

компенсаторных механизмов движений верхней конечности в условиях контрактуры плечевого, локтевого и лучезапястного суставов у больных ревматоидным артритом позволит по-новому оценить функциональный потенциал конечности, создать программу комплексного ортопедического лечения с выбором оптимальной тактики хирургической коррекции имеющихся нарушений у данной категории больных.

## Литература

1. Бегун П.И., Афонин П.Н. Моделирование в биомеханике / П.И. Бегун, П.Н. Афонин : [учеб. пособие]. — М. : Высш. шк. — 2004. — 390 с.
2. Нейматов Э.М. Настольная книга остеопата. Основы биомеханики движения тела / Э.М. Нейматов, С.Л. Сабинин. — М.: ООО "Мед. информ. агентство", 2012. — 480 с.
3. Jiping H. A statistical smoothness measure to eliminate outliers in motion trajectory tracking / H. Jiping, Chun-Xiang Tian // Human Movement Science. — Vol. 17, Iss. 2. — 1998. — P. 189–200.
4. Kwon D. Y. Combining Body Sensors and Visual Sensors for Motion Training. ACE'05 : Proceedings of the 2005 / D. Y. Kwon, M. Gross // ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology. — NY, USA, 2005. — P. 94–101.
5. Sutbantira Vanitha M.E. MARG Sensors Based RT Tracking Of Human Limb Segment Orientation / Vanitha M.E. Sutbantira, V. Palanisamy // GESTS Int'l Trans. Computer Science and Engr. — 2005. — Vol.18, № 1. — P. 143–151.
6. Upper extremity kinematics during the functional activities of a hair-blow-drying task. Three-dimensional studies of professional hairdressers / Chen R., Fang L. H-L., Kuo Li-C. [et al.] // Poster of International Association of Societies of Design Research. — IASDR, 2009.

УДК 616.72-002-079

## ДИФЕРЕНЦІЙНА СПЕКТРАЛЬНА СТОКС-ПОЛЯРИМЕТРИЧНА ДІАГНОСТИКА РЕАКТИВНОГО СИНОВІТУ ПРИ ДЕФОРМІВНОМУ ГОНАРТРОЗІ ТА ПІОГЕННОГО АРТРИТУ КОЛІННОГО СУГЛОБА

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, м. Чернівці, Україна

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

### DIFFERENTIAL SPECTRAL STOKES POLARIMETRY IMAGING OF REACTIVE SYNOVITIS IN DEFORMING GONARTHROSIS AND PIOGENIC ARTHRITIS OF THE KNEE

D. I. Kvasniuk, S. B. Vasiuk, O. H. Usenko

*Spectral stokes polarimetry imaging of synovial fluid for differential diagnosis of pathological conditions of the knee joint was evaluated and investigation algorithm was elaborated. The 30 patients were involved in the study: 10 patients with pyogenic arthritis of the knee and 20 ones with reactive synovitis in deforming arthrosis of the II–III stage. The study findings show reliable differences between the values of statistical moments of 1–4 moments of two groups, allowing objectively differentiate the above mentioned pathology of the knee in an express manner.*

*Key words: spectral polarimetry imaging, synovial fluid, arthritis.*

### ДИФФЕРЕНЦІАЛЬНА СПЕКТРАЛЬНА СТОКС-ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСЬКА ДІАГНОСТИКА РЕАКТИВНОГО СИНОВІТА ПРИ ДЕФОРМУЮЩЕМ ГОНАРТРОЗІ І ПІОГЕННІЙ АРТРИТІ КОЛІННОГО СУСТАВА

Д. І. Кваснюк, С. В. Васюк, О. Г. Ушенко

*Оценен способ спектральной Стокс-поляриметрии синовиальной жидкости для дифференциальной диагностики патологических состояний коленного сустава и разработан алгоритм исследования. В исследовании приняли участие 30 пациентов, из которых: с реактивным синовитом при деформирующем артрозе II–III стадии — 20 и с пиогенным артритом коленного сустава — 10. Результаты исследования указывают на достоверные различия двух групп между величинами статистических моментов 1–4 порядков, что позволяет объективно дифференцировать вышеуказанную патологию коленного сустава в экспрессном порядке.*

*Ключевые слова: спектральная поляриметрическая диагностика, синовиальная жидкость, артрит.*

## Вступ

Діагностика піогенного артриту включає ряд фізичних методів, таких як рентгенографія, КТ, МРТ, ультразвукова діагностика, але жоден з них не дає даних про молекулярну структуру синовіальної рідини [1, 2]. На сьогоднішній день одним з об'єктивних методів, який дозволяє діагностувати септичний артрит, є посів пунктату синовіальної рідини на поживне середовище [5–7, 10–11]. Цей метод важко назвати експресним, оскільки результати можна отримати не раніше ніж через 48 год [13, 14].

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 являє собою багатовимірний носій 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 такими оптично-неоднорідними середовищами [9]. Таким чином, при лазерному зондуванні отримується кілька груп параметрів: поляризаційні, спектральні та фазові.

Серед методів оптичної діагностики біологічних тканин людини набули поширення методи *лазерної поляриметричної діагностики* їх оптико-анізотропної структури. Головним “інформаційним продуктом” таких методів є одержання координатних розподілів азимутів  $\alpha(x, y)$  і еліптичності  $\beta(x, y)$  поляризації з наступним їх кореляційним і фрактальним аналізом.

**Мета** роботи — розробити експрес-метод диференційної діагностики реактивного синовіту та піогенного артриту за допомогою спектральної Стокс-поляриметричної діагностики.

## Матеріали і методи

Нами було обстежено 30 хворих: 10 жінок і 20 чоловіків, віком від 16 до 82 років. Серед них на підставі клінічних, рентгенологічних та лабораторних методів досліджень було діагностовано:

- 1) реактивний синовіт колінного суглоба при деформуючому артрозі II–III стадії — у 20 хворих (*I група*);
- 2) піогенний артрит колінного суглоба — у 10 (*II група*).

Синовіальну рідину набирали із верхнього завороту колінного суглоба в асептичних умовах, після чого готували мазок та підсушували при кімнатній температурі. Лазерно-оптичні дослідження виконували на кафедрі оптики інженерно-технічного факультету Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича.

**Методика вимірювань поляризаційних залежностей спектрів поглинання:**

- 1) орієнтують площину пропускання поляризатора-аналізатора під кутом  $\Omega = 0^\circ$  і вимірюють спектральні залежності інтенсивності пропущеного шаром синовіальної рідини  $I_0(\lambda = 400 \text{ нм} \div 800 \text{ нм})$ ;

- 2) повертають площину пропускання поляризатора-аналізатора на кут  $\Omega = 90^\circ$  і вимірюють спектральні залежності інтенсивності пропущеного шаром синовіальної рідини  $I_{90}(\lambda)$ ;

- 3) повертають площину пропускання поляризатора-аналізатора на кут  $\Omega = 45^\circ$  і вимірюють спектральні залежності інтенсивності пропущеного шаром синовіальної рідини  $I_{45}(\lambda)$ ;

- 4) повертають площину пропускання поляризатора-аналізатора на кут  $\Omega = 135^\circ$  і вимірюють спектральні залежності інтенсивності пропущеного шаром синовіальної рідини  $I_{135}(\lambda)$ .

На цій підставі обчислювали координатні розподіли параметрів вектора Стокса за таким алгоритмом:

$$\begin{cases} S_1(\lambda) = I_0 + I_{90} = I_{45} + I_{135} = I_{\otimes} + I_{\oplus}; \\ S_2(\lambda) = I_0 - I_{90} / I_0 + I_{90}; \\ S_3(\lambda) = I_{45} - I_{135} / I_{45} + I_{135}; \\ S_4(\lambda) = I_{\otimes} - I_{\oplus} / I_{\otimes} + I_{\oplus}. \end{cases} \quad (1)$$

Для визначення азимута  $\alpha$  і еліптичності  $\beta$  поляризації система рівнянь (1) дозволяє одержати такі вирази:

$$\alpha(\lambda) = 0,5 \arctg \left( \frac{S_3}{S_2} \right); \quad (2)$$

$$\beta(\lambda) = 0,5 \arcsin(S_4). \quad (3)$$

Як основний аналітичний метод оцінювання спектрів поляризаційних (азимут  $\alpha(\lambda)$  і еліптичність  $\beta(\lambda)$ ) параметрів електромагнітного випромінювання, що пройшли крізь шар синовіальної рідини, ми використали відомий у теорії ймовірності метод розкладання залежності  $q(\lambda) = \alpha(\lambda)$ ;  $\beta(\lambda)$  у ряд Лапласа–Шарльє

$$q(\lambda) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left[ - \left( \frac{Z_1^\lambda}{Z_2^\lambda} \right)^2 \right] (1 - a_1 Z_3^\lambda - a_2 Z_4^\lambda), \quad (4)$$

де  $a_1$ ;  $a_2$  — нормувальні коефіцієнти;  $Z_{k=1,2,3,4}^\lambda$  — спектральні статистичні моменти.

Експериментальні вимірювання виконували на лазерному Стокс-поляриметрі, оптична схема спектрополяриметра наведена на рис. 1 [9].

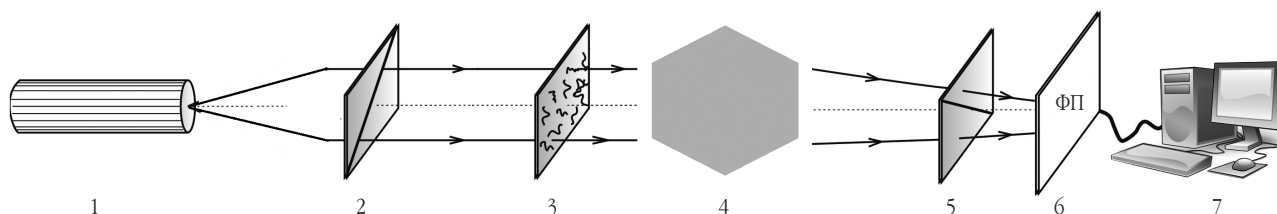
Тривалість спектрального зондування синовіальної рідини та аналізу результатів таким методом становить 60–80 хв.

## Результати та їх обговорення

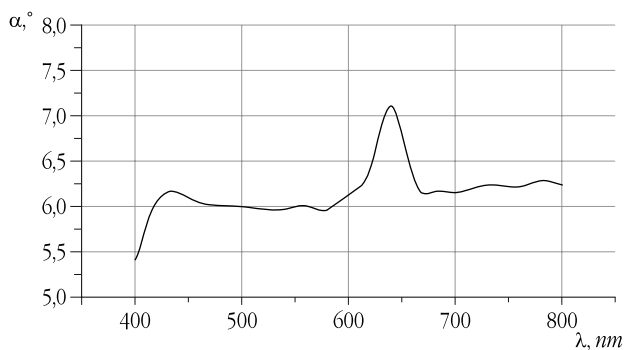
### Спектральна залежність азимута поляризації лазерного пучка

Аналіз спектральних залежностей азимута поляризації  $\alpha(\lambda)$ , які характеризують оптичну активність полікристалічної компоненти синовіальної рідини, виявив їх індивідуальну структуру для різних типів патології колінного суглоба.

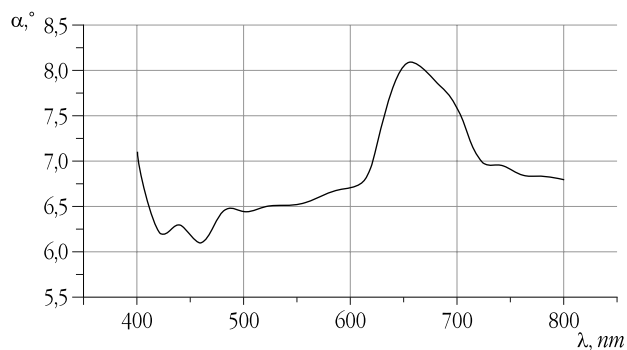
При *реактивному синовіті* має місце вузько локалізований екстремум значення азимута поляризації у червоній ( $\lambda = 630 \text{ нм}$ ) ділянці спектра (рис. 2а), а для *піогенного артриту* характерний більш широкий спектральний екстремум ( $\lambda = 610 \text{ нм} - 650 \text{ нм}$ ) залежності  $\alpha(\lambda)$  (рис. 2б).



**Рис. 1.** Оптична схема лазерного спектрополяриметра: 1 — монохроматор; 2 — поляризатор; 3 — шар синовіальної рідини; 4 — спектральний прилад МДР-3; 5 — поляризатор-аналізатор; 6 — фотоприймач; 7 — комп'ютер



*a*



*б*

**Рис. 2.** Спектральна залежність азимута поляризації лазерного пучка, пропущеного шаром синовіальної рідини у пацієнтів з реактивним синовітом (*a*) та з пігментним артритом (*б*)

Аналітичний розклад серії залежностей  $\alpha(\lambda)$ , що характеризують оптичну активність полікристалічної компоненти синовіальної рідини, у ряд по спектральних

статистичних моментах  $Z_k^\lambda$  (табл. 1) дозволяє диференціювати типи патології колінного суглоба з високою чутливістю і специфічністю (табл. 2).

Таким чином, спектральна поляриметрія варіацій азимута поляризації з наступним статистичним аналізом залежностей  $\alpha(\lambda)$  на основі розкладу Лапласа–Шарльє дозволила досягти максимального рівня чутливості ( $Se=79-88\%$ ) і специфічності ( $Sb=66-72\%$ ) у діагностиці та диференціації патології колінного суглоба порівняно з методами лазерної та спектральної Стокс-поляриметрії.

#### Спектральна залежність еліптичності поляризації лазерного пучка

Як і у випадку досліджень спектральних залежностей азимута поляризації  $\alpha(\lambda)$ , які характеризують оптичну активність полікристалічної компоненти синовіальної рідини, нами виявлена індивідуальна структура проявів її двопротенезаломлення для різних типів патології колінного суглоба. Причому, екстремуми розподілів еліптичності  $\beta(\lambda)$  інвертовані до кривих азимута  $\alpha(\lambda)$  —  $\{\alpha(\lambda) \rightarrow \max; \beta(\lambda) \rightarrow \min\}$ .

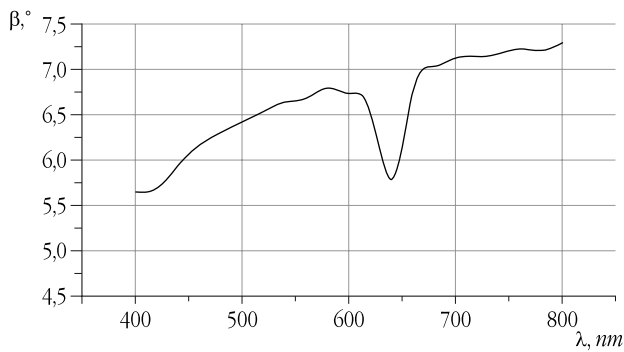
При *реактивному артриті* має місце вузько локалізований спектральний мінімум значення еліптичності поляризації у червоній ділянці спектра ( $\lambda=630$  нм) (рис. 3а), а зміни біохімічного складу синовіальної рідини при *пігментному артриті* колінного суглоба супроводжуються формуванням широкого спектрального мінімуму ( $\lambda=610$  нм — 650 нм) залежності  $\beta(\lambda)$  (рис. 3б).

**Таблиця 1**  
**Моменти Лапласа–Шарльє спектральної залежності азимута поляризації оптичного пучка, перетвореного синовіальною рідиною суглобів різного патологічного стану у пацієнтів різних груп**

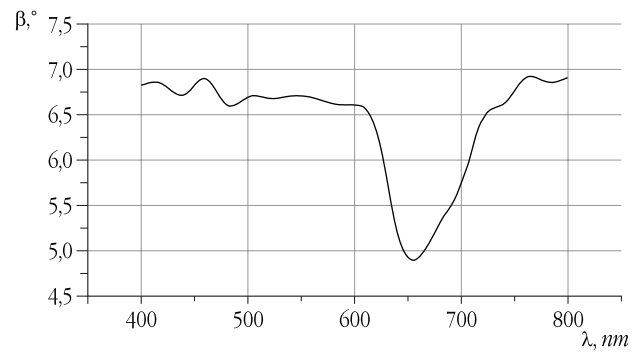
Спектральні статистичні моменти $Z_k^\lambda$	I група, n=20	II група, n=10
$Z_{k=1}^\lambda$	0,016±0,0029	0,031±0,005
$Z_{k=2}^\lambda$	0,17±0,026	0,38±0,063
$Z_{k=3}^\lambda$	2,25±0,37	0,41±0,073
$Z_{k=4}^\lambda$	0,68±0,11	3,48±0,57

**Таблиця 2**  
**Чутливість і специфічність методів спектрополяриметрії азимута поляризації у пацієнтів різних груп**

Спектральні статистичні моменти $Z_k^\lambda$	Чутливість, Se (%)		Специфічність, Sb (%)	
	I група	II група	I група	II група
$Z_{k=1}^\lambda$	58	59	53	55
$Z_{k=2}^\lambda$	63	61	56	54
$Z_{k=3}^\lambda$	79	81	66	64
$Z_{k=4}^\lambda$	88	87	71	72



а



б

**Рис. 3.** Спектральна залежність еліптичності поляризації лазерного пучка, пропущеного шаром синовіальної рідини у пацієнтів з реактивним синовітом (а) та з піогенним артритом (б)

Таблиця 3

**Моменти Лапласа–Шарльє спектральної залежності еліптичності поляризації оптичного пучка, перетвореного синовіальною рідиною суглобів різного патологічного стану у пацієнтів різних груп**

Спектральні статистичні моменти $Z_k^\lambda$	I група, n=20	II група, n=10
$Z_{k=1}^\lambda$	$0,018 \pm 0,0029$	$0,029 \pm 0,0035$
$Z_{k=2}^\lambda$	$0,17 \pm 0,056$	$0,33 \pm 0,056$
$Z_{k=3}^\lambda$	$3,82 \pm 0,57$	$0,31 \pm 0,052$
$Z_{k=4}^\lambda$	$1,26 \pm 0,18$	$4,71 \pm 0,74$

Виразні відмінності залежності двоприменезаломлення полікристалічної складової синовіальної рідини від патологічного стану колінного суглоба у всьому видимому оптичному діапазоні довжин хвиль ( $\lambda = 400 \text{ нм} - 800 \text{ нм}$ ) виявляються у найбільших відмінностях спектральних статистичних моментах.

Детальний аналіз сукупності спектральних залежностей еліптичності поляризації (табл. 3) — у межах груп досліджених зразків синовіальної рідини виявив показники чутливості  $Se$  та специфічності  $Sb$  методу спектральної поляриметрії еліптичності поляризації (табл. 4).

## Висновки

1. Як видно, показники чутливості і специфічності для спектральних моментів вищого порядку цього методу є екстремально високими ( $Se \rightarrow 92-93\%$ ;  $Sb \rightarrow 82-86\%$ ) порівняно із сукупністю методів лазерної і спектральної Стокс-поляриметрії і дозволяють достовірно та об'єктивно діагностувати та диференціювати тип патології колінного суглоба за особливостями спектральних проявів двоприменезаломлення полікристалічної складової синовіальної рідини.

2. Отримані результати вказують на те, що моменти Лапласа–Шарльє 3-го і 4-го порядку спектральної залежності азимута поляризації оптичного пучка, перетвореного синовіальною рідиною пацієнтів з *реактивним артритом* відрізняються від моментів Лапласа–Шарльє 3-го і 4-го порядку спектральної залежності азимута

Таблиця 4

**Чутливість і специфічність методів спектрополяриметрії еліптичності поляризації у пацієнтів різних груп**

Спектральні статистичні моменти $Z_k^\lambda$	Чутливість, $Se$ (%)		Специфічність $Sb$ (%)	
	I група	II група	I група	II група
$Z_{k=1}^\lambda$	65	61	60	58
$Z_{k=2}^\lambda$	72	74	63	65
$Z_{k=3}^\lambda$	84	82	72	75
$Z_{k=4}^\lambda$	92	93	86	82

поляризації оптичного пучка, перетвореного синовіальною рідиною пацієнтів з піогенним артритом у 5,4 та 5,1 рази відповідно, що дозволяє об'єктивно диференціювати піогенний та реактивний артрит.

3. Висока чутливість та специфічність методу дозволяє на ранніх стадіях захворювання верифікувати діагноз захворювань колінного суглоба, які супроводжуються утворенням надлишку синовіальної рідини в колінному суглобі.

## Література

1. Гнилорыбов А.М. Нейропептиды и нейрогенные механизмы артрита / А.М. Гнилорыбов // Укр. ревматол. журн. — 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. Хрещаткова // Там же. — 2004. — Т. 17, № 3. — С. 8–11.
3. Денисенко В.Г. Измерение морфологических форм поляризационных сингулярностей и их статистических весов в оптических векторных полях / Денисенко В.Г., Егоров Р.И., Соскин М.С. // 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 / Егоров Р.И., Денисенко В.Г., Соскин М.С. // Там же. — 2005. — Т. 81, № 8. — С. 464–467.
5. Захарова М.М. Исследование синовиальной жидкости // Ревматические болезни / М.М. Захарова. — М.: Медицина, 1997. — С. 77–80.



6. Залесский В. Н. Потенциальная роль микрочастиц клеток крови и синовиальной жидкости в патогенезе ревматических заболеваний / В. Н. Залесский, О. Б. Дынный // Укр. ревматол. журн. — 2006. — Т. 26, № 4. — С. 32–39.
7. Клубова Г. Ф. Ревматоидный артрит : стан системного та локального імунітету на фоні застосування глюкокортикостероїдів і базисної терапії / Г. Ф. Клубова // Там же. — 2003. — Т. 11, № 1. — С. 45–50.
8. Лазерна поляризаційна морфологія біологічних тканин : статистичний і фрактальний підходи / Ушенко О. Г., Пішак В. П., Ангельський О. В., Ушенко Ю. О. — Чернівці : Колір — Друк, 2007. — 314 с.
9. Лазерна поляриметрична діагностика в біології та медицині / Пішак В. П., Ушенко О. Г., Ангельський О. В. [та ін.]; за ред. В. П. Пішака та О. Г. Ушенка. — Чернівці : Медакадемія, 2000. — 305 с.
10. Лисенко І. В. Діагностична цінність оксипроліну й арахідонової кислоти як біологічних маркерів деградації хрящової тканини / І. В. Лисенко // Укр. ревматол. журн. — 2006. — Т. 24, № 2. — С. 40–44.
11. Порівняльний аналіз крові та синовіальної рідини при різних стадіях остеоартрозу / Корж М. О., Леонтьєва Ф. С., Вікторов О. П., Лисенко І. В. // Там же. — 2005. — Т. 21, № 3. — С. 45–47.
12. Рассеяние лазерного излучения мультифрактальными биоструктурами / Ангельский О. В., Ушенко А. Г., Архелюк А. Д. [и др.] // Оптика и спектроскопия. — 2000. — Т. 88, № 3. — С. 495–498.
13. Сияченко О. В. Исследование суставов / О. В. Сияченко, Г. А. Гнатенко. — Донецьк : Донеччина, 1998. — 216 с.
14. Сияченко О. В. Современные аспекты анализа синовиальной жидкости / О. В. Сияченко // Укр. ревматол. журн. — 2008. — Т. 2, № 32. С. 30–39.
15. Тучин В. В. Исследование биотканей методами светорассеяния / В. В. Тучин // Успехи физ. наук. — 1997. — Т. 167. — С. 517–539.
16. Ушенко А. Г. Лазерная диагностика биофракталов / А. Г. Ушенко // Квантовая электроника. — 1999. — Т. 29, № 3. — С. 1–7.

УДК 615.835.1-085.83:615.851.3

## НОВЫЙ ПОДХОД К РАННЕЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ПРИ ВНУТРИСУСТАВНЫХ ПЕРЕЛОМАХ ЛОКТЕВОГО СУСТАВА

М. Ю. Каримов, В. В. Гребенкин

Ташкентская медицинская академия, Республика Узбекистан

### NEW APPROACH TO EARLY REHABILITATION IN INTRA-ARTICULAR FRACTURES OF THE ELBOW JOINT

M. Yu. Karimov, V. V. Hrebenkin

*The authors have developed and clinically applied a complex of intra-ozone therapy and hirudotherapy in the early rehabilitation and restoration treatment of the operated elbow. An intra-articular injection of ozone-oxygenous mixture after joint surgery is a prevention measure to avoid the development of adhesive capsulitis and secondary atrophy of the joint capsule what eliminates contracture caused by arthritis. Application of hirudotherapy allows to remove pain syndrome with hydrops in the early postoperative period and prevent the development of cicatricial and fibrous degeneration of para-articular tissues and eliminate the causes of contracture development.*

*Key words: elbow joint, intraarticular fracture, treatment, rehabilitation.*

### НОВИЙ ПІДХІД ДО РАННЬОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ ВНУТРІШНЬОСУГЛОБОВИХ ПЕРЕЛОМІВ ЛІКТЬОВОГО СУГЛОБА

М. Ю. Карімов, В. В. Гребенкін

*Авторами розроблено і впроваджено в клініку комплекс внутрішньосуглобової озонотерапії й гірудотерапії в ранньому реабілітаційно-відновному лікуванні оперованого ліктьового суглоба. Внутрішньосуглобове введення озono-кисневої суміші, після хірургічного втручання на суглобі, є профілактикою розвитку злипливого капсуліту і вторинного зморщування капсули суглоба, що усуває артрогенні причини контрактури. Використання методики гірудотерапії дозволяє ліквідувати набряково-більовий синдром у ранні строки після операції і попередити розвиток рубцево-фіброзного переродження параартикулярних тканин, усунути позасуглобові причини виникнення контрактур.*

*Ключові слова: ліктьовий суглоб, внутрішньосуглобовий перелом, лікування, реабілітація.*