurement of operation dosage on the oblique muscles. The proposed computer program allows to dose exactly the operations on the inferior and superior oblique muscles without any risks of complications, shorten the operation time and anesthesia of the patient.*

Key words: operations on the oblique muscles, operation dosage, computer program

Вступ. При виконанні оперативних втручань на косих м'язах доводиться маніпулювати в зоні заднього полюса очного яблука. Місця прикріплення косих м'язів до склери дуже варіюють в плані топографії, форми та протяжності зони прикріплення [11, 19]. Особливо незручними є задні варіан-

© В. І. Ємченко, Д. В. Кухаренко, 2013

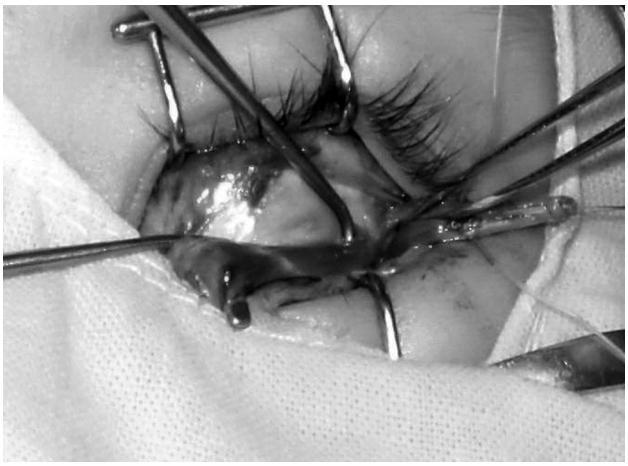
ти прикріплення косих м'язів. Щоб добратися до місць прикріплення косих м'язів до склери в таких випадках, доводиться попередньо відтинати від місця прикріплення верхній прямий м'яз (при операції на верхньому косому) або зовнішній прямий м'яз (при операції на нижньому косому). У випадках, коли на останніх м'язах не планується окреме втручання (рецесія чи резекція) такий перетин вкрай небажаний, оскільки, враховуючи операцію на косому м'язові, робить неможливим без ризику серйозних ускладнень операцію на «потрібному» прямому м'язові цього ж ока. Офтальмохірургу доводиться змиритись із прогнозованою залишковою девіацією і перенести повне її усунення на наступний етап хірургічного лікування. Крім того, форсовані повороти очного яблука, особливо, супераддукція при втручанні на нижньому косому м'язові, загрожують різними ускладненнями через можливість травмування склери, зорового нерва та судин, без гарантії виведення зони прикріплення нижнього косого в операційне поле [16, 18]. Уявлення про те, що являє собою операційне поле при роботі в зоні прикріплення нижнього косого м'яза, дають мал. 1–2.

При задньому варіанті прикріплення косих м'язів до склери, у деяких випадках навіть після перетину відповідних прямих м'язів, а без перетину останніх у більшості випадків, чи не найбільшою проблемою є вимірювання величини майбутньої рецесії косого м'яза. Існуючий інструмент (циркуль-вимірювач) в силу своєї форми, важко під контролем зору встановити в місці прикріплення косого м'яза до склери. Без контролю зору, по тактильним відчуттям «на інструменті», це просто небезпечно, оскільки легко можна травмувати гострим кінцем циркуля оточуючі тканини. Спроби використати різні дугоподібно вигнуті вимірювачі важко назвати вдалими: їх кривизна часто не відповідає кривизні склери конкретного пацієнта, а кінець теж може травмувати оточуючі тканини. Математичне моделювання, комп'ютерна техніка з відповідним програмним забезпеченням все ширше використовується в медицині в т. ч. і в страбізмології [5, 6, 12, 13, 14, 15, 17]. Хірургія косоокості одна з можливих і недостатньо освоєних сфер їх застосування.

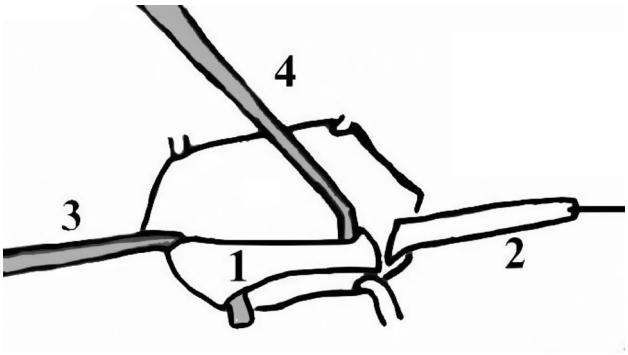
Мета. Розробити безпечний метод непрямого вимірювання місця фіксації косих м'язів в ході хірургічного втручання шляхом використання комп'ютерної програми для розрахунку координат об'єктів на поверхні моделі очного яблука.

Матеріал і методи

Нами удосконалено ряд операцій на косих м'язах з роздільною регуляцією функцій. Серед них виконувалися: часткові тенектомії з рецесіями верхнього косого м'яза (Патент України 61559А з пріоритетом від 03.03.2003) [4, 8] та часткові міоектомії з рецесіями нижнього косого м'яза (Патент України 25164А з пріоритетом від 01.08.96) [1, 7].



Мал. 1. Вигляд операційного поля в зоні прикріплення нижнього косого м'яза.



Мал. 2. Схема операційного поля в зоні прикріплення нижнього косого м'яза. Цифрами позначено: 1 — нижній косий м'яз; 2 — відтятий зовнішній прямий м'яз; 3 — гачок, що натягує нижній косий м'яз; 4 — гачок упертий в місце прикріплення нижнього косого м'яза.

Розроблено математичну модель дії окорухових м'язів на очне яблуко людини, яка дозволяє визначати моменти сил, що діють на поверхню очного яблука в зоні прикріплення окорухових м'язів [2, 3, 5, 10, 11] і яка розраховуються за формулами:

$$\begin{aligned} Mx_i' &= -F'y_i \cdot z_i' + F'z_i \cdot y_i' , \\ My_i' &= F'x_i z_i' - F'z_i x_i' , \\ Mz_i' &= -F'x_i \cdot y_i' + F'y \cdot x_i' \end{aligned} \qquad (1)$$

де Mx_i', My_i', Mz_i' — моменти сил дії м'язу в даній точці, $F'x_i, F'y_i, F'z_i$ проекції вектору сили, що діє в *i*-й точці, на осі відповідної системи координат, а x_i', y_i', z_i' точки прикріплення м'яза в тій же системі.

Вектори сил тяги окорухових мязів в первинній позиції погляду визначаються як:

$$\bar{F}_i = ((y_iC_i - B_iz_i)\bar{i} + (A_iz_i - x_iC_i)\bar{j} + (x_iB_i - A_iy_i)\bar{k}) \cdot t_i \cdot Ko_i \qquad (2)$$

де i, j, k — базисні вектори, x_i, y_i, z_i — координати точки прикріплення м'яза, A_i, B_i, C_i — коефіцієнти, що визначаються кутом нахилу вектора до координатних площин, t_i —

нормуючий множник, який приводить довжину кожного вектора до одиниці, Ko_i — множник, що дозволяє маніпулювати довжиною вектора. При поворотах ока нові координати векторів визначаються як

$$\bar{F}_i' = A^{-1} \cdot \bar{F}_i, \quad (3)$$

де A^{-1} — матриця, обернена до матриці перетворення координат A.

Математичні розрахунки і побудова графіків проводилися в програмі Mathcad 2000.

Створено комп'ютерну програму для розрахунку координат об'єктів на поверхні моделі очного яблука [6, 9]. Програма дозволяє: визначати декартові і сферичні координати довільної точки на поверхні моделі очного яблука; визначати декартові координати із відомих сферичних координат; визначати кути повороту навколо кожної з осей тривимірної декартової системи координат, при обертанні ока, яке задається зміною координат певної точки. Програма дозволяє визначати також відстані між двома точками на поверхні очного яблука по хорді і по дузі у відносних (в радіусах очного яблука) і в абсолютних (мм) одиницях [6, 9].

Програма була використана у 11 пацієнтів віком від 3 до 16 років. У 4 із них виконано часткові тенектомії з рецесіями верхнього косого м'яза (5 операцій), у 7 — часткові міоектомії з рецесіями нижнього косого м'яза (10 операцій).

Результати

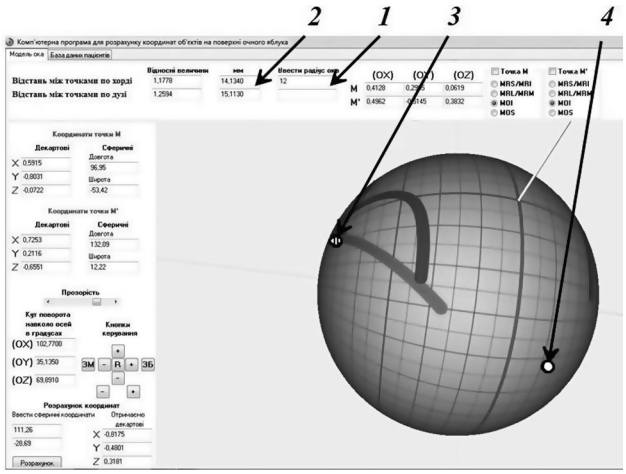
Створена нами програма для розрахунку координат об'єктів на поверхні моделі очного яблука [6, 9] використана для інтраопераційного уточнення запланованих переміщень косих м'язів на поверхні очного яблука при труднощах прямих вимірів стандартним циркулем-вимірювачем.

Для вирішення задач інтраопераційного непрямого вимірювання переміщень та уточнення дозування запланованих операцій (наприклад, рецесій) косих м'язів програма працює наступним чином. Після запуску програми з'являється робоче вікно з зображенням моделі очного яблука із нанесеною на його поверхню координатною сіткою сферичної системи координат з кроком 5° та осями тривимірної декартової прямокутної системи координат. На поверхні моделі зображено також основні анатомічні деталі: зони прикріплення окорухових м'язів та межі рогівки [6, 9].

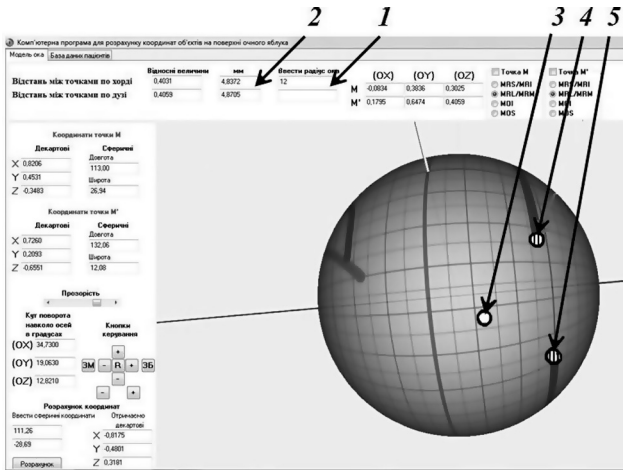
Алгоритм роботи програми (див. мал. 3).

У відповідне вікно необхідно ввести радіус ока в міліметрах (позначено цифрою 1 на мал. 3). На моделі очного яблука використовують точки М (червоний колір, ліва клавіша «миші») і Мґ (жовтий колір, права клавіша «миші»).

При роботі з нижнім косим м'язом точку М треба встановити в зоні прикріплення нижнього косого м'яза (позначено цифрою 3 на мал. 3). Точку Мґ необхідно вивести в місце, куди планується пересадити нижній косий м'яз (позначено цифрою 4 на мал. 3). При цьому відстань переміщення визначається по хорді у відповідному вікні (позначено цифрою 2).



Мал. 3. Робоче вікно програми для розрахунку координат об'єктів на поверхні очного яблука. Цифрами позначено: 1 — радіус очного яблука в мм; 2 — відстань по хорді між точками М і Мґ; 3 — точка М в зоні прикріплення нижнього косого м'яза; 4 — точка Мґ в місці, куди планується пересадити нижній косий м'яз.



Мал. 4. Робоче вікно програми для розрахунку координат об'єктів на поверхні очного яблука. Цифрами позначено: 1 — радіус очного яблука в мм; 2 — відстань по хорді між точками М і Мґ; 3 — точка Мґ в місці, куди планується пересадити нижній косий м'яз; 4 — точка М встановлена в місці прикріплення нижнього краю зовнішнього прямого м'яза; 5 — точка М встановлена в місці прикріплення латерального краю нижнього прямого м'яза. Вимірювання за допомогою точок М і Мґ здійснюються послідовно і на цьому малюнку умовно суміщені.

Коли точка пересадки нижнього косого м'яза визначена на моделі, необхідно визначити локалізацію цієї точки відносно легко доступних в операційному полі двох орієнтирів (див. мал. 4). Такими орієнтирами є нижній край прикріплення зовнішнього прямого м'яза і латеральний край нижнього прямого м'яза. На моделі точку М треба встановити в зоні прикріплення нижнього краю зовнішнього прямого м'яза (позначено цифрою 4 на мал. 4). При

цьому точка Мґ залишається на попередньому місці, тобто, в місці запланованої пересадки нижнього косого м'яза (позначено цифрою 3 на мал. 4). При цьому відстань між точками М і Мґ, яка являє собою дистанцію по хорді між місцем запланованої пересадки нижнього косого м'яза і першим орієнтиром, визначається у відповідному вікні (позначено цифрою 2 на мал. 4).

Наступним кроком є визначення на моделі відстані від місця запланованої пересадки нижнього косого м'яза до другого орієнтира, тобто, латерального краю нижнього прямого м'яза (позначено цифрою 5 на мал. 4), куди і встановлюється точка М. При цьому точка Мґ продовжує залишатися на попередньому місці, тобто, в місці запланованої пересадки нижнього косого м'яза (позначено цифрою 3 на мал. 4). Інформація про відстань зчитується у відповідному вікні (позначено цифрою 2 на мал. 4).

Два останні вимірювання за допомогою точок М і Мґ здійснюються послідовно, проте, для економії місця та більшої наглядності, умовно суміщені на мал. 4.

Визначивши за допомогою моделі відстань по хорді до вказаних двох орієнтирів, стандартним циркулем-вимірювачем в операційному полі на поверхні ока пацієнта знаходимо точку (це перетин двох дуг з центрами в точках-орієнтирах, якими слугують нижній край прикріплення зовнішнього прямого м'яза і латеральний край нижнього прямого м'яза), до якої буде фіксований пересаджуваний нижній косий м'яз.

При роботі з верхнім косим м'язом треба діяти аналогічно: точку М треба встановити в зоні прикріплення верхнього косого м'яза, а точку Мґ необхідно вивести в місце, куди планується пересадити сухожилля верхнього косого м'яза. Подальші дії відрізняються від вищеописаних лише тим, що орієнтирами слугують медіальний край прикріплення верхнього прямого м'яза і верхній край прикріплення внутрішнього прямого м'яза. Визначивши за допомогою моделі відстань по хорді до цих орієнтирів стандартним циркулем-вимірювачем, в операційному полі на поверхні ока пацієнта легко можна знайти точку на склері, до якої буде фіксоване пересаджуване сухожилля верхнього косого м'яза.

Обговорення

Затрати часу на використання програми під час операцій становили 5–7 хвилин. Враховуючи, що затрати часу для виведення місць прикріплення косих м'язів в операційне поле, особливо при задніх варіантах їх прикріплення, ніяк не менші, а травматичність операцій при використанні програми значно зменшується — виграш очевидний. Особливо він стає помітним, коли згадати, що використання програми дозволяє відмовитись від додаткового перетину одного з прямих м'язів, фактично, додаткової операції.

Може виникнути питання: як можна бути впевненим, що точка прикріплення косого м'яза на моделі відповідає такій у даного хворого? Адже знаходимо ми її інструментом, вона «тоне» в оточуючих тканинах, зоровий контроль майже відсутній. Як свідчить наш досвід, структури, розміщені на поверхні задньої півкулі очного яблука на широті меншій за 75°, доступні зоровому контролю без додаткового перетину прямих м'язів. Більш високоширотні об'єкти без додаткового перетину прямих м'язів огляду недоступні. Відомо, що нижній косий м'яз при крайньому задньому варіанті прикріплення не може знаходитися на широті більшій за 85° [11]. Тому широту заднього краю прикріплення нижнього косого (при недоступності його зоровому контролю) можна вважати рівною 80°. Оскільки при радіусі очного яблука 12 мм відстань по хорді між пунктами, що знаходяться на одному меридіанові і мають різницю по широті в 5°, становить близько 0,96 мм, помилка не буде перевищувати 1 мм. Така помилка виявляється на рівні точності вимірювання циркулем-вимірювачем.

Додатковою сферою використання запропонованої нами програми може бути контроль прямих інструментальних вимірювань. Така необхідність може виникнути у випадках великих рецесій (в т.ч. і рецесій з ектоміями) косих м'язів, коли після відтинання косого м'яза, зона його прикріплення «ховається» в глибині рани. При цьому дуже зручно виявляється локалізувати місце нового прикріплення м'яза за допомогою описаного вище способу.

Висновки

1. Створено безпечний метод розрахунку непрямого вимірювання прикріплення косих м'язів шляхом використання комп'ютерної програми для розрахунку координат об'єктів на поверхні моделі очного яблука.

2. Запропонована комп'ютерна програма дозволяє точно локалізувати місце прикріплення нижнього та верхнього косих м'язів без ризику виникнення ускладнень та значно скорочує перебування пацієнта під наркозом.

Література

1. **Емченко В. И.** Частичная миоэктомия с рецессией нижней косой мышцы / В. И. Емченко // Офтальмол. журн. — 2000. — № 4. — С. 49–52.
2. **Ємченко В. І.** Про дію окорухових м'язів на очне яблуко людини при виведенні останнього з первинної позиції погляду / В. І. Ємченко, Н. Г. Кирилаха // Офтальмол. журн. — 2007. — № 5. — С. 47–53.
3. **Ємченко В. І.** Про дію окорухових м'язів на людське око при патології окорухового апарату / В. І. Ємченко, Н. Г. Кирилаха // Офтальмол. журн. — 2008. — № 1. — С. 19–23.
4. **Ємченко В. І.** Часткова тенектомія верхнього косого м'яза з рецесією / В. І. Ємченко // Офтальмол. журн. — 2004. — № 6. — С. 62–65.
5. **Кирилаха Н. Г.** Математична модель дії окорухових м'язів при обертаннях ока / Н. Г. Кирилаха // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки. — 2008. — № 1. — С.83–91.
6. Комп'ютерна програма для розрахунку координат об'єктів на поверхні очного яблука людини / В. І. Ємченко, Д. В. Кухаренко, Н. Г. Кирилаха [та ін.] // Офтальмол. журн. — 2008. — № 4. — С. 49–52.
7. Пат. 25164А Україна, МПК А 61 F 9/00. Спосіб оперативного лікування косоокості по В. І. Ємченку / Ємченко В. І. (Україна); заявник і власник Ємченко В. І. — 96083093 ; заявл. 01.08.96 ; опубл. 25.12.98, Бюл. № 6.
8. Пат. 61559А Україна, МПК А 61 F 9/007 Спосіб оперативного лікування косоокості по Ємченку / Ємченко В. І. (Україна); заявник і власник Ємченко В. І.. — 2003 031872 ; заявл. 03.03.2003 ; опубл. 17.11.2003, Бюл. № 11.
9. Пат. 37269 UA, МПК A 61 B 3/00, G 09 B 23/00. Спосіб розрахунку координат об'єктів на поверхні моделі очного яблука / Кухаренко Дмитро Володимирович (UA), Мосьпан Владислав Олександрович (UA), Ємченко Віктор Іванович (UA); власник Кухаренко Дмитро Володимирович. — u 2008 06807 ; заявл. 19.05.2008; опубл. 25.11.2008, Бюл. № 22.
10. Про дію окорухових м'язів на очне яблуко людини в первинній позиції погляду / В. І. Ємченко, Н. Г. Кирилаха, В. О. Мосьпан [та ін.] // Офтальмол. журн. — 2007. — № 2. — С. 50–56.
11. Топографія поверхні людського ока в сферичній системі координат / В. І. Ємченко, В. О. Мосьпан, С. О. Литовченко [та ін.] // Офтальмол. журн. — 2005. — № 5. — С. 75–80.
12. **Buchberger M.** Computerunterstützte Diagnose und Therapie von Augenmotilitätsstörungen / M. Buchberger // Spektrum Augenheilkd. — 2008. — B. 22. — № 4. — S. 266–269.
13. **Buchberger M.** Ein biomechanisches Modell der Augenmotilitdt / M. Buchberger // Spektrum Augenheilkd. — 2002. — B. 16. — № 4. — S. 176–182.
14. **Buchberger M.** An Ophthalmologic Diagnostic Tool using MR Images for Biomechanically-based Muscle Volume Deformation / M. Buchberger T. Kaltofen // Proc. SPIE — 2003. — V. 5032, — P. 60–71.
15. Construction and Application of an Object-oriented Computer Model for Simulating Ocular Positioning Defects / M. Buchberger, T. Kaltofen, S. Priglinger [et al.] // Spektrum Augenheilkd. — 2003. — B. 17. — № 4. — S. 151–157.
16. **Helveston E. M.** Atlas of Strabismus Surgery / E. M. Helveston ; — St. Louis — Toronto — Princeton : The C. V. Mosby Company, 1985. — 395 p.
17. **Koene A. R.** Eye Mechanics And Their Implications For Eye Movement Control / Koene A. R. — Helmholtz Instituut, 2002–123 p.
18. Ocular Perforation and Phthisis Bulbi Secondary to Strabismus Surgery / D. J. Apple, G. R. Jones, J. J. Reidy // J. Pediatr. Ophthalmol. Strabismus. — 1985. — V. 22. — № 5. — P. 184–187.
19. **Sachsenweger R.** Augenmuskellдhmungen / Sachsenweger R. — Leipzig: VEB Georg Thieme, 1966. — 463 s.

Поступила 15.05.2013

References

1. **Yemchenko VI.** Partial myectomy with the recession of the inferior oblique muscle. Oftalmol Zh. 2000; 4: 49–52. In Ukrainian.
2. **Yemchenko VI, Kirilakha NG.** The effects of oculomotor muscles on the human eyeball in its derivation of primary positions of sight. Oftalmol Zh. 2007; 5: 47–53. In Ukrainian.
3. **Yemchenko VI, Kirilakha NG.** The effect of oculomotor muscles on the human eyeball in oculomotor apparatus pathology. Oftalmol Zh. 2008; 1:19–23. In Ukrainian.
4. **Yemchenko VI.** Partial tenectomy of the upper oblique muscle with recession. Oftalmol Zh. 2004; 6: 62–5. In Ukrainian.
5. **Kirilakha NG.** A mathematical model of the oculomotor muscles during rotations of the eye. Visnyk Zaporizkogo natsionalnogo universitetu. Physics and Mathematics. 2008; 1: 83–91. In Ukrainian.
6. **Yemchenko VI, Kukharenko DV, Kirilakha NG** et al. Software to calculate the coordinates of objects on the surface of the human eyeball. Oftalmol Zh. 2008; 4: 49–52. In Ukrainian.
7. **Yemchenko VI.** Pat. 25164A Ukraine, MPK A 61 F 9/00. The method of surgical treatment for strabismus by VI Yemchenko (Ukraine); applier and owner Yemchenko VI — 96083093; appl. 01.08.96; publ. 25.12.98, Bul. № 6.
8. **Yemchenko VI.** Pat. 61559A Ukraine, MPK A 61 F 9/007 The method of surgical treatment for strabismus by VI Yemchenko (Ukraine); applier and owner Yemchenko VI — 2003 031872 ; appl. 03.03.2003; publ. 17.11.2003, Bul. № 11.
9. **Kukharenko DV, Mospan VO, Yemchenko VI.** Pat. 37269 UA, MPK A 61 B 3/00, G 09 B 23/00. Method of calculating the coordinates of objects on the surface of the eyeball model; owner — Kukharenko DV — 2008 06807; appl. 19.05.2008; publ. 25.11.2008, Bul. № 22.
10. **Yemchenko VI, Kirilakha NG, Mospan VO** et al. The effects of oculomotor muscles on the human eyeball in its derivation of primary positions of sight. Oftalmol Zh. 2007; 2: 50–6. In Ukrainian.
11. **Yemchenko VI, Mospan VO, Litovchenko SO** et al. The human eye surface topography in spherical coordinates. Oftalmol Zh. 2005; 5: 75–80. In Ukrainian.

12. **Buchberger M.** Computerunterstützte Diagnose und Therapie von Augenmotilitätsstörungen. Spektrum Augenheilkd. 2008; 22(4): 266–9.
13. **Buchberger M.** Ein biomechanisches Modell der Augenmotilitдt. Spektrum Augenheilkd. 2002; 16(4): 176–82.
14. **Buchberger M, Kaltofen T.** An Ophthalmologic Diagnostic Tool using MR Images for Biomechanically-based Muscle Volume Deformation. Proc. SPIE. 2003; 5032: 60–71.
15. **Buchberger M, Kaltofen T, Priglinger S** et al. Construction and Application of an Object-oriented Computer Model for Simulating Ocular Positioning Defects. Spektrum Augenheilkd. 2003: 17(4): 151–7.
16. Helveston EM. Atlas of Strabismus Surgery. St. Louis — Toronto — Princeton: The C. V. Mosby Company; 1985. 395 p.
17. Koene AR. Eye Mechanics And Their Implications For Eye Movement Control. Helmholtz Instituut; 2002. 123 p.
18. Apple DJ, Jones GR, Reidy JJ. Ocular Perforation and Phthisis Bulbi Secondary to Strabismus Surgery. J. Pediatr. Ophthalmol. Strabismus. 1985: 22(5): 184–7.
19. Sachsenweger R. Augenmuskellдhmungen. Leipzig: VEB Georg Thieme; 1966. 463 p.

Received 15.05.2013