

ТЕОРЕТИЧНА МЕДИЦИНА

УДК 611.018.1. – 091.8]- 073.55: 621.375.826

**ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ КІСТКОВОЇ ТКАНИНИ У
ПОЛЯРИЗОВАНОМУ ЛАЗЕРНОМУ СВІТЛІ**

В.П. Пішак, О.Г. Ушенко, О.В. Пішак

*Буковинська державна медична академія
кафедра медичної біології, генетики і паразитології
(зав. – д-р мед. наук, проф. В.П. Пішак)
Чернівецький державний університет ім. Ю. Федьковича
кафедра кореляційної оптики
(зав. – д-р фіз.-мат. наук, проф. О.В. Ангельський)
м. Чернівці*

Робота спрямована на дослідження поляризаційної структури лазерного випромінювання, перетвореного кристалічною фазою кісткової тканини, що актуально у створенні оптичних методик діагностики її орієнтаційної та мінералізаційної структури, а також у моделюванні біокомпозитних матеріалів [3, 4, 5, 8, 10]. Здатність до перетворення поляризаційної структури лазерного випромінювання мають двопророменезаломлюючі комплекси – колагенові структури і кристали гідроксилапатиту [2]. Довгі (оп-

тичні) вісі кристалів орієнтовані вздовж повздовжньої вісі колагенових волокон. Вони розміщені між колагеновими волокнами та утворюють самостійну безперервну мінеральну фазу. Колагенові волокна приймаємо як просторово армуючі елементи у мінеральній матриці. Таким чином, оптичні властивості елементів мінеральної фази найбільш повно описуються за допомогою матричного оператора одновісних кристалів [1, 6]:

$$\{Q\} = \begin{pmatrix} 1; & 0; & 0; & 0; \\ 0; & (\sin^2 \frac{\delta}{2} \cdot \cos 2\rho + \cos^2 \frac{\delta}{2}); & (0,5 \sin 4\rho \sin^2 \frac{\delta}{2}); & (-\sin 2\rho \sin \delta); \\ 0; & (0,5 \sin 4\rho \sin^2 \frac{\delta}{2}); & (-\sin^2 \frac{\delta}{2} \cdot \cos 2\rho + \cos^2 \frac{\delta}{2}); & (\cos 2\rho \sin \delta); \\ 0; & (\sin 2\rho \sin \delta); & (-\cos 2\rho \sin \delta); & (2 \cos^2 \frac{\delta}{2} - 1); \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де ρ - орієнтація оптичної вісі, що задається напрямом укладення мінералізованих пучків колагену; δ - величина фазового зсуву, який вноситься між звичайною і незвичайною хвилею.

Показано [7, 11-14], що стан поляризації лазерного поля взаємопов'язаний з параметрами такого об'єкту співвідношеннями:

$$\alpha^* = 0,5 \arctg \frac{\cos 4\Theta \sin^2 0,5\delta + \cos^2 0,5\delta}{\sin 4\Theta \sin^2 0,5\delta}; \quad (2)$$

$$\beta^* = 0,5 \arcsin(\sin 2\Theta \sin \delta). \quad (3)$$

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Як об'єкти дослідження використовувались гістологічні зрізи кісткової тканини завтовшки 25 мкм, у площині яких виділялися такі групи біокристалічних утворів:

рабекули з переважно прямолінійним укладенням волокон у площині зрізу (група №1); трабекули з криволінійним укладенням колагенових пучків (група №2).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

На рис. 1 показана динаміка поляризаційної структури об'єктного поля зразків №1 та №2 (частини "а" і "в" відповідно) залежно від кута повороту σ відносно площини поляризації опромінюючого пучка. Аналіз кривих $\alpha(\sigma)$, $\beta(\sigma)$ виявляє кореляцію між екстремальними значеннями азимуту і еліптичності світлових коливань ($\alpha_{\max} = \beta_{\min}$ і, навпаки, $\alpha_{\min} = \beta_{\max}$) у ділянках зображення окремих біокристалічних структур.

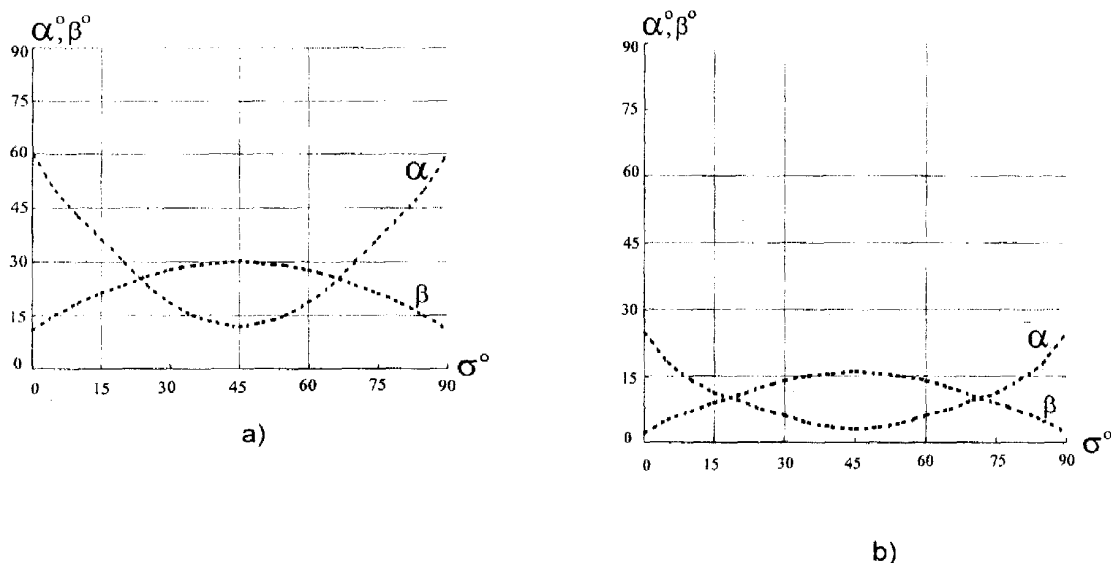


Рис. 1. Динаміка змін поляризаційної структури $(\alpha^0, \beta^0) = \Phi(\sigma)$ об'єктного поля біокристалів групи №1 (частина "а") і №2 (частина "в") відповідно

Отримані дані підтверджують припущення про структуру мінеральної фази кісткової тканини як сукупності кристалічних утворів з орієнтацією оптичної вісі у площині поперечного зрізу.

На рис. 2 показані якісні та кількісні результати дослідження тонкої поляризаційної структурності подібного лазерного поля. Серія лазерних поляризаційних мікрозображень поверхні трабекули (рис. 2.1) являє собою

топологічне розміщення ділянок інтенсивності $I(X, Y)$, величина яких визначається співвідношенням [14]:

$$I(X, Y) = I_0 [\cos^2(\alpha^* + \sigma^*) + \text{tg}^2 \beta^* \sin^2(\alpha^* + \sigma^*)], \quad (4)$$

де I_0 – інтенсивність падаючої хвилі, σ^* – кут повороту аналізатора. З (4) впливає можливість візуалізації орієнтації колагенових волокон у вигляді сукупності "поляризофот" – ліній однакової поляризації.

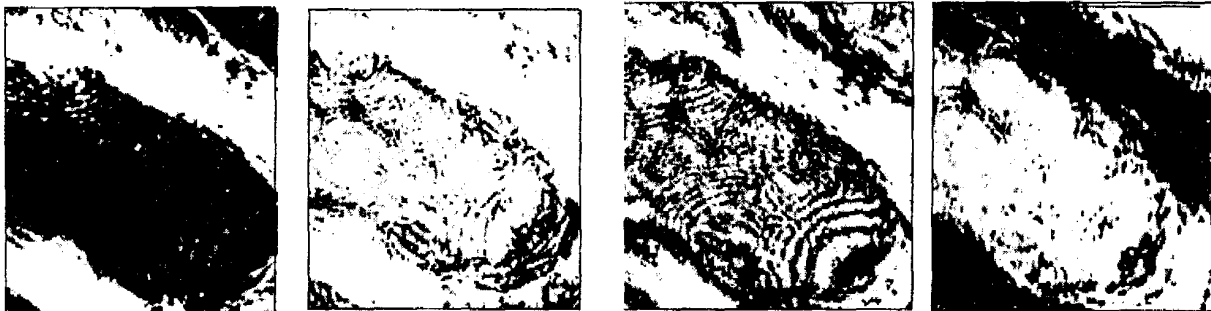


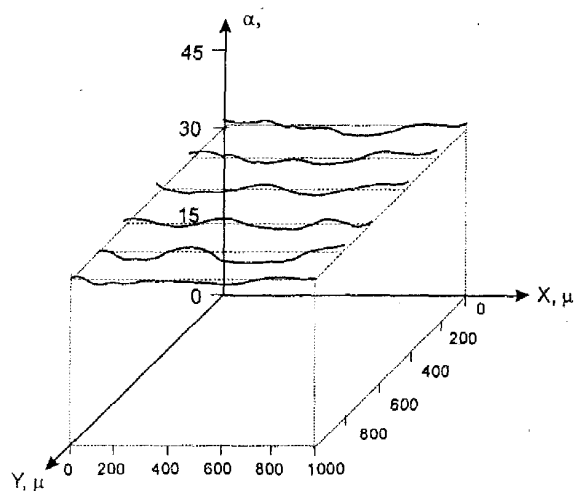
Рис. 2.1. Мікрофотографії об'єктного поля на поверхні біокристалу №1, отримані для різних орієнтацій вісі пропускання аналізатора

Кількісно векторну структурність характеризує серія залежностей $\alpha(X, Y)$; $\beta(X, Y)$, отримана шляхом відрядкового сканування когерентного зображення поверхні трабекули (рис. 2.2). З отриманих даних видно:

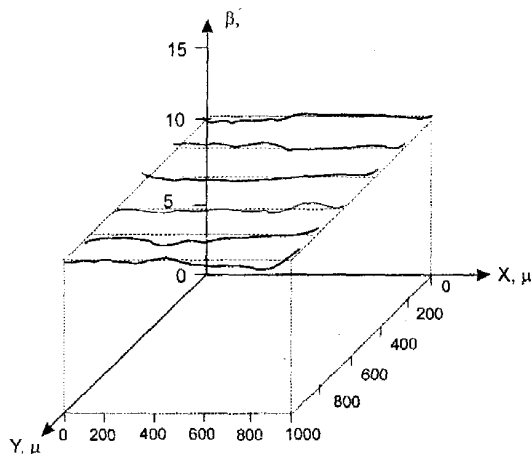
– стан поляризації об'єктного поля характеризується деяким постійним середнім рівнем, що визначається переважною орієнтацією колагенових пучків у площині зрізу та їх фазовозсуваючою здатністю [співвідношення (2), (3)];

– локальні значення α , β флюктують відносно середнього рівня, формуючи поляризаційну мікроструктурність об'єктного поля, координатний розподіл якого визначають результуючі значення азимута α і еліптичності β ;

– зіставлення експериментальних і теоретичних даних виявляє їх задовільну кореляцію – максимальні розбіжності не перевищують 10–15%.



a)



b)

Рис. 2.2. Топологічна поляризаційна структура граничного лазерного поля

Для трабекул групи №2 має місце безперервна зміна орієнтації параметру $\rho(X,Y)$. Поляризаційні параметри лазерного об'єктного поля виражені рівняннями [14]:

$$\tilde{\alpha} = \arctg \left(\frac{\int P_{\alpha} \cos \alpha d\alpha}{\int P_{\alpha} \sin \alpha d\alpha} \right); \quad (5)$$

$$\tilde{\beta} = \arctg \left(\frac{\int \int P_{\alpha} P_{\beta} (\cos \alpha + \tan \beta \sin \alpha) d\alpha d\beta}{\int \int P_{\alpha} P_{\beta} (\sin \alpha + \tan \beta \cos \alpha) d\alpha d\beta} \right); \quad (6)$$

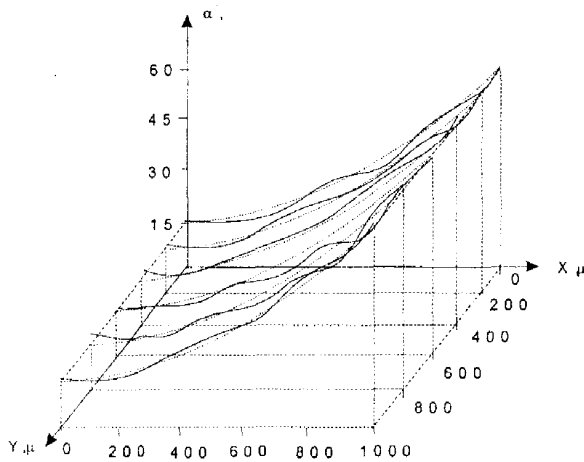
де P_{α}, P_{β} - густини ймовірностей випадкових значень $\tilde{\alpha}, \tilde{\beta}$.

На рис. 3.1 показана серія когерентних зображень поверхні зразка групи №2, що отримана через різноорієнтований аналізатор. Співставлення з даними, що наведені на рис. 2.1, виявляє суттєво більший динамічний діапазон змін орієнтації "поляризофот" колагенових пучків.

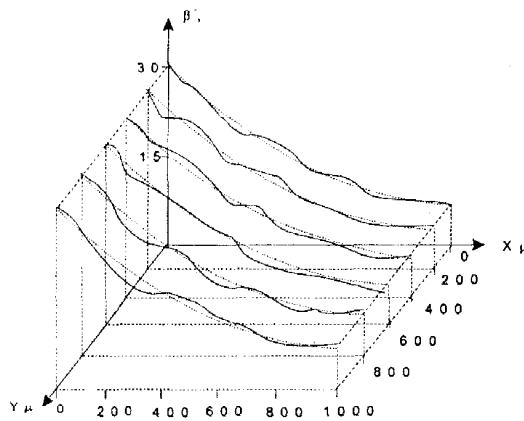


Рис. 3.1. Поляризаційна структурність об'єктного поля біокристалів групи №2

Кількісно поляризаційна структурність лазерного поля характеризується сімейством залежностей $\alpha(X,Y); \beta(X,Y)$, - рис. 3.2. Експериментальні вимірювання проводились для ділянки трабекули з еліптичним укладенням колагенових волокон ($\beta_0 \approx 35^\circ$). Пунктирними лініями показані теоретичні координатні залежності азимуту і еліптичності поляризації об'єктного поля. Отримані криві добре узгоджуються з результатами експериментальних вимірювань – максимальні розбіжності не перевищують 10 – 15%.



a)



b)

Рис. 3.2. Топологічна поляризаційна структура граничного лазерного поля

ПІДСУМОК

Оптичні властивості мінеральної фази кісткової тканини можуть бути представлені у вигляді сукупності біокристалічних одновісних структур з квазіупорядкованою просторовою орієнтацією. Лазерна поляриметрія структури об'єктних полів біокристалів відкриває перспективи створення безконтактних методів діагностики орієнтаційної та мінералізаційної структури кісткової тканини.

РЕФЕРАТ

Исследована поляризационная структура лазерного излучения, преобразованного кристаллической фазой костной ткани, что актуально в создании оптических методик диагностики ее ориентационной минерализационной структуры, а также в моделировании биокomпозитных материалов. Оптические свойства минеральной фазы костной ткани могут быть представлены в виде

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лазерна поляриметрія кісткової тканини /Пішак В.П., Ушенко О.Г., Пішак О.В. та ін. //Буковинський медичний вісн. - 1999. -Т. 3, №1. - С. 173-182.
2. Подрушняк Е.П., Лизун О.П. Микроструктуральная структура костной ткани // Вестн. АМН. - 1990.-№1. - С.37.
3. Приезжев А.В., Тучин В.В., Шубочкин Л.П. Лазерная диагностика в биологии и медицине. - М.: Наука, 1989. - 231 с.
4. Самосюк И.З., Лысенюк В.П., Лобода М.В. Лазеротерапия и лазеропунктура в клинической и курортной практике. - К.:Б.и., 1997.- 254 с.
5. Тучин В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. -Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1998. - 383с.
6. Шерклифф У. Поляризованный свет. Получение и использование. - М.: Мир, 1995.-254 с.
7. Investigated of polarized radiation diffraction on the systems of oriented biofractal fibers /Ushenko A.G., Burcovets D.M., Yennolenko S.B., et al. // Proc. SPIE.-1999.- Vol.3904.- P.553-556.
8. Jacques. Modelling light propagation in tissues / Eds A.M.Verga Scheggi, S.Martellucci, A.N.Chester and R.Pratesi, NATO ASI Series E //Applied Sciences.-1995.-Vol.325.-P.21-33.
9. Laser polarimetry of the orientational structure of bone tissue osteons /Ushenko A.G., Burcovets D.M., Yermolenko S.B. et al. // Proc. SPIE.- 1999. - Vol.-3904.- P.557-561.
10. Letokhov V.S. Some future trends of laser medicine. Biomedical optical instrumentation and laser-assisted biotechnology / Eds A.M.Verga Scheggi, S.Martellucci, A.N.Chester and R.Pratesi, NATO ASI Series E //Applied Sciences.-1995.-Vol.325.-P.3-21.
11. On polarized microstructure of laser radiation scattered by optically active biotissues /Ushenko A.G., Burcovets D.M., Yermolenko S.B., et al. // Proc. SPIE.-1999.- Vol.3904.- P.542-548.
12. Phase-polarized visualization and processing coherent images of biotissue fractal structures /Ushenko A.G., Burcovets D.M., Yermolenko S.B., et al. //Proc. SPIE.- 1999.- Vol. 3904.- P. 534-541.
13. Study of polarization structure of biospeckle fields in crosslinked tissues of human organism. Crystal optic properties of the transverse and longitudinal sections of bone /Pishak V.P., Ushenko A.G., Grigorishin P.M. et al. // Proc. SPIE.- 1997. -Vol.3317.- P. 425-433.
14. Stockes polarimetry of biotissues /Ushenko A.G., Burcovets D.M., Yermolenko S.B., et al. // Proc. SPIE.-1999. - Vol.3904. -P. 527- 533.

совокупности биокристаллических одноосных структур с квазиупорядоченной пространственной ориентацией. Лазерная поляриметрия тонкой поляризационной структурности объектных полей биокристаллов открывает перспективы создания бесконтактных методов диагностики ориентационной и минерализационной структуры костной ткани.

SUMMARY

The research aims at the investigation of a polarized structure of the laser-emitted radiation transformed by the crystalline phase of the osseous tissue, the latter being topical in creating of optical diagnostic techniques of its orientation mineralized structure as well as in modeling of biocomposite materials. The optical properties of the mineral phase of the osseous tissue may be represented in the form of a set of biocrystalline uniaxial structures with quasi-ordered spatial orientation. Laser polarimetry of a fine polarized structure of biocrystal object fields opens prospects for creating of contact-free diagnostic methods of the orientation mineralized structure of the osseous tissue.