

ДО ПИТАННЯ ПРО УЧАСТЬ ПОРЦІЙ КОСИХ М'ЯЗІВ В ГОРИЗОНТАЛЬНИХ, ВЕРТИКАЛЬНИХ ТА РОТАТОРНИХ РУХАХ ОЧНИХ ЯБЛУК

В. І. Ємченко, канд. мед. наук, **Н. Г. Кирилах**, канд. мед. наук

Кременчуцька міська дитяча лікарня,
Кременчуцький державний політехнічний університет ім. М. Остроградського

На основе математической модели работы глазодвигательной системы доказано, что задние порции (половины) обеих косых мышц действуют преимущественно в вертикальной плоскости, на поднимание-опускание, а передние порции — во фронтальной плоскости, на эксциклодукцию-инциклодукцию. Причем уравновешивается вертикальная и ротаторная составляющая посередине ширины зон прикрепления обеих косых мышц. Горизонтальное действие верхней косой мышцы заметно почти по всей широтной протяженности прикрепления сухожилия мышцы, у нижней же косой, оно становится заметным лишь в крайних передних порциях, особенно же растет при транспозиции мышцы вперед.

Ключові слова: косі м'язи, математична модель, механізм горизонтальних, вертикальних та ротаторних рухів очей.

Ключевые слова: косые мышцы, математическая модель, механизм горизонтальных, вертикальных и ротаторных движений глаз.

Актуальність. Зараз, в результаті цілого ряду досліджень, встановлена роль косих м'язів та їх частин (порцій) в горизонтальних, вертикальних та ротаторних рухах очних яблук. Проте, інформація з цього приводу розпорошена по великій кількості праць, часто носить фрагментарний характер, нерідко розрахована на фізіологів, біомеханіків та ін. і важкодоступна для практичного офтальмолога [6, 9, 12, 13]. Тим часом, правильне розуміння функціонування косих м'язів необхідне для успішного хірургічного лікування багатьох форм косоокості. На основі створеної нами математичної моделі дії окоорухових м'язів на очне яблуко людини в ряді робіт ми продемонстрували у вигляді графіків дію цих м'язів та їх частин [1, 2, 3]. Однак, при спілкуванні з колегами, виявились труднощі сприйняття і розуміння поданого матеріалу у вигляді графіків і математичних формул. Особливо це стосується дії косих м'язів.

Метою даної роботи є демонстрація ролі косих м'язів та їх частин (порцій) в горизонтальних, вертикальних та ротаторних рухах очних яблук.

Задача. На основі математичної моделі показати роль косих м'язів та їх частин (порцій) в горизонтальних, вертикальних, ротаторних рухах очних яблук та співвідношення між моментами сил, що діють на поверхню очного яблука в трьох площинах прямокутної декартової системи координат в залежності від місця прикріплення порцій.

МАТЕРІАЛ І МЕТОД. Нами проведено аналіз дії порцій косих м'язів на очне яблуко людини з кроком 10° широти (φ). Сферичні координати точок на поверхні очного яблука в зоні прикріплення косих м'язів, в яких ми проводили розрахунки, наведені в табл. 1. Жирним шрифтом та зірочкою виділено координати, де в нормі косі м'язи ніколи

не прикріплюються, але де вони або їх порції можуть опинитися в результаті оперативних втручань (довгота θ в цих випадках взята гіпотетична).

Таблиця 1

Сферичні координати прикріплення косих м'язів

Верхній косий м'яз (MOS)		Нижній косий м'яз (MOI)	
Довгота θ°	Широта φ°	Довгота θ°	Широта φ°
—	—	140*	30*
23*	20*	135*	20*
20	10	130*	10*
17	0	125*	0*
15	-10	120	-10
10	-20	115	-20
5	-30	110	-30
0	-40	100	-40
355	-50	90	-50
350	-60	90	-60
340	-70	95	-70
335*	-80*	97	-80
333*	-90*	100	-90

Зіркою * виділено координати прикріплення, де в нормі косі м'язи ніколи не прикріплюються, але де вони або їх порції можуть опинитися в результаті хірургічних втручань (довгота θ° в цих випадках гіпотетична).

Хоча в задньому полюсі ока (φ = 90°) поняття довготи θ° втрачає сенс, у таблиці у відповідних колонках довгота вказана, щоб дати уявлення про можливу топографію косих м'язів в широтах, що наближаються до заднього полюса ока.

Створена нами математична модель дії окоорухових м'язів на очне яблуко людини дозволяє визначати моменти сил, що діють на поверхню очного яблука в зоні прикріплення окоорухових м'язів.

Для визначення дії порцій окорухових м'язів в кожній конкретній точці в зоні прикріплення будь-якого окорухового м'яза будуються вектори сил тяги м'язів згідно з положеннями, прийнятими в наших попередніх роботах [1, 2, 3, 5]. У загальному вигляді вектори сил тяги можуть бути представлені як:

$$\vec{F}_i = ((y_i C_i - B_i z_i) \vec{i} + (A_i z_i - x_i C_i) \vec{j} + (x_i B_i - A_i y_i) \vec{k}) \cdot t_i \cdot K_i, \quad (1)$$

де i, j, k — базисні вектори, x_i, y_i, z_i — координати точки прикріплення i -тої порції 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, K_i — множник, що дозволяє маніпулювати довжиною вектора.

Для визначення точок прикріплення порцій окорухових м'язів до склери зручно використовувати сферичну систему координат [4]. Перехід від сферичної до тривимірної декартової системи координат і навпаки здійснюється за формулами:

$$x = r \cos \varphi \sin \theta, \quad y = r \sin \varphi, \quad z = r \cos \varphi \cos \theta \quad (2)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}, \quad \varphi = \arctg \frac{y}{\sqrt{x^2 + z^2}}, \quad \theta = \arctg \frac{x}{z} \quad (3)$$

де r — радіус очного яблука, θ — довгота, φ — широта точки прикріплення.

Дія м'язів у первинній позиції погляду може бути описана моментами цих векторів відносно осей тривимірної декартової системи координат, що знаходяться за формулами (4-6):

$$Mx_i = -Fy_i \cdot z_i + Fz_i \cdot y_i, \quad (4)$$

$$My_i = Fx_i \cdot z_i - Fz_i \cdot x_i, \quad (5)$$

$$Mz_i = -Fx_i \cdot y_i + Fy_i \cdot x_i, \quad (6)$$

де Mx'_i, My'_i, Mz'_i — моменти сил дії м'язу даній точці відносно відповідних осей, Fx'_i, Fy'_i, Fz'_i — проекції вектору сили, що діє в i -й точці, на осі OX, OY та OZ тривимірної декартової системи координат, а x_i, y_i, z_i — координати точки прикріплення м'яза в тій же системі [1, 5].

Для встановлення процентного співвідношення вертикальної, ротаторної та горизонтальної дії на поверхню очного яблука в кожній точці в зоні прикріплення окорухового м'яза нами використано формули:

$$pr_{Mx} = \frac{Mx}{S} \cdot 100\%; \quad (7)$$

$$pr_{My} = \frac{My}{S} \cdot 100\%; \quad (8)$$

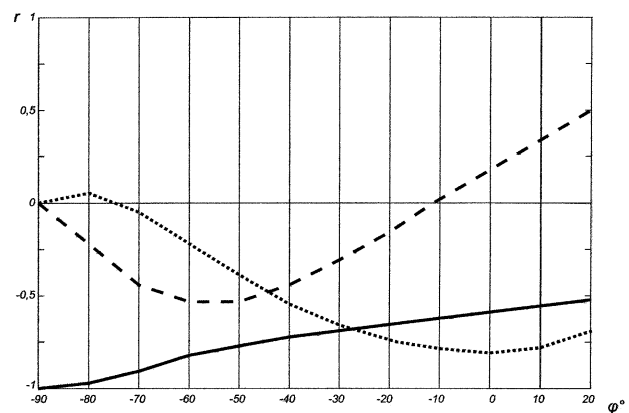
$$pr_{Mz} = \frac{Mz}{S} \cdot 100\%; \quad (9)$$

де Mx, My, Mz — проекції моментів сил на відповідні осі, S — сума цих проекцій: $S = Mx + My + Mz$.

Розрахунки і побудова графіків проводилися в програмі Mathcad 2000.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ. Використовуючи наведений вище математичний апарат, нами побудовано графіки дії порцій верхнього косоного м'яза на поверхню очного яблука з кроком 10° по широті φ (вісь абсцис). Вісь ординат відображає величину моментів сил у відносних вели-

чинах r (мал. 1). Безперервною лінією показано вертикальний компонент дії м'яза в даній точці, пунктирною лінією — горизонтальний компонент, точковою лінією — ротаторний компонент. З графіків видно, що в зоні заднього полюсу ока ($\varphi = 90^\circ$) верхній косий м'яз діє лише на опускання. Віддаляючись від заднього полюсу ока, ми бачимо поступове і майже рівномірне зменшення вертикального компонента, суттєвим стає горизонтальний компонент (з максимумом абдукційної дії в зоні $\varphi = -60^\circ - -50^\circ$), від широти близько -70° починає збільшуватись інциклодукційна дія, яка стає максимальною на екваторі ока ($\varphi = 0^\circ$), а в передній півкулі очного яблука починає дещо зменшуватись.

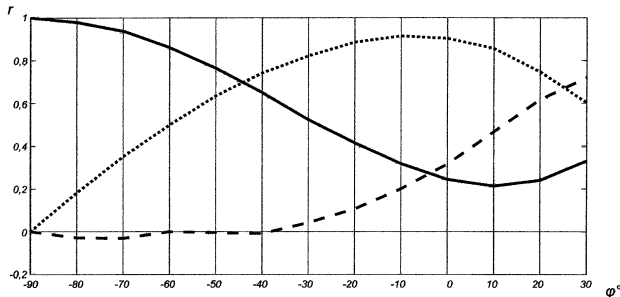


Мал. 1. Дія верхнього косоного м'яза на поверхню очного яблука в залежності від широти φ° прикріплення його порцій. Пояснення в тексті.

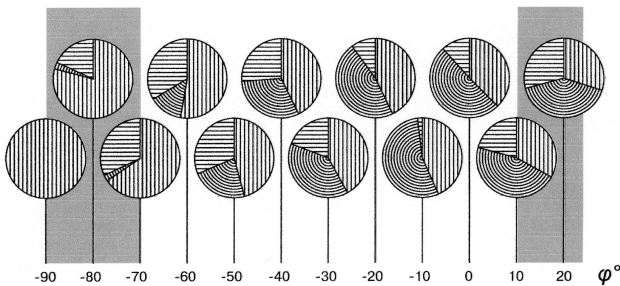
нами побудовано також графіки дії порцій нижнього косоного м'яза на поверхню очного яблука з кроком 10° по широті φ (мал. 2). Як і на попередньому малюнку, безперервною лінією показано вертикальний компонент дії м'яза, пунктирною — горизонтальний компонент, точковою лінією — ротаторний компонент. В зоні заднього полюсу ока ($\varphi = -90^\circ$) нижній косий м'яз діє лише на піднімання. Вертикальний компонент дії нижнього косоного м'яза з віддаленням від заднього полюсу зменшується і досягає мінімуму при $\varphi \approx 10^\circ$, після чого дещо збільшується. Горизонтальний компонент залишається близьким до 0 до широти $\varphi \approx -40^\circ$, далі, по мірі зміщення вперед, починає досить стрімко наростати абдукція. Ротаторна (ексциклодукційна) дія зростає від заднього полюсу ока і досягає максимуму на широті $\varphi \approx -10^\circ$, після чого починає зменшуватись.

Розглянемо тепер, як змінюється процентне співвідношення вертикального, горизонтального і ротаторного компонентів дії на поверхню очного яблука в різних точках прикріплення косих м'язів в залежності від широти φ . На мал. 3 і 4 зображено діаграми процентного співвідношення трьох

компонентів (незалежно від знака дії) з кроком 10° широти. Сірою заливкою показані зони, де в нормі косі м'язи ніколи не прикріплюються, але де вони або їх порції можуть опинитися в результаті оперативних втручань (довгота θ в цих випадках взята гіпотетична). Вертикальною штриховкою показана вертикальна дія, горизонтальною — горизонтальна, циркулярною — ротаторна.

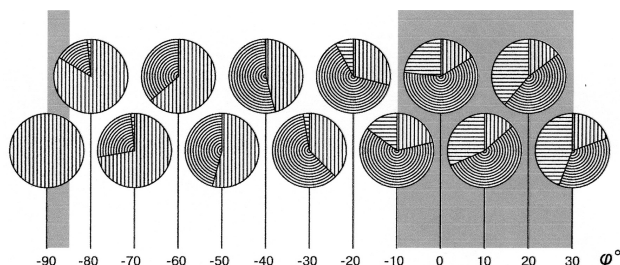


Мал. 2. Дія нижнього косого м'яза на поверхню очного яблука в залежності від широти φ° прикріплення його порцій. Пояснення в тексті.



Мал. 3. Співвідношення вертикального (вертикальна штриховка) горизонтального (горизонтальна штриховка) і ротаторного (циркулярна штриховка) компонентів дії верхнього косого м'яза на поверхню очного яблука в залежності від широти φ° прикріплення порцій.

Сірою заливкою показано зони, де в нормі верхній косий м'яз ніколи не прикріплюється, але де він або його порції можуть опинитися в результаті хірургічних втручань.



Мал. 4. Співвідношення вертикального (вертикальна штриховка), горизонтального (горизонтальна штриховка) і ротаторного (циркулярна штриховка) компонентів дії нижнього косого м'яза на поверхню очного яблука в залежності від широти φ° прикріплення порцій.

Сірою заливкою показано зони, де в нормі нижній косий м'яз ніколи не прикріплюється, але де він або його порції можуть опинитися в результаті хірургічних втручань.

На мал. 3 зображено діаграми процентного співвідношення трьох компонентів дії верхнього косого м'яза. Як видно з діаграм, в зоні заднього полюсу ока ($\varphi = -90^\circ$) м'яз діє виключно вертикально. По мірі зміщення вперед, до широти $\varphi \approx -60^\circ$ вертикальна дія м'яза переважає інші компоненти разом взяті. Горизонтальна дія наростає досить швидко і на цій же широті досягає максимуму. Від цієї ж широти починає помітно збільшуватись ротаторна дія, яка досягає максимуму при $\varphi \approx -10^\circ$, де вона переважає інші компоненти разом узяті. На цій же широті горизонтальна дія мінімальна. При подальшому зміщенні вперед горизонтальна дія знову наростає, практично зрівнюючись при $\varphi \approx 20^\circ$ з вертикальною дією, яка тут мінімальна. Ротаторна дія тут теж дещо зменшується, проте залишається більшою за кожний з інших компонентів окремо.

На мал. 4 зображено діаграми процентного співвідношення трьох компонентів дії нижнього косого м'яза. Як видно з діаграм, в зоні заднього полюсу ока ($\varphi = 90^\circ$) м'яз діє виключно вертикально. По мірі зміщення вперед, до широти $\varphi \approx -50^\circ$ вертикальна дія м'яза переважає інші компоненти разом взяті. Горизонтальна дія ледве помітна до $\varphi \approx -20^\circ$, після чого швидко наростає з максимумом при $\varphi \approx 30^\circ$, де переважає ротаторну і вертикальну дію окремо. Ротаторна дія швидко наростає по мірі зміщення від заднього полюсу і стає найбільшою в зоні від $\varphi \approx -20^\circ$ до екватора ока ($\varphi = 0^\circ$), де переважають обидва інші компоненти разом узяті. Попереду екватора, до $\varphi \approx 10^\circ$ ротаторна дія все ще переважає обидва інші компоненти, а до $\varphi \approx 20^\circ$ залишається "найсильнішим" компонентом з трьох, лише в зоні $\varphi \approx 30^\circ$ поступаючись горизонтальному компоненту.

Звертає увагу, що врівноважуються вертикальна і ротаторна складові якраз посередині ширини зон нормального прикріплення обох косих м'язів. Для верхнього косого це $\varphi \approx -30^\circ$, а для нижнього косого $\varphi \approx -45^\circ$ (див. мал. 3 і 4). Іншими словами, доведено, що задні половини нормальних косих м'язів в зонах прикріплення діють переважно як вертикаломотори, а передні половини — переважно як ротатори.

Хочемо наголосити, що описаним вище чином на поверхню очного яблука в точці прикріплення з відповідними координатами буде діяти кожна порція м'яза, кожне окреме м'язове волокно, розподіляючи свої "зусилля" на обертання ока навколо трьох стандартних осей декартової системи координат і намагаючись здійснити підняття-опускання, аддукцію-абдукцію і ексциклодукцію-інциклодукцію.

Таким чином, ми прийшли до математично доведеної моделі [1, 2, 3, 5], використовуючи яку, можна прогнозувати, наприклад, наслідки планових оперативних втручань та запобігати ускладненням у вигляді непередбачуваних послідовних девіацій.

Ще півстоліття тому було добре відомо, що "виправлення вертикального компоненту девіації може погіршити торзійний компонент" [14]. Не вдаючись навіть в складні математичні розрахунки, спираючись лише на наші діаграми (див. мал. 4), можемо отримати прогноз ефекту ряду оперативних втручань на косих м'язах.

Наприклад, популярна зараз антеропозиція (передня транспозиція) нижнього косого м'яза, вперше запропонована Gobin M. H. (1964) [7, 8, 10, 11], без сумніву, ослабить вертикальну дію м'яза. Так, у випадку помірної транспозиції вперед, в зону близьку до екватора ока, гарантовано збільшиться ексциклодукційна дія м'яза, що створить або збільшить ексциклотропію. Причому другий варіант, більш імовірний, ніж перший, — адже виконуються вказані операції, як правило, на гіперфункціонуючих нижніх косих, які дуже часто і без операції вже забезпечили пацієнту ексциклотропію. Тому про створення умов для формування у пацієнта бінокулярного зору, що, власне, і є метою хірургії — говорити не доводиться.

У випадку значної, в широтну зону прикльпленя прямих м'язів, транспозиції вперед, ексциклодукційна дія нижнього косого, збільшиться значно менше або не збільшиться зовсім. Щоб отримати останній ефект, треба, буквально "вліпити" пересаджуваний нижній косий в зону прикріплення нижньої половини зовнішнього прямого м'яза, що може дати ефект інклюзії. Оскільки при цьому ширину прикріплення нижнього косого доведеться також звести до мінімуму, тобто перетворити м'яз із досить широкої стрічки на трос, можна отримати ще й ефекти "просковзування" м'яза по сферичній поверхні ока, які клінічно будуть проявлятися стрибкоподібними змінами положення ока при зміні напрямку погляду. Якщо вдасться все ж таки обійти ці небезпеки (а це можливо лише у випадку відходу від транспозиції нижнього косого м'яза прямо вперед, тобто, переходу до рецесії нижнього косого з транспозицією вперед), то й тоді отримаємо значне підсилення горизонтальної дії м'яза, яке помітно змінить горизонтальну девіацію, або створить там, де її не було. Проте, останнє ускладнення, можна вважати найменшим злом, особливо коли хірургія косоокості починається з косих м'язів, а не завершується ними. Залишкову горизонтальну девіацію легко буде усунути другим етапом хірургічного втручання.

Все вище сказане зовсім не засвідчує непридатність антеропозиції нижнього косого м'яза, як одного з засобів хірургічного лікування косоокості

взагалі. Просто треба розуміти всі особливості і можливі наслідки конкретного втручання у конкретного пацієнта. В деяких пацієнтів з гіперфункцією нижнього косого м'яза розглянута операція може виявитись ідеальною для усунення саме їх девіації. У інших же, це ж втручання може виявитись зовсім непридатним. Тому офтальмохірург, який взявся оперувати на косих м'язах, а це, без сумніву, "вищий пілотаж" хірургії косоокості, повинен володіти повним арсеналом втручань на косих м'язах (звичайно, і на прямих теж), щоб мати можливість вибрати і виконати будь-яку операцію з цього арсеналу, саме ту, яка найбільше підходить конкретному хворому і ні в якому разі не штампувати стереотипні втручання.

Для того щоб полегшити офтальмохірургу задачу вибору втручання та його дозування у кожного конкретного хворого, автори і працюють над математичним моделюванням окоорухового апарату. Частина цієї роботи вже опублікована в ОЖ, інша частина жде своєї черги.

ВИСНОВОК

На підставі математичної моделі роботи окоорухової системи доведено, що задні порції (половини) обох косих м'язів діють переважно у вертикальній площині, на піднімання-опускання, а передні порції — у фронтальній площині, на ротацію ока, тобто на ексциклодукцію-інциклодукцію. Причому врівноважуються вертикальна і ротаторна складові якраз посередині ширини зон прикріплення обох косих м'язів. Для верхнього косого це $\varphi \approx -30^\circ$, а для нижнього косого $\varphi \approx -45^\circ$. Що стосується горизонтальної дії, то у верхнього косого вона помітна майже по всій широтній протяжності прикріплення сухожилля м'яза, у нижнього ж косого стає помітною лише в крайніх передніх порціях, особливо ж зростає при транспозиції м'яза вперед.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ємченко В. І., Кирилах Н. Г., Мосьпан В. О., Сидоренко В. М. // Офтальмол. журн. — 2007. — № 2. — С. 50-56.
2. Ємченко В. І., Кирилах Н. Г. // Офтальмол. журн. — 2007. — № 5. — С. 47-53.
3. Ємченко В. І., Кирилах Н. Г. // Офтальмол. журн. — 2008. — № 1. — С. 19-23.
4. Ємченко В. І., Мосьпан В. О., Литовченко С. О. та ін. // Офтальмол. журн. — 2005. — № 5. — С. 75-80.
5. Кирилах Н. Г. Математична модель дії окоорухових м'язів при обертаннях ока // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки. — 2008. — № 1. — С. 83-91.
6. Jampel R. S. // Am. J. Ophthalmol. — 1970. — Vol. 69, № 4. — P. 623-637.
7. Gobin M. H. // Ophthalmologica. — 1964. — Vol. 148. — P. 325-341.

8. Gobin M. H. // Ophthalmologica. — 1965. — Vol. 149. — P. 138-141.
9. Gobin M. H. // Ophthalmologica. — 1968. — Vol. 52, № 1. — P. 13-18.
10. Goldchimit M., Felberg S., Souza-Dias C. // J. AAPOS. — 2003. — Vol. 7, № 4. — P. 241-243.
11. Gonzalez C., Cinciripini G. // J. Pediatr. Ophthalmol. — 1995. — Vol. 32. — P. 107-113.
12. Halswanger T., Hoerantner R., Priglinger S. // Brit. J. Ophthalmol. — 2004. — Vol. 88. — P. 1403-1408.
13. Koene A. R. Eye Mechanics and their Implications for Eye Movement Control. Helmholtz Institut, 2002. — 123 p.
14. Owens W. C., Owens E. U. // Am. Orthop. J. — 1955. — Vol. 5. — P. 87-100.

Поступила 10.02.2009.
Рецензент д-р мед. наук В. А. Коломиец

ABOUT PARTICIPATION OF PORTIONS OF THE OBLIQUE MUSCLES IN HORIZONTAL, VERTICAL AND ROTARY OCULOMOTIONS

V. I. Yemchenko, N. G. Kirilakha
Kremenchuk, Ukraine

It is mathematically proven that posterior portions (halves) of both oblique muscles act mainly in the vertical plane on raising-lowering, and front portions — in the frontal plane — on the rotation of the eye, in other words, on excycloduction-incycloduction. Vertical and rotary constituents are counterbalanced in the middle width of the attachment areas of both oblique muscles. The horizontal action of the superior oblique muscle is noticeable almost at all latitudinal extent of attachment of the muscle tendon, at the inferior oblique muscle it is noticeable only in extreme front portions and especially grows in anteriorization.



УДК 617.71-006.2/.81-079.4

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСА КЛИНИЧЕСКИХ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ МЕЛАНОЦИТАРНЫХ И ЭПИТЕЛИАЛЬНЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ КОНЪЮНКТИВЫ СВОДОВ, ВЕК И СКЛЕРЫ

У. Р. Попова, аспирант, А. С. Буйко, проф.

ГУ "Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В. П. Филатова АМН Украины"

Вивчалися можливості використання діагностичних коефіцієнтів (ДК) клінічних та цитологічних ознак для проведення диференційної діагностики доброякісних і злоякісних меланоцитарних та епітеліальних пухлин кон'юнктиви.

Встановлено, що застосування ДК тільки клінічних показників обумовлює значну імовірність невпевненої діагностики.

Включення в діагностику меланоцитарних пухлин ДК цитологічних ознак дозволило значно знизити кількість випадків невпевненої діагностики та суттєво підвищити точність діагнозу (з 53,5% до 81,7%) доброякісних новоутворень (невусів) та ідентифікувати два випадки меланоми, які за клінічними показниками діагностувалися як невуз, що малигнізується. Це забезпечило 100% виявлення меланом.

При епітеліальних пухлинах також була значно знижена частота випадків невпевненої діагностики — з 13 (26,5%) до 5 (10,2%); $p = 0,13$.

Ключевые слова: новообразования конъюнктивы, дифференциальная диагностика, клинические и цитологические признаки.

Ключові слова: новоутворення кон'юнктиви, диференційна діагностика, клінічні та цитологічні ознаки.

Диагностика новообразований конъюнктивы век, сводов и склеры осуществляется, в основном, визуальной оценкой и биомикроскопией, которые весьма субъективны и не обеспечивают полноту информации о характере патологического процесса. Наиболее сложны для идентификации новообразования эпibuльбарной локализации, что связано с особенностями их роста [6]. Известно, что малигнизирующийся невуз, он же воспалившийся ювениль-

ный невуз конъюнктивы (ВЮНК), по клиническим признакам в большинстве случаев трудно дифференцировать от меланомы ранней стадии [4, 5, 10, 11]. Эпibuльбарные папилломы, как правило, плоскостные и маскируются под другие виды опухолей, тогда как папилломы остальной конъюнктивы чаще всего на ножке и их диагностика не сложна. Сущест-

© У. Р. Попова, А. С. Буйко, 2009.