

УДК 616-053.15-018:[535.361:535.51]

**О.В. Собко, І.Ю. Олійник, О.Г. Ушенко\***

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці,

\*Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича

## СТОКС ПОЛЯРИМЕТРИЧНЕ КАРТОГРАФУВАННЯ КРИСТАЛІЧНОЇ ПОБУДОВИ ФЕТАЛЬНОЇ ПАРАОРБІТАЛЬНОЇ КЛІТКОВИНИ

**Резюме.** Нами вперше застосовано метод стокс поляриметричного статистичного аналізу мікроскопічних зображень гістологічних зрізів параорбітальної клітковини плодів 5-10 місяців внутрішньоутробного розвитку та запропоновано аналітичний параметр оцінювання морфологічної побудови групи біологічних препаратів очної ямки плодів людини різних періодів розвитку – параметр ступеня кристалізації. Виявлено основні взаємозв'язки між змінами набору статистичних моментів 1-4 порядків, які характеризують координатні розподіли параметра ступеня кристалізації та особливостями часової просторової структуризації речовини тканин очної ямки плодів різного періоду розвитку. Для параорбітальної клітковини – найбільш чутливими виявився статистичний момент 3-го порядку з наступним діапазоном зміни власних значень.

**Ключові слова:** плід, параорбітальна клітковина, стокс поляриметр, параметр кристалізації, вектор Стокса, статистичний момент.

З метою створення цілісного уявлення про особливості анатомії людини в перинатальному періоді розвитку сьогодні, як ніколи, є перспективним морфологічне дослідження пренатального та постнатального морфогенезу [1]. В умовах сьогодення надзвичайно важливою є розробка основ перинатальної анатомії, як базису, для вирішення проблем зниження перинатальної захворюваності та смертності. Використання сучасних методів дослідження, інформаційних технологій у медицині суттєво розширює можливості традиційних підходів при вивченні анатомії живої людини; дозволяє отримувати нову інформацію про об'єкт дослідження [2]. Потреба в з'ясуванні морфологічних особливостей розвитку і становлення топографоанатомічних взаємозв'язків структур очної ямки ділянки у пренатальному онтогенезі людини є актуальною як з метою вивчення фізіологічної норми, так і диференційної діагностики патологічних процесів [3]. Нами проведено стокс поляриметричне картографування орієнтаційної побудови речовини гістологічних зрізів параорбітальної клітковини очної ямки плодів людини [4]. Вважаємо за потрібне вивчити стокс поляриметричне картографування її кристалічної побудови.

**Мета дослідження:** з'ясувати особливості кристалічної побудови гістологічних зрізів параорбітальної клітковини у 5-10-місячних плодів.

**Матеріал і методи.** Для описання топографічної структури класичних мікроскопічних зображень використовували поляризоване лазерне випромінювання з наступним обчисленням набору параметрів математичного вектора Стокса, який найбільш інформативно повно характеризує орієнта-

ційну та полікристалічну побудову біологічних препаратів [5-7]. Для об'єктивної характеристики координатних розподілів у площині біологічного препарату параметрів вектора Стокса обчислювалися за стандартною програмою MATLAB 6 статистичні моменти 1-4 порядків. Серед набору параметрів вектора Стокса обрали координатний розподіл значень четвертого параметра вектора Стокса, який у точках мікроскопічного зображення біологічного препарату несе найбільш повну інформацію про полікристалічну побудову його речовини. Значення  $S_4 = \pm 1$  відповідають мінімальному ступеню кристалізації. Значення  $S_4 = 0$  відповідають максимальному ступеню кристалізації. Надалі параметр  $S_4$  будемо називати "параметром кристалізації" морфологічної побудови біологічного препарату. Вимірювання координатних розподілів (двовимірні масиви значень у площині зразків) параметрів вектора Стокса виконувалося у розташуванні стандартного стокс поляриметра [4-11].

Обчислення параметра кристалізації  $S_4$  у межах кожного пікселя цифрової камери відбувалось за допомогою формули

$$S_4 = I_{\otimes} - I_{\oplus} \quad (1)$$

Тут  $I_{\otimes}$  -  $I_{\oplus}$  – інтенсивності перетвореного об'єктом випромінювання, що пройшло крізь право ( $\otimes$ ) і ліво ( $\oplus$ ) циркулярно поляризований фільтр [4].

У якості основного аналітичного інструменту для оцінювання розподілів орієнтаційного параметра  $S_2(m \times n)$  використовувалися статистичні моменти першого ( $Z_1$ ), другого ( $Z_2$ ), третього ( $Z_3$ ) і четвертого ( $Z_4$ ) порядків, які обчислювалися за такими алгоритмами [8]

© О.В. Собко, І.Ю. Олійник, О.Г. Ушенко, 2014

$$\begin{aligned}
 Z_1 &= \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N q_j; \\
 Z_2 &= \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (q^2)_j}; \\
 Z_3 &= \frac{1}{Z_2^3} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (q^3)_j; \\
 Z_4 &= \frac{1}{Z_2^4} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (q^4)_j,
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

де  $N$  – кількість елементів дискретизації, що визначається кількістю пікселів світлочутливої площадки CCD-камери.

Під статистичним моментом першого порядку будемо розуміти середнє значення випадкових величин координатних розподілів параметрів вектора Стокса.

Під дисперсією (статистичний момент другого порядку) випадкової величини будемо розуміти міру розкиду даної випадкової величини, тобто її відхилення від математичного очікування.

Асиметрією називають величину (статистичний момент третього порядку), яка характеризує відхилення від нормального розподілу випадкової величини.

Під ексцесом (статистичний момент четвертого порядку) будемо розуміти міру гостроти “піку” розподілу випадкової величини.

**Результати дослідження та їх обговорення.**

На рис. 1 – рис. 3 наведено серію координатних дво- (фрагменти (1)) та тривимірних (фрагменти (2)) розподілів і гістограм (фрагменти (3)) розподілів параметра кристалізації  $S_4$  гістологічного зрізу параорбітальної клітковини.

У таблиці наведені хронологічні залежності значень статистичних моментів 1-4 порядків, які характеризують координатні розподіли параметра кристалізації, визначеного для серії гістологічних зрізів параорбітальної клітковини плоду різного періоду розвитку. Аналіз одержаних результатів (рис. 1 – рис. 3) дослідження статистичної структури координатних розподілів параметра кристалізації  $S_4$  серії мікроскопічних зображень, які характеризують ступень кристалізації речовини гістологічних зрізів параорбітальної клітковини на різних етапах розвитку плода виявив: незначний діапазон зміни випадкових значень параметра кристалізації  $S_4$  у межах площини гістологічного зрізу параорбітальної клітковини —  $0,5 \lesssim S_4 \lesssim 0,5$  (рис. 1 – рис. 3, фрагменти (1),(2)). Даний факт вказує на переважну аморфну структуру даної речовини, так як значення  $S_4=0$  відповідають мінімальному рівню кристалізації максимальному ступеню впорядкованості. Значення  $S_4 \pm 1$  відповідають максимальному ступеню кристалізації структури. Разом з тим у нашій ситуації найбільш ймовірними в координатних розподілах параметра кристалізації  $S_4$  є величини  $S_4=0$ . Ін-

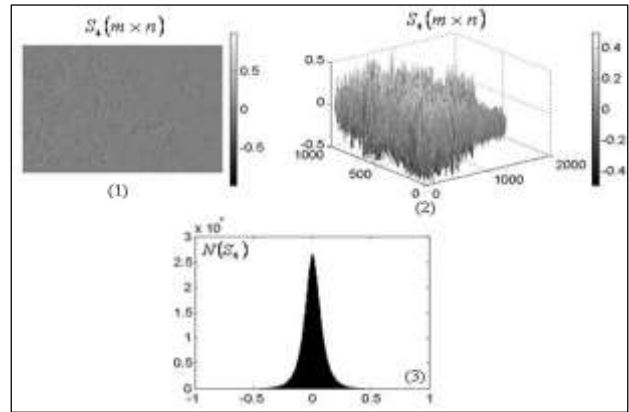


Рис. 1. Дво- (фрагменти (1)) та тривимірних (фрагменти (2)) розподілів і гістограм (фрагменти (3)) розподілів параметру кристалізації  $S_4$  гістологічного зрізу параорбітальної клітковини (5 місяців). Пояснення у тексті.

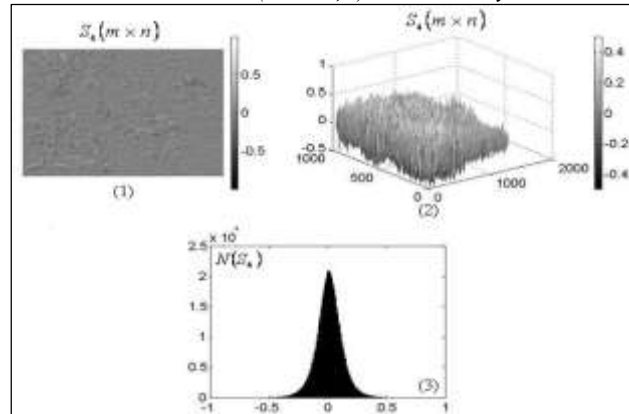


Рис. 2. Дво- (фрагменти (1)) та тривимірних (фрагменти (2)) розподілів і гістограм (фрагменти (3)) розподілів параметру кристалізації  $S_4$  гістологічного зрізу параорбітальної клітковини (7 місяців). Пояснення у тексті.

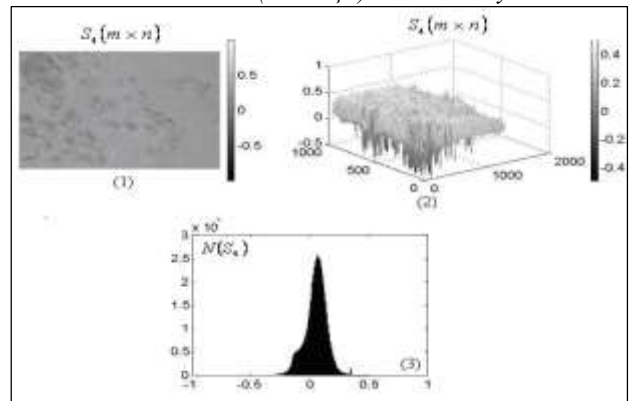


Рис. 3. Дво- (фрагменти (1)) та тривимірних (фрагменти (2)) розподілів і гістограм (фрагменти (3)) розподілів параметру кристалізації  $S_4$  гістологічного зрізу параорбітальної клітковини (10 місяців). Пояснення у тексті.

шими словами, для гістологічного зрізу параорбітальної клітковини найбільш характерним станом є відсутність кристалізації або наявність неупорядкованої аморфної структури; моніторинг часових (від 5 місяців до 10 місяців) змін даного об’єкту виявляється в формуванні більшого рівня кристалізації па-

Таблиця

Статистичні  $Z_{i=1;2;3;4}$  параметри, що характеризують координатні розподіли параметру кристалізації  $S_4(m \times n)$  гістологічних зрізів параорбітальної клітковини плодів різного періоду розвитку

Параметри	тк					
	5 місяців	6 місяців	7 місяців	8 місяців	9 місяців	10 місяців
$Z_1$	0,04	0,05	0,07	0,08	0,09	0,11
$Z_2$	0,11	0,14	0,16	0,18	0,21	0,24
$Z_3$	0,21	0,32	0,39	0,44	0,53	0,68
$Z_4$	0,43	0,53	0,57	0,64	0,71	0,79

Визначено кількісні відмінності  $\Delta Z(S_4)$  між значеннями статистичних моментів  $\bar{Z}_i(q)$  ступеня кристалізації для розглянутого часового (5 місяців – 10 місяців) інтервалу розвитку плода

$$\begin{cases} \Delta Z_1(S_4) = 1,75; \\ \Delta Z_2(S_4) = 2,18; \\ \Delta Z_3(S_4) = 3,24; \\ \Delta Z_4(S_4) = 1,84. \end{cases}$$

Найбільш чутливим до зміни ступеня кристалізації речовини параорбітальної клітковини плодів різного періоду розвитку виявився статистичний момент 3-го порядку, який характеризує асиметрію гістограми розподілу координатних розподілів параметра кристалізації  $S_4(m \times n)$  мікроскопічних зображень відповідних біологічних препаратів очної ямки.

**Висновок.** Вперше запропоновано аналітичний параметр оцінювання морфологічної побудови набору біологічних препаратів очної ямки плода різного періоду розвитку – параметр ступеня кристалізації  $S_4$ . Експериментально досліджено координатні розподіли параметру ступеня кристалізації  $S_4$  гістологічних зрізів параорбітальної клітковини плода різного періоду розвитку. Виявлено основні взаємозв'язки між змінами набору статистичних моментів 1-4 порядків, які характеризують координатні розподіли параметра ступеня кристалізації, та особливостями часової просторової структуризації речовини тканин очної ямки плодів різного періоду розвитку. Для параорбітальної клітковини – найбільш чутливими виявився статистичний момент 3-го порядку з наступним діапазоном зміни власних значень  $\Delta Z(S_4)=3,24$ .

**Перспективи подальших досліджень.** Доцільно дослідити гістологічні зрізи зорового нерва та окорухових м'язів плодів людини 5-10 місяців внутрішньоутробного розвитку для встановлення їх кристалічної побудови.

раорбітальної клітковини. Такий сценарій ілюструє зростання величини розкиду (дисперсії) значень параметра кристалізації  $S_4$ , які відмінні від нуля –  $S_4 \neq 0$  (рис. 1 – рис. 3, фрагменти (2)). Установлені зміни можуть бути пов'язані із процесом кристалізації за рахунок того, що весь об'єм даних шарів заповнений пухкою сполучною тканиною та острівцями скупчень жирових клітин, які групуються в основному навколо судин. З оптичної точки зору наявність кластерів сполучної тканини підвищує ступінь кристалізації параорбітальної клітковини ( $S_4$ ). На пізніх етапах розвитку концентрація та об'єм таких кристалічних кластерів зростає і жирова клітковина, яка заповнює внутрішньоконусний простір, набуває властивостей полікристалічної структури; кількісно процеси морфологічної еволюції полікристалічної побудови параорбітальної клітковини ілюструють гістограми розподілів випадкових значень параметра кристалізації  $S_4$ , які наведено на фрагментах (3) серії рис. 1 – рис. 3. Головні максимуми гістограм  $N(S_4)$  зразків гістологічних зрізів параорбітальної клітковини на ранніх етапах (5-7 місяців) локалізовані в “аморфно-морфологічній” ділянці  $S_4=0$ . На пізніх етапах (8-10 місяців) розвитку плода дещо зсуваються у ділянку “полікристалічної” побудови ( $S_4 = 0,1 \div 0,15$ ). У межах статистичного підходу даний факт підтверджує повільну кристалізацію аморфної побудови речовини параорбітальної клітковини. Додатково такий факт підтверджує наявність дисперсії  $Z_2$  (співвідношення (2)) значень параметра кристалізації  $S_4$ , яка вказує на присутність структурованої сполучної тканини. Виявлено, що на більш пізніх етапах розвитку плода величина дисперсії зростає ( $Z_2 \uparrow$ ), причиною цього є структуризація полікристалічних кластерів сполучної тканини. Внаслідок цього зростає асиметрія ( $Z_3 \uparrow$ ) та гострота піку ( $Z_4 \uparrow$ ) гістограм  $N(S_4)$  (рис. 1 – рис. 3, фрагменти (3)) розподілів випадкових значень параметра кристалізації  $S_4$  гістологічних зрізів параорбітальної клітковини; статистичним сценарієм часової зміни кристалічної побудови параорбітальної клітковини за аналізом проявів її структурованості є зростання значень усіх статистичних моментів  $Z_1 \uparrow$ ,  $Z_2 \uparrow$ ,  $Z_3 \uparrow$ ,  $Z_4 \uparrow$ , які характеризують серію гістограм  $N(S_4)$ .

Результати обчислення набору статистичних моментів 1-4 порядків, які характеризують розподіли випадкових значень параметра кристалізації  $S_4(m \times n)$  у площині гістологічних зрізів параорбітальної клітковини плодів різного періоду розвитку наведено у таблиці. Порівняльний аналіз одержаних даних про статистичну структуру координатних розподілів параметра кристалізації  $S_4$  параорбітальної клітковини плоду різного періоду розвитку (див. табл.) виявив діагностичну чутливість набору всіх статистичних моментів 1-4 порядків, які характеризують ступінь кристалізації речовини даного об'єкту.

## Список використаної літератури

1. Ахтемійчук Ю.Т. Актуальність наукових досліджень у галузі перинатальної анатомії / Ю. Т. Ахтемійчук // Неонатологія, хірургія та перинатальна мед. – 2012. – Т. II, № 1(3). – С. 15-21.
2. Собко О.В. Про актуальність лазерного поляриметричного дослідження біологічних тканин структур очноямкової ділянки у пренатальному онтогенезі людини / О.В. Собко // Хист.: Всеукраїнський медичний журнал молодих вчених. – Чернівці: Медуніверситет, 2013. – Вип. 15. – С. 210.
3. Олійник І.Ю. Обґрунтування лазерного поляриметричного дослідження біологічних тканин у пренатальному онтогенезі очноямкової ділянки людини / І.Ю. Олійник, О.В. Собко // Ключові питання наукових досліджень у сфері медицини XXI ст.: міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 1-2 березня 2013). – Одеса: ГО “Південна фундація медицини”, 2013. – С. 89-94.
4. Собко О.В. Стокс поляриметричне картографування орієнтаційної побудови гістологічних зрізів параорбітальної клітковини плодів людини / О.В. Собко, І.Ю. Олійник, О.Г. Ушенко // Вісн. проблем біолог. і мед. – 2014. – Вип. 3, Т. 3(112). – С. 229-234.
5. Ushenko A.G. Polarization introscopy of phase-inhomogeneous layers / A.G. Ushenko // Proc SPIE. – 2002. – Vol. 4900. – P. 1323-1326.
6. Ushenko Yu.A. Statistical structure of polarization-inhomogeneous images of biotissues with different morphological structures / Yu.A. Ushenko // Ukr. J. Phys. Opt. – 2005. – Vol. 6, № 2. – P. 63-70.
7. Ushenko A.G. Laser polarimetry of polarization-phase statistical moments of the objects field of optically anisotropic scattering layers / A.G. Ushenko // Opt. u snekmp. – 2001. – Т. 91, № 2. – С. 313-317.
8. Polarization visualization and selection of biotissue image two-layer scattering medium / O.V. Angelsky, A.G. Ushenko, D.N. Burcovets, Yu.A. Ushenko // J. Biomed. Opt. – 2005. – Vol. 10, № 1. – P. 014010.
9. Polarization speckle-reconstruction of biological tissues architectonics: Part 1. Polarization correlometry of birefringence architectonics: singular approach / A.O. Angelskaya, Yu.A. Ushenko, Ye. Ushenko [et al.] // Proc. SPIE. – 2007. – Vol. 6635. – P. 66350KP.
10. Polarization phase reconstruction of biological tissue architectonics: Part 3. Polarizing-correlative processing of images of statistical objects in the problem of visualization and topology reconstruction of their phase heterogeneity / A.O. Angelskaya, A.G. Ushenko, Yu.A. Ushenko [et al.] // Proc. SPIE. – 2007. – Vol. 6635. – P. 66350MP.
11. Polarization phase reconstruction of biological tissue architectonics: Part 4. Coherent introscopy of phase-inhomogeneous surface and layers / A.O. Angelskaya, A.G. Ushenko, Yu.A. Ushenko [et al.] // Proc. SPIE. – May 08, 2007. – Vol. 6635. – P. 66350N.

#### СТОКС ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ФЕТАЛЬНОЙ ПАРАОРБИТАЛЬНОЙ КЛЕТЧАТКИ

**Резюме.** Нами впервые использован метод стока поляриметрического статистического анализа микроскопических изображений гистологических срезов параорбитальной клетчатки плодов 5-10 месяцев внутриутробного развития. Предложен аналитический параметр оценивания морфологического построения группы биологических препаратов глазной ямки плодов человека разных периодов развития – параметр степени кристаллизации. Выявлены основные взаимосвязи между изменениями набора статистических моментов 1-4 порядков, которые характеризуют координатные распределения параметра степени кристаллизации и особенностями временной пространственной структуризации вещества тканей глазной ямки плодов разных сроков развития. Для параорбитальной клетчатки – наиболее чувствительным является статистический момент 3-го порядка со следующим диапазоном изменений собственных значений  $\Delta Z_3(S_4)=3,24$ .

**Ключевые слова:** плод, параорбитальная клетчатка, стокс поляриметр, параметр кристаллизации, вектор Стокса, статистический момент.

#### STOKES-POLARIMETRIC MAPPING OF THE SUBSTANTIAL CRYSTALLINE IN FETUSES' EYE PIT PARAORBITAL TISSUE

**Abstract.** We were the first to use the method of stokes polarimetric statistical analysis of histological sections microscopic images of 5-10 months aged fetuses' paraorbital tissue and to suggest the analytical parameter for assessing the morphological structure of the group of biologicals in the human fetuses' eye-pit at different stages of its growth – the parameter of crystallization degree. The main interrelations between the changes in statistical moments of the 1st -4th orders which characterize coordinate distribution of crystallization degree parameter and the features of timely spacious organization of the substance in the fetuses' eye-pit tissue substance at different stages of its growth have been established. The most sensitive for the paraorbital tissue proved to be the statistical moments of the 3-d order with following range of their values changes  $\Delta Z_3(S_4)=3,24$ .

**Key words:** fetus, paraorbital tissue, stokes polarimeter, crystallization parameter, Stokes vector, statistical moment.

Bukovinian State Medical University (Chernivtsi)

\*Yu. Fedkovych National University (Chernivtsi)

Надійшла 14.05.2014 р.

Рецензент – проф. Герасимюк І.С. (Тернопіль)