

среднего цитохимического коэффициента в 1,5–2 раза ниже нормы на весь период исследований. В опытных группах крыс, у которых инфицированные лучевые язвы обрабатывали методом ФДТ с красным светом, активность МПО повышалась уже с 7-х суток и в этот период даже превышала нормальные показатели (на 15%,  $P < 0,05$ ). В дальнейшем активность фермента восстанавливалась до нормы и сохранялась на этом уровне до конца эксперимента.

Следует отметить, что снижение активности МПО у животных с локальным рентгеновским облучением коррелировало с развитием у них умеренной лейкопении. Присоединение добавочного патогенного фактора в виде микробной инфекции хотя и не усугубляло уровень лейкопении, но вызывало дополнительный расход антимикробного ферментативного резерва нейтрофилов.

Применение фотодинамической терапии с красным светом не только приводило к уничтожению внесенных в рану микроорганизмов, не только повышало количество лейкоцитов в крови, но и стимулировало в них синтез антимикробных агентов, в том числе МПО, то есть оказывало большую поддержку эндогенным антимикробным механизмам облученных крыс.

**Выводы.** Таким образом, применение фотодинамической терапии по разработанной схеме способствует восстановлению ферментативных антимикробных систем лейкоцитов.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МЕТОДУ ФОТОДИНАМІЧНОЇ ТЕРАПІЇ ІЗ МОДУЛЬОВАНИМ РЕЖИМОМ ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЮВАННЯ

<sup>1</sup>Холін В.В., <sup>1</sup>Чепурна О.М., <sup>2</sup>Штонь І.О., <sup>3</sup>Войцехович В.С., <sup>4</sup>Павлов С.В.

<sup>1</sup>ПМВП «Фотоніка Плюс», м. Черкаси, Україна;

<sup>2</sup>Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології імені Р.Є.Кавецького НАН України,  
м. Київ, Україна;

<sup>3</sup>Інститут фізики НАН України, м. Київ, Україна;

<sup>4</sup>Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

**Вступ.** Фотодинамічна терапія (ФДТ) є одним із малотравматичних методів лікування онкологічних захворювань та може використовуватися в якості альтернативи або в поєднанні зі звичайними засобами лікування. Серед різноманітних лікувально-діагностичних методів ФДТ займає особливе місце, знаходячись на межі між руйнівним впливом потужного лазерного випромінювання на пухлини та методами неруйнівної дії, що спрямовані на досягнення позитивного впливу на різні регуляторно-відновні процеси в організмі.

**Мета роботи.** Традиційно пухлину опромінюють розфокусованим лазерним випромінюванням в неперервному режимі, одночасно охоплюючи всю площу пухлини. Щільність потужності повинна відповідати вимогам

лікувальної ефективності процедури ФДТ (від 0,1 до 2 Вт/см<sup>2</sup> для дерматології). Успішність ФДТ критично залежить не тільки від обраної дози лазерного випромінювання, але і від вмісту в пухлинній тканині фотосенсибілізатора (ФС) і молекулярного кисню. Після впливу світла концентрація молекулярного кисню в пухлині падає через його взаємодію з ФС і утворення синглетного кисню, який є одним із основних чинників для руйнування пухлинних клітин. Відновлення концентрації молекулярного кисню (і ФС) в тканинах залежить від циркуляції крові в цій області і вимагає деякого часу, протягом якого подальше опромінення пухлини не має сенсу, або призводить до вигорання ФС без досягнення бажаного лікувального ефекту. Отже, існує потреба в розробці таких схем опромінення, які дозволили б забезпечити постійне оновлення критичних концентрацій активних агентів ФДТ в процесі руйнування пухлини.

**Матеріали та методи.** У роботі ми пропонуємо модифікацію процедури ФДТ з використанням модульованого лазерного випромінювання. Для реалізації запропонованого методу був застосований напівпровідниковий лазерний прилад «Ліка-хірург М» (виробництва ПМВП «Фотоніка Плюс», м. Черкаси) із довжиною хвилі випромінювання терапевтичного лазера 660 нм, потужністю 1 Вт. Прилад може модулювати лазерне випромінювання з різною тривалістю імпульсу (0,05-2,5 секунд), окремо регулюючи тривалість паузи (0,05-1 секунд). Як недолік методу слід відзначити збільшення часу процедури.

Для того, щоб перевірити ефективність запропонованого нами режиму опромінення пухлини, ми провели серію експериментів *in vivo.*, порівнявши ефективність ФДТ з використанням звичайного безперервного лазерного опромінення пухлин та модульованого режиму. В якості модельного об'єкту в експериментах використовували мишей лінії С<sub>57</sub> В1/6 з перещепленою в подушечку задньої кінцівки карциномою легень Льюїс. За годину до лазерного опромінення мишам внутрішньовенно вводили ФС фотолон у концентрації 10 мг/кг.

Пухлини були опромінені із використанням модульованого (з інтервалами – 1 секунда лазерне опромінення і 1 секунда пауза) або безперервного режимів розфокусованим лазерним променем так, щоб він опромінював пухлину з невеликим перекриттям. Обидві схеми були зрівняні по довжині хвилі (660 нм), щільності потужності світла (50 мВт/см<sup>2</sup>) і загальному часу експозиції (30 хвилин). Щільність дози енергії випромінювання, отримана пухлиною у безперервному режимі, становила 150 Дж/см<sup>2</sup>, а в модульованому режимі - 45 Дж/см<sup>2</sup>.

Після ФДТ пухлини вимірювалися кожні 2-3 дні. Кожна точка на кривій є середній об'єм пухлини (в перерахунку на об'єм еліпсоїда) у тварин дослідних і контрольних груп (n = 5). Результати обробки представлені на рис. 1. Як видно на ньому, обидві схеми лікування призводили до пригнічення росту експериментальних пухлин. На 8-й день після терапії опромінені пухлини відрізнялися за розміром від контрольної групи. На 17-й день рівень інгібування росту пухлин в групах із модульованим або безперервним опроміненням становив 51% і 33%, відповідно. Таким чином,

отримані результати лікування були кращими в першому випадку, хоча доза енергії лазерного світла з модульованим режимом була в рази менше.

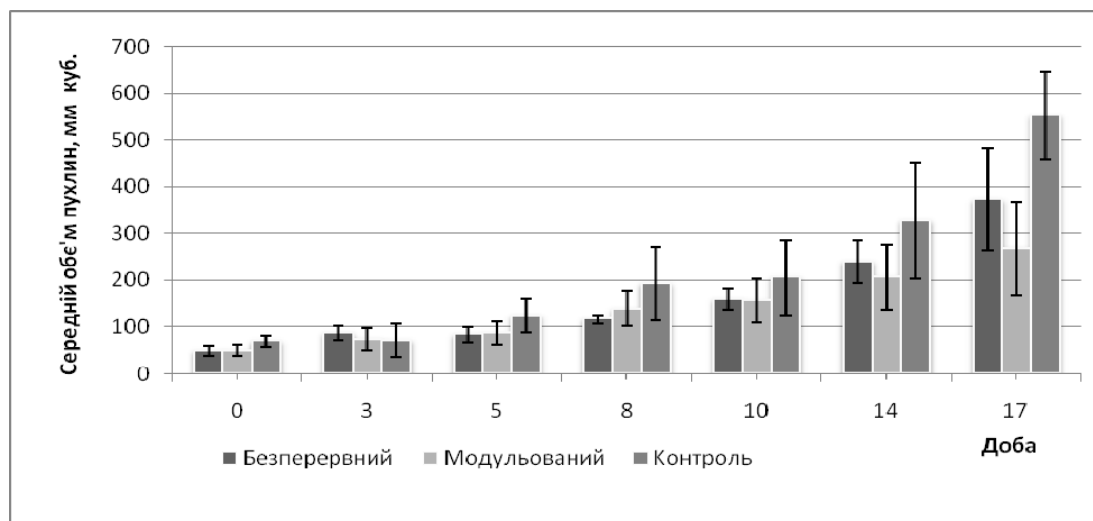


Рис. 1. Динаміка росту карциноми легень Льюїс після ФДТ за різних режимів

**Висновок.** Експериментальна перевірка *in vivo* на моделі пухлини ефективності ФДТ із використанням модульованого лазерного випромінювання показала, що ступінь пригнічення росту пухлини при цьому режимі опромінення був вищий порівняно із безперервним лазерним випромінюванням, в той час як застосована доза енергії світла була значно зниженою. Перспективною є розробка додаткової системи моніторингу вмісту кисню в тканинах, що дозволить, крім оптимізації режиму опромінення, визначати зокрема ступінь пошкодження судин пухлини та ефективності ФДТ в цілому.

## ТЕПЛОВЫЕ И НЕТЕПЛОВЫЕ ЭФФЕКТЫ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ IN VIVO

Кизилова Н.Н., Коробов А.М.

Харьковский национальный университет имени В.Н.Каразина,  
Харьков, Украина

Низкоинтенсивное оптическое излучение (ОИ) при действии на биологические ткани *in vivo* оказывает как прямое тепловое воздействие, связанное с поглощением тепловой энергии источника излучения, так и специфическое нетепловое действие [1,2]. Поглощение энергии, конвективный и диффузионный теплоперенос в тканях хорошо описываются уравнением Пеннесса переноса тепла в биологических тканях [3,4]