

УДК 616.718.7/.9-008.811.9-089.23:616.379-008.64

## Диференційна діагностика реактивного та септичного артритів за допомогою методу фазометрії синовіальної рідини людини

Д. І. Кваснюк<sup>1</sup>, С. В. Васюк<sup>1</sup>, О. Г. Ушенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Буковинський державний медичний університет, Чернівці, Україна

<sup>2</sup>Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича, Україна

*The method of synovial fluid phasometry for differential diagnosis of pathological states in the knee joint was assessed and an algorithm of the research was developed. The study involved 30 patients; of them, pyogenic arthritis of the knee joint was diagnosed in 10 cases, and synovitis with deforming arthrosis of degrees II–III in 20 ones. Results of the research indicate that there are reliable differences between values of statistic moments of orders 1–4 in two groups, thereby making it possible to objectively differentiate the above knee joint pathology very quickly.*

*Оценен способ фазометрии синовиальной жидкости для дифференциальной диагностики патологических состояний коленного сустава и разработан алгоритм исследования. В работу включены 30 пациентов, из которых у 10 диагностирован пиогенный артрит коленного сустава, у 20 — синовит при деформирующей артрозе II–III ст. Результаты исследования указывают на достоверные различия между величинами статистических моментов 1–4 порядков двух групп, что позволяет объективно дифференцировать указанную патологию коленного сустава в срочном порядке.*

**Ключові слова:** лазерна фазометрія, синовіальна рідина, артрит, діагностика

### Вступ

Арсенал діагностичних засобів травм і захворювань суглобів містить низку фізичних методів: рентгенографію, комп'ютерну томографію, магнітно-резонансну томографію, ультразвукове дослідження тощо. Проте в процесі диференційної діагностики патології суглобів ці методи не дозволяють визначити структурні зміни синовіальної рідини на рівні макро- і мікромолекулярних структур [14]. Пошуки вирішення проблеми діагностики патологічних змін синовіальної рідини призвели до спроб застосування лазерної поляриметрії, яка дозволяє досліджувати біологічні тканини на субклітинному рівні, що дає можливість отримати нові параметри оцінювання їх структури.

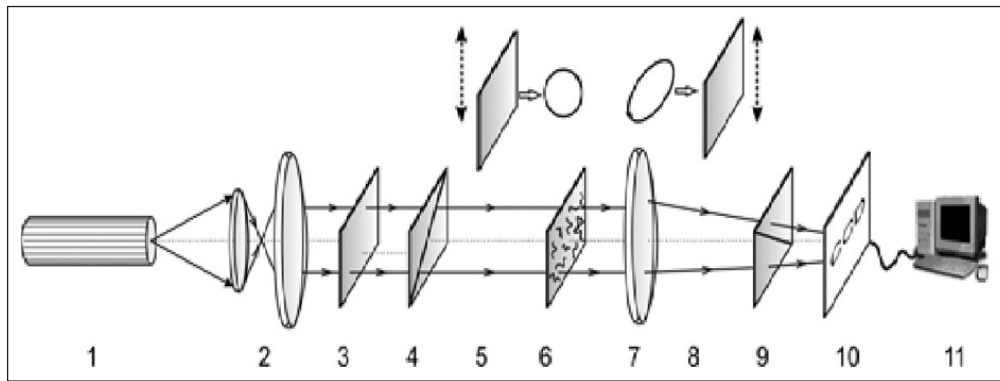
Фізичні основи лазерної поляриметрії полягають у тому, що лазерне випромінювання, як і звичайне світло, може поглинатися та розсіюватися біологічними тканинами. Кожний з цих процесів сприяє наповненню поля інформацією про мікро- і макроструктуру досліджуваного середовища та його складових. Лазерне випромінювання як інформаційний

зонд є багатовимірним носієм інформації. Найбільш поширеними та апробованими на сьогодні є спектрофотополяриметричні методи діагностики біологічних об'єктів, які базуються на аналізі просторових і часових змін інтенсивності поля, розсіяного випромінювання оптично-неоднорідними середовищами [8]. Таким чином, під час лазерного зондування отримують кілька груп параметрів: поляризаційних, спектральних та фазових. Останні характеризують зміну швидкості розповсюдження лазерного випромінювання в біологічній речовині.

*Мета роботи:* визначити фазометричні показники синовіальної рідини у пацієнтів з гнійним артритом колінного суглоба та синовітом за умов деформівного артрозу II–III ст. та виявити диференційні оптико-лазерні критерії.

### Матеріал та методи

Ми обстежили 30 хворих (10 жінок і 20 чоловіків) віком від 16 до 82 років. На підставі клінічних, рентгенологічних та лабораторних методів у 20



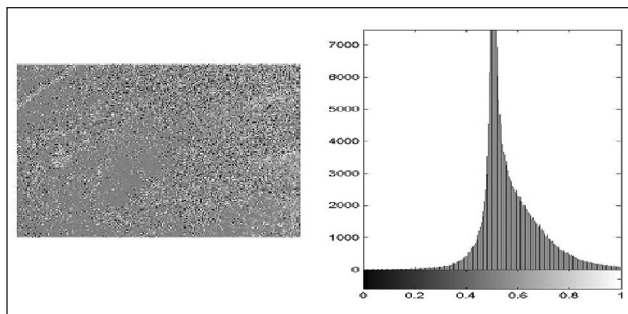
**Рис. 1.** Оптична схема поляриметра-фазометра, де 1 — He-Ne лазер; 2 — коліматор; 3 — стаціонарна чвертьхвильова платівки; 4, 9 — поляризатор та аналізатор відповідно; 6 — об'єкт дослідження; 7 — мікрооб'єктив; 10 — CCD камера; 11 — персональний комп'ютер

хворих діагностовано синовіт колінного суглоба за умов деформівного артрозу II–III ст. (група 1), у 10 — піогенний артрит колінного суглоба (група 2). Синовіальну рідину набирали шляхом пункції верхнього завороту колінного суглоба в асептичних умовах, після чого готували мазок та підсушували при кімнатній температурі.

Лазерно-оптичні дослідження проводили шляхом освітлення паралельним ( $\varnothing = 10^4$  мкм) пучком He-Ne лазером (довжина хвилі 0,6328 мкм, потужність 5 мВт) на кафедрі оптики інженерно-технічного факультету Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича. У роботі ми використали фазометричний експериментально-інформаційний алгоритм досліджень, який складається з таких блоків:

- забір синовіальної рідини;
- розміщення мазка синовіальної рідини в експериментальному розташуванні фазометра;
- послідовне визначення координатних розподілів параметрів фаз лазерного зображення мазка синовіальної рідини з подальшим обчисленням статистичних моментів 1–4-го порядків.

Тривалість дослідження та аналізу результатів зазначеним методом складає 30–45 хв.



**Рис. 2.** Координатна (ліва частина) та ймовірнісна (права частина) структура фазової мапи полікристалічної складової шару синовіальної рідини пацієнтів групи 1

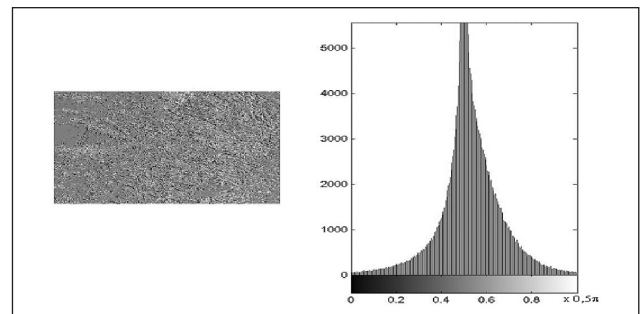
У роботах [12, 15] продемонстрована можливість прямого експериментального вимірювання координатних розподілів фазових зсувів у точках лазерних зображень гістологічних зрізів оптико-анізотропних біологічних тканин. Схематичну реалізацію такого методу ілюструє рис. 1, детальний опис параметрів якого наведений у роботах [8, 10].

Площини пропускання ( $\Theta$ ) і напрямки ( $\mathbf{N}$ ) оптичних осей основних поляризаційних елементів — поляризаторів (4, 9) і фазових пластинок « $\lambda/4$ » (3, 8) — орієнтують під кутами  $\mathbf{N} = 45^\circ + \Theta$  і  $\mathbf{N} = 135^\circ + \Theta$ . За таких умов інтенсивність кожної точки зображення визначається наступним співвідношенням:

$$I = \cos^2 \varphi = \cos^2(\delta + \theta). \quad (1)$$

Таким чином, формуючи систему фазової фільтрації, можна одержати координатний розподіл фазових зсувів полікристалічної складової синовіальної рідини або фазову мапу  $\varphi$  ( $m \times n$ ):

$$\varphi = \begin{pmatrix} \varphi_1 & \dots & \varphi_n \\ & \varphi_k & \\ \varphi_{m1} & \dots & \varphi_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \arccos \sqrt{I_1} & \dots & \arccos \sqrt{I_n} \\ & \arccos \sqrt{I_k} & \\ \arccos \sqrt{I_{m1}} & \dots & \arccos \sqrt{I_m} \end{pmatrix}. \quad (2)$$



**Рис. 3.** Гістограма випадкових значень у координатному розподілі фазових зсувів лазерного зображення синовіальної рідини пацієнтів групи 2

## Результати та їх обговорення

Виміряна фазова мапа шару синовіальної рідини колінного суглоба пацієнтів з реактивним артритом та гістограма розподілу фазових зсувів у площині лазерного зображення наведена на рис. 2, з якого (права частина) видно, що значення фази  $\varphi$  у площині лазерного зображення змінюється не тільки у максимально широкому діапазоні ( $0 \leq \varphi \leq 0,5\pi$ ), але й має великі значення імовірності в околі  $\varphi_{\max} = 0,25\pi$ . Таку структуру ілюструє достатньо симетрична гістограма випадкових значень  $\varphi$  відносно головного екстремуму  $\varphi_{\max} = 0,25\pi$ , ймовірність якого на 2–3 порядки вища за інші  $0 \leq \varphi \leq 0,5\pi$ .

Координатну та статистичну структуру фазової мапи лазерного зображення зразка синовіальної рідини колінного суглоба з септичним артритом ілюструють залежності, які наведені на рис. 3. Аналіз одержаних результатів вказує на зростання оптичної анізотропії речовини синовіальної рідини пацієнтів групи 2. Відповідна гістограма (рис. 3, права частина) розподілу випадкових значень фазових зсувів у межах їх координатного розподілу (рис. 3, ліва частина) у порівнянні з попередніми даними характеризується більшими локальними екстремумами у всьому діапазоні  $\varphi = 0 \div 0,5\pi$ .

У табл. 1 представлені значення і діапазони зміни величини статистичних моментів  $W_{l=1;2;3;4}(\varphi)$ , які характеризують координатні розподіли фазових зсувів, сформованих оптико-анізотропними полікристалічними мережами, у лазерних зображеннях серії зразків синовіальної рідини колінного суглоба пацієнтів з реактивним та септичним артритом зазначеного суглоба.

Встановлено такі відмінності між величинами статистичних моментів 1–4-го порядків  $W_{l=1;2;3;4}(\varphi)$ , які характеризують координатні розподіли  $\varphi$  ( $m \times n$ ) шарів синовіальної рідини двох груп:

- статистичний момент 1-го порядку  $W_{l=1}(\varphi)$  — 1,9–2,1 рази;
- статистичний момент 2-го порядку  $W_{l=2}(\varphi)$  — 1,6–2 рази;
- статистичний момент 3-го порядку  $W_{l=3}(\varphi)$  — 2,2–5 разів;
- статистичний момент 4-го порядку  $W_{l=4}(\varphi)$  — 2,1–3,7 рази.

**Таблиця 1.** Статистичні моменти  $W_{l=1;2;3;4}(\varphi)$  координатних розподілів фаз лазерних зображень полікристалічних мереж синовіальної рідини

$W_{l=1;2;3;4}(\varphi)$	Група 1 (n = 20)	Група 2 (n = 10)
$W_{l=1}(\varphi)$	$0,72 \pm 0,012$	$0,87 \pm 0,13$
$W_{l=2}(\varphi)$	$0,095 \pm 0,013$	$0,145 \pm 0,023$
$W_{l=3}(\varphi)$	$0,84 \pm 0,11$	$2,09 \pm 0,34$
$W_{l=4}(\varphi)$	$4,12 \pm 0,68$	$2,23 \pm 0,36$

**Таблиця 2.** Чутливість ( $Se$ ) методу фазометрії лазерних зображень (%)

$W_{l=1;2;3;4}(\varphi)$	$W_{l=1}(\varphi)$	$W_{l=2}(\varphi)$	$W_{l=3}(\varphi)$	$W_{l=4}(\varphi)$
Група 1	58	64	77	73
Група 2	59	66	69	75

**Таблиця 3.** Специфічність ( $Sb$ ) методу фазометрії лазерних зображень (%)

$W_{l=1;2;3;4}(\varphi)$	$W_{l=1}(\varphi)$	$W_{l=2}(\varphi)$	$W_{l=3}(\varphi)$	$W_{l=4}(\varphi)$
Група 1	54	59	62	64
Група 2	58	64	68	69

Експериментально виявлені суттєві відмінності між всіма статистичними параметрами фазових мап забезпечили високий рівень чутливості (табл. 2) і специфічності (табл. 3) методу фазометрії у діагностиці та диференціації патологічних станів колінного суглоба людини.

З аналізу одержаних результатів видно, що використання нового інформаційного параметру — фазового зсуву між ортогональними складовими амплітуди — шляхом статистичного аналізу фазових мап  $\varphi$  ( $m \times n$ ) забезпечує досягнення високого рівня  $Se \sim 65\text{--}80\%$  і  $Sb \sim 65\text{--}70\%$  (співрозмірного з методами спектральної Стокс-поляриметрії третього і четвертого параметрів).

## Висновки

Метод фазометрії мазків синовіальної рідини в диференційній діагностиці гострої патології колінного суглоба показав високу чутливість  $Se \sim 65\text{--}80\%$  та специфічність  $Sb \sim 65\text{--}70\%$ .

Отримані результати вказують, що відмінності між величинами статистичних моментів 1–4-го порядків  $W_{l=1;2;3;4}(\varphi)$ , які характеризують координатні розподіли фазових зсувів шарів синовіальної рідини двох груп, складають: статистичний момент 1-го порядку  $W_{l=1}(\varphi)$  — 1,9–2,1 рази; 2-го порядку  $W_{l=2}(\varphi)$  — 1,6–2 рази; 3-го порядку  $W_{l=3}(\varphi)$  — 2,2–5 разів; 4-го порядку  $W_{l=4}(\varphi)$  — 2,1–3,7 рази. Це дозволяє об'єктивно диференціювати зазначену патологію колінного суглоба в терміновому порядку.

Слід відмітити, що методи спектральної поляриметрії варіацій азимута й еліптичності поляризації оптичного пучка, пропущеного шарами синовіальної рідини, мають дещо вищі показники чутливості ( $Se$ ) і специфічності ( $Sb$ ). Проте вони значно складніші у технічній реалізації та поступаються в можливості термінового виконання.

## Список літератури

1. Гнилорыбов А. М. Нейропептиды и нейрогенные механизмы артрита / А. М. Гнилорыбов // Украинский ревматологический журнал. — 2004. — Т. 16, № 2. — С. 8–15.

2. Гнилорыбов А. М. Роль олигомерного матричного протеина хряща в диагностике поражения суставов / А. М. Гнилорыбов, Т. П. Хрещака // Украинский ревматологический журнал. — 2004, Т. 17, № 3. — С. 8–11.
3. Денисенко В. Г. Измерение морфологических форм поляризаационных сингулярностей и их статистических весов в оптических векторных полях / В. Г. Денисенко, Р. И. Егоров, М. С. Соскин // Письма в ЖЭТФ. — 2004. — Т. 80, № 1. — С. 21–24.
4. Егоров Р. И. Топологический отклик неоднородных эллиптически поляризованных световых полей на управляемые анизотропные возмущения / Р. И. Егоров, В. Г. Денисенко, М. С. Соскин // Письма в ЖЭТФ. — 2005. — Т. 81. — С. 464–467.
5. Залесский В. Н. Потенциальная роль микрочастиц клеток крови и синовиальной жидкости в патогенезе ревматических заболеваний / В. Н. Залесский, О. Б. Дынник // Украинский ревматологический журнал. — 2006. — Т. 26, № 4. — С. 32–39.
6. Захарова М. М. Исследование синовиальной жидкости // Ревматические болезни / М. М. Захарова. — М.: Медицина, 1997. — С. 77–80.
7. Клубова Г. Ф. Ревматоїдний артрит: стан системного та локального імунітету на фоні застосування глюкокортико-стероїдів і базисної терапії / Г. Ф. Клубова // Украинский ревматологический журнал. — 2003. — Т. 11, № 1. — С. 45–50.
8. Лазерна поляриметрична діагностика в біології та медицині / [В. П. Пішак, О. Г. Ушенко, О. В. Ангельський, С. Б. Єрмоленко та ін.]; за ред. В. П. Пішака та О. Г. Ушенка. — Чернівці: Медакадемія, 2000. — 305 с.
9. Лисенко І. В. Діагностична цінність оксипроліну й арахідонової кислоти як біологічних маркерів деградації хрящової тканини / І. В. Лисенко // Украинский ревматологический журнал. — 2006. — Т. 24, № 2. — С. 40–44.
10. Лазерна поляризаційна морфологія біологічних тканин: статистичний і фрактальний підходи / О. Г. Ушенко, В. П. Пішак, О. В. Ангельський, Ю. О. Ушенко. — Чернівці: Колір-Друк, 2007. — 314 с.
11. Порівняльний аналіз крові та синовіальної рідини при різних стадіях остеоартрозу / М. О. Корж, Ф. С. Леонтєва, О. П. Вікторов, І. В. Лисенко // Украинский ревматологический журнал. — 2005. — Т. 21, № 3. — С. 45–47.
12. Синяченко О. В. Исследование суставов / О. В. Синяченко, Г. А. Ігнатенко. — Донецьк: Донеччина, 1998. — 216 с.
13. Тучин В. В. Исследование биотканей методами светорассеяния / В. В. Тучин // Успехи физических наук. — 1997. — Т. 167. — С. 517–539.
14. Ushenko A. G. Polarization structure of scattering laser fields / A. G. Ushenko // Optical Engineering. — 1995. — Vol. 34, № 4. — P. 1088–1093.
15. Wolf E. Unified theory of coherence and polarization of random electromagnetic beams / E. Wolf // Phys. Lett. A. — 2003. — Vol. 312. — P. 263–267.

Стаття надійшла до редакції 10.05.2012