

Вивчення в експерименті дії монохроматичного оптичного випромінювання на розвиток місцевих променевишкюджень шкіри Повідомлення I. Перебіг місцевих променевишкюджень шкіри у щурів

Л.І. Сімонова,
Л.В. Білогурова,
В.З. Гертман

ДУ Інститут медичної
радіології ім. С.П. Григор'єва
АМН України, Харків

Experimental investigation of monochromic optic radiation effect on development of local radiation lesions of the skin
Communication 1. The course of local radiation lesions of the skin in rats

Цель работы: Изучить влияние разных спектральных участков монохроматического оптического излучения на кожу белых крыс после локального рентгеновского облучения.

Материалы и методы: Эксперименты проведены на самках белых крыс линии Вистар, которым на рентгеновском аппарате облучали участок бедра в дозе 80,0 Гр. Воздействовать светодиодами на облученный участок кожи (курс — 5 дней) начинали сразу после рентгеновского облучения. Использовали фотодиодное матричное устройство «Барва-Флекс» с фотоматрицами красного, зеленого и синего цвета. Эффективность разных фотоматриц оценивали по выходу местных лучевых повреждений (МЛП) кожи разной степени тяжести (лучевые язвы, дерматиты); динамике площади МЛП; коэффициенту скорости заживления МЛП. Контролем служили облученные крысы со спонтанным заживлением МЛП.

Результаты: Проведенные исследования показали, что эффект красного света на облученный участок кожи крыс заключался в том, что его действие способствовало предотвращению развития влажного дерматита, отодвигало появление лучевых язв на более поздние сроки, уменьшало их количество и ускорило заживление. Профилактическое действие синего света сопровождалось развитием влажного дерматита у 30 % крыс, но полностью предотвращало появление лучевых язв и значительно сокращало сроки заживления лучевых дерматитов. Профилактическое действие зеленого света было наименее выражено — у 50 % животных развивался влажный дерматит, появились лучевые язвы (однако достоверно меньше, чем в контроле).

Выводы: Фотомодуляция при помощи светодиодов красного, зеленого и синего цветов позитивно влияет на развитие местных лучевых повреждений кожи белых крыс, снижает их частоту, тяжесть, ускоряет заживление. Все использованные виды видимого света оказывали определенное позитивное влияние на развитие местных лучевых повреждений, однако действие каждого спектрального участка имело свои особенности. Сравнительный анализ профилактической эффективности трех видов оптического излучения позволяет сделать предварительный вывод, что наиболее эффективным для профилактики местных лучевых повреждений кожи может быть действие синего света.

Ключевые слова: фототерапия, светодиоды, оптический спектр, рентгеновское облучение, местные лучевые повреждения.

Мета роботи: Вивчити вплив різних спектральних ділянок монохроматичного оптичного випромінювання на шкіру білих щурів після локального х-опромінювання.

Матеріали і методи: Експерименти проведено на самках білих щурів лінії Вистар, яким на рентгенівському апараті опромінювали зону стегна в дозі 80,0 Гр. Впливати світлодіодами на опромінену ділянку шкіри (курс — 5 днів) починали відразу після х-опромінювання. Використовували фотодіодний матричний пристрій «Барва-Флекс» з фотоматрицями червоного, зеленого і синього кольорів. Ефективність різних фотоматриць оцінювали за виходом місцевих променевишкюджень (МПУ) шкіри різного

Objective: To investigate the influence of different ranges of monochromic optic radiation on the skin of white rats after local x-ray exposure.

Material and Methods: The experiments were performed on white female Wistar rats which were irradiated in the area on the femur at a dose of 80.0 Gy. The treatment with light diodes was started immediately after x-ray exposure (the course duration 5 days). Photodiode matrix unit Barva-Gflex with photomatrices of red, green and blue light were used. The efficacy of different light matrices was assessed according to the exit of skin local radiation lesions (LRL) of different severity (radiation ulcers, dermatitis); the changes in the area of LRL, coefficient of healing rate. The controls were irradiated animals with spontaneous wound healing.

Results: The investigation demonstrated that the effect of red light on the irradiated skin area consisted in prevention of wet dermatitis, later development of radiation lesions, reduction in their number and accelerated healing. Preventive effect of blue light was accompanied by development of wet dermatitis in 30% of the rats and complete prevention of radiation ulcers and considerable reduction of healing terms. Preventive effect of green light was the least pronounced. 50% of animals developed wet dermatitis, radiation ulcers (but less than in the controls).

Conclusion: Photomodulation with light diodes of red, green and blue light positively influenced development of local radiation lesions of skin of white rats, reduced their frequency, severity and accelerated healing. All used types of visual light produced positively influenced the development of local radiation lesions but the effect of each range had its peculiarities. Comparative analysis of preventive efficacy of the three types of optic radiation allow to make a preliminary conclusion that blue light can be the most effective in prevention of local radiation lesions.

Key words: phototherapy, light diodes, optic spectrum, x-ray exposure, local radiation lesions.

ступеня тяжкості (променеві виразки, дерматити); динамікою площі МПУ; коефіцієнтом швидкості загоєння МПУ. Контролем були опромінені щури зі спонтанним загоєнням МПУ.

Результати: Проведені дослідження показали, що ефект червоного світла на опромінену ділянку шкіри щурів полягав у тому, що його дія сприяла запобіганню розвитку вологого дерматиту, відсувала назад появу променевих виразок на більш пізні строки, зменшувала їх кількість і прискорювала загоєння. Профілактична дія синього кольору супроводжувалася розвитком вологого дерматиту у 30 % щурів, але цілком запобігала появі променевих виразок і значно скорочувала строки загоювання променевих дерматитів. Профілактична дія зеленого світла була найменше вираженою — в 50 % тварин розвивався вологий дерматит, виникали променеві виразки (втім, вірогідно менше, ніж у контролі).

Висновки: Фотомодуляція за допомогою світлодіодів червоного, зеленого й синього кольорів позитивно впливала на розвиток місцевих променевих уражень шкіри білих щурів, знижувала їх частоту, тяжкість, прискорювала загоєння. Усі використовувані види видимого світла сприяли певному позитивному впливу на розвиток місцевих променевих уражень, однак дія кожної спектральної ділянки мала свої особливості. Порівняльний аналіз профілактичної ефективності трьох видів оптичного випромінювання дозволяє зробити попередній висновок, що найбільш ефективною для профілактики місцевих променевих уражень шкіри може бути дія синього кольору.

Ключові слова: фототерапія, світлодіоди, оптичний спектр, x-опромінення, місцеві променеві ураження.

Дослідження біологічно активної дії оптичного випромінювання на організм є одним з актуальних напрямків фотобіології та фотомедицини. Методи фотолікування сьогодні дуже популярні, бо вони спрямовані на стимуляцію природних захисних реакцій організму. Одним з таких методів є використання оптичного випромінювання, тобто видимого світла, за допомогою сучасних штучних джерел — над'яскравих світлодіодів [1–3]. У багатьох випадках над'яскраві світлодіоди мають фізичні характеристики, здатні замінити складні терапевтичні лазерні прилади. Для практичного використання у медицині світлодіоди дуже зручні, оскільки вони значно дешевше високовартісних лазерів, мають малі габарити, механічно стійкі та надзвичайно надійні [4].

Сьогодні створено вже велику кількість фотоматричних приладів різного типу, які набувають все більшого розповсюдження в сучасній медичній практиці. Фототерапія вже широко використовується при лікуванні багатьох захворювань, у тому числі захворювань шкіри різної етіології [5, 6]. Усі автори підкреслюють таку перевагу фототерапії, як повна безпечність методу та відсутність у нього побічних дій, завдяки чому використання найпростіших фотоматричних приладів у деяких випадках рекомендується навіть у домашніх умовах [2, 3].

На фоні розвитку сучасних методів фототерапії у деяких учених виникла думка про можливість їх використання в онкології та променевій терапії [7–9]. Відомо, що в онкології існує давня проблема пошуку методів для профілактики місцевих променевих ушкоджень (МПУ) шкіри в процесі променевої терапії в

онкологічних хворих. Для цього може бути дуже перспективним використання фототерапії, але у цій галузі дотепер проведено надто мало досліджень, зокрема експериментальних. Однак результати деяких, поки ще епізодичних, досліджень є дуже цікавими, але вони дають надію на подальше використання світлолікування для профілактики та лікування МПУ.

Наприклад, дослідження [9] присвячено оцінці ефективності фотомодуляції для запобігання виникненню радіодерматитів при лікуванні раку грудної залози. У цій роботі показано, що використання фотомодуляції безпосередньо після сеансів променевої терапії вірогідно знижувало частість розвитку радіодерматитів у хворих, які отримували її після мастектомії. Жодних побічних ефектів фотомодуляції авторами не відзначено [9].

Було також показано, що ефективність ряду лікарських засобів значно посилювалася при їх поєднанні з фототерапією [9, 10]. Так, при лікуванні радіодерматитів у хворих на рак грудної залози ефективність кортикостероїдних мазей збільшувалася при їх одночасному застосуванні із світловипромінюванням [9].

Виходячи з викладеного, в ДУ Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва АМНУ вирішено провести низку експериментальних досліджень для вивчення характеру дії видимого світла на шкіру, яку опромінено іонізуючою радіацією у дозах, здатних викликати появлення місцевих променевих ушкоджень.

Метою роботи було вивчити вплив монохроматичного оптичного випромінювання різних спектральних ділянок на шкіру білих щурів після локального рентгенівського опромінювання.

Методика дослідження

Дослідження проведено на 60 щурах-самицях лінії Вістар з масою тіла 180–200 г.

Променеве ушкодження шкіри та підлеглих тканин у щурів відтворювали на стегнової ділянці правої кінцівки шляхом локального рентгенівського опромінення на рентгенотерапевтичному апараті TUR-60 у дозі 80,0 Гр.

Умови опромінювання щурів були такими: напруга на трубіці $U = 50$ кВ, анодний струм $I = 10$ мА, фільтр 0,6 мм Al. При локальному опромінюванні трубку рентгенапарата приводили у зіткнення з кінцівкою щура таким чином, щоб отвір свинцевої діафрагми співпадав із епільованою стегновою ділянкою, при цьому опромінена площа складала приблизно 400 мм².

Вивчення дії видимого світла на розвиток МПУ здійснювали за допомогою фотодіодного матричного приладу «Барва-Флекс» виробництва НДІ лазерної біології і лазерної медицини у співробітництві з Науково-виробничою медико-біологічною корпорацією «Лазер і здоров'я» (Харків). Цей прилад містить кілька окремих матриць різного кольору у межах оптичного спектра. Окрема фотонна матриця становить гнучку пластину, на якій розташовані 24 світлодіоди відповідного кольору. Потужність випромінювання кожного світлодіода 5 мВт [3].

У даній роботі вивчалася дія фотоматриць червоного ($I_{\max} = 660$ нм), зеленого ($I_{\max} = 525$ нм) та синього ($I_{\max} = 470$ нм) кольору.

Для вивчення можливої профілактичної дії світлодіодів на розвиток МПУ фотонний вплив на тварин починали через 40–60 хв після локального рентгенівського опромінення. Гнучку пластину фотоматриці фіксували на тілі щура таким чином, щоб вона контактувала з епільованою ділянкою стегна і цілком освітлювала її (розмір стандартної матриці перевищував площу, що підлягала рентгенівському опроміненню). Досліди проводили при інтенсивності випромінювання 0,3 мВт/мм², триразово по 20 хв протягом доби. Курс фототерапевтичної дії складав 5 днів.

Піддослідні щури були розподілені на 4 групи:

1. Контрольна група — щури з локальним рентгенівським опроміненням (ЛО) епільованої ділянки стегна правої задньої кінцівки;

2. Дослідна група 1 — «червона» — щури з ЛО стегнової ділянки та обробкою її червоним світлом ($I_{\max} = 660$ нм);

3. Дослідна група 2 — «зелена» — щури з ЛО стегнової ділянки та обробкою її зеленим світлом ($I_{\max} = 525$ нм);

4. Дослідна група 3 — «синя» — щури з ЛО стегнової ділянки та обробкою її синім світлом ($I_{\max} = 470$ нм).

Спостереження за станом тварин проводили протягом 2 місяців, при цьому фіксували площу МПУ в динаміці. В контрольній групі перше вимірювання площі МПУ (S_0) проводили на 7-му д, коли в усіх (100 %) тварин цієї групи з'являлися ознаки променевого пошкодження. У дослідних групах тварин вимірювали площу також з 7-ї д та в певні строки спостережень (S_x). Вимірювання проводили на 7, 14, 21, 30-ту та 60-ту добу.

Коефіцієнт швидкості загоювання (К) визначали за формулою [11]

$$K = \frac{S_0 - S_x}{S_0 \cdot t} \cdot 100\%$$

де t — час, доба, що відповідає строкам вимірювання площі рани (виразки);

S_0 — розмір площі, мм², на 7-му д спостережень;

S_x — розмір площі, мм², у зазначені строки.

Усіх тварин утримували в однакових стандартних умовах (їжа і вода ad libitum). Рентгенівське опромінювання та інші процедури проводили під ефірним наркозом. Протягом досліджень та після їх закінчення піддослідних тварин виводили з експерименту також під ефірним наркозом з дотриманням правил евтаназії [12, 13].

Статистичну обробку одержаних результатів проводили на ПК за допомогою пакета програм Statistica. Отримані дані обробляли методами параметричної та непараметричної статистики. Порівняння груп з різною частотою клінічних ознак проводили з використанням критерію χ^2 . Розбіжності вважали статистично значущими при $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення

Проведені дослідження показали, що в контрольній групі при дозі локального опромінення 80,0 Гр в усіх тварин поступово розвиваються променеві ушкодження шкіри різного ступеня тяжкості. Динаміка частоти їх розвитку в контрольній та дослідних групах наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Динаміка розвитку МПУ шкіри у щурів при локальному рентгенівському опроміненні та профілактичній дії фотоматриць різних хвиль оптичного діапазону
The changes in skin LRL development in rats after local x-ray irradiation and preventive action of photomatrices of different waves of optic range

| Нелікований контроль, n = 30 | Ознаки МПУ, % | Доба | | | | |
|---------------------------------|---------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------|
| | | 7-ма | 14-та | 21-ша | 30-та | 60-та |
| n = 30 | Частота ВД | 43,0± 9,0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Частота ПВ | 17,0± 7,0 | 60,0± 9,0 | 70,0± 9,0 | 60,0± 9,0 | 0 |
| n = 10 | Частота ВД | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Частота ПВ | 0 | 0 | 10,0± 10,0* | 30,0± 15,0 | 0 |
| n = 10 | Частота ВД | 0 | 50,0± 17,0 | 0 | 0 | 0 |
| | Частота ПВ | 0 | 0 | 0 | 10,0± 10,0* | 0 |
| n = 10 | Частота ВД | 0 | 30,0± 15,0 | 0 | 0 | 0 |
| | Частота ПВ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Примітки. * — різниця вірогідна порівняно з контролем; ВД — вологий дерматит, ПВ — променева виразка.

Поява перших ознак розвитку МПУ спостерігалася у щурів контрольної групи вже через 2–3 д після радіаційного впливу, коли у більшості тварин на опроміненій ділянці шкіри з'являлися еритема та набряки. На 7-му д вже в усіх піддослідних тварин розвивалися ознаки епідерміту у вигляді локальних поверхневих крововиливів (петехій), набряків, спостерігалася також лущення шкіри. Наприкінці першого тижня після локального опромінення майже в половині щурів виникав сухий дерматит з формуванням тонкого сухого напівпрозорого струпу жовтого кольору. А в інших (43 %) визначалися ознаки вологого дерматиту: струп був вологий, мав червонуватий колір, з-під струпу виділявся ексудат.

На 14-ту д площа ушкодженої тканини помітно збільшувалася, у більшості тварин дерматит переходив на внутрішню поверхню стегна. В результаті у 60 % щурів розвивалися променеви виразки (ПВ), часто з гнійним виділенням.

Далі (21-ша д) у тварин контрольної групи фіксувалося подальше збільшення площі ушкодження, у більшості щурів (70 %) відбувалося відторгнення струпів, під якими відкривалися глибокі виразки з гнійним виділенням. Діаметр виразково-некротичних ділянок складав 10–15 мм, по периметру визначалися гіперемовані тканини з набряками. До 30-ї д у цих тварин починався млявий та досить повільний процес загоєння виразок, ділянка ушкодження помітно зменшувалася, створювався новий струп, під яким відбувалося повільне загоєння.

У середньому повне загоєння виразок спостерігалася приблизно на 60–65-ту д з відновленням шерстного покриву, але у 40 % тварин ще й через 3 місяці на опроміненій ділянці шерсть була помітно рідкіша та тонкіша.

Для урахування можливої дії фотоматричного світла на шкіру, були використані групи здорових щурів, в яких епіловану ділянку стегна піддавали фотодії за схемою, яка була повністю аналогічна такій для щурів з ЛО. Візуальний контроль фотовпливу на інтактних щурів показав, що ніяких макроскопічних змін шкіри в них не спостерігалася протягом 2 місяців дослідження. У подальшому планується ультрамікроскопічне дослідження шкіри здорових щурів після фотообробки.

У дослідних групах щурів з ЛО, яких піддавали оптичному впливу, спостерігалася інша картина. Так, у тварин з ЛО та дією червоного світла («червона» група) не фіксували розвитку вологого дерматиту (табл. 1). Протягом трьох тижнів у цих щурів на опроміненій ділянці зберігалася невеликі сухі жовтуваті струпи. Тільки в одного щура на 20–21-шу д (10 %) виникла глибока променева виразка, яка не загоїлася і на 30-ту д. На 30-ту д ще в двох тварин з'явилися невеликі виразки. В результаті вихід ПВ в «червоній» групі складав на 30-ту д 30 %. У другий місяць досліджень нових променивих ушкоджень шкіри в цих тварин не виникало. Таким чином, вплив червоного світла сприяв зниженню частоти ПВ у відповідній групі, хоча при невеликій кількості тварин у групах це не було вірогідним. Однак вплив червоного світла приводив до значного полегшення перебігу МПУ.

Застосування зеленої фотоматриці також певним чином позитивно впливало на перебіг МПУ, але демонструвало децю інші особливості (див. табл. 1). Так, у «зеленій» групі в половині тварин розвивався вологий дерматит, хоч і на тиждень пізніше, ніж у контролі (на 14-ту д). Променева виразка розвивалася до 30-ї д в цій групі тільки в одного щура (10 %). Це зниження частоти ПВ було вірогідним відносно контролю, але не показників «червоної» групи.

При обробці опроміненої ділянки шкіри синім світлом було виявлено, що дія цього світла також повністю не запобігає розвитку вологого дерматиту: це ушкодження спостерігалася на 14-ту д у 30 % тварин «синьої» групи (див. табл. 1). Але до 30-ї д після ЛО в усіх тварин цієї групи залишалися тільки ознаки сухого дерматиту, а виникнення ПВ не було зафіксовано в жодного щура.

Динаміка змін площі ранової поверхні у щурів з ЛО наведена у табл. 2.

Згідно з наведеними у табл. 2 даними, на 7-му д спостережень площа МПУ була майже однаковою в усіх групах тварин. Помітна різниця з'являлася на 14-ту д, коли у щурів «червоної» та «синьої» груп цей показник був практично вдвічі меншим, ніж у контролі. На 14-ту д у «зеленій» групі площа пошкодження не відрізнялася від такої у нелікованих тварин. На 21-шу

Динаміка змін площі, мм², МПУ шкіри у щурів при локальному рентгенівському опроміненні та при профілактичній дії фотоматриць різних хвиль оптичного діапазону
The changes in the area (mm²) of skin LRL in rats after local x-ray irradiation and preventive action of photomatrices of different waves of optic range

| Нелікований контроль, n = 30 | Доба | | | | |
|---------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| | 7-ма | 14-та | 21-ша | 30-та | 45-та |
| | 169,00± 28,88 | 259,00± 39,43 | 300,00± 32,49 | 196,00± 50,73 | 78,00± 19,70 |
| Червоне світло, n = 10 | 137,50± 15,09 | 125,00± 12,68* | 98,75 ± 17,26* | 68,75 ± 26,62* | 22,50± 11,46* |
| Зелене світло, n = 10 | 146,00± 22,72 | 266,00± 56,18 | 112,00± 7,35* | 132,00± 42,24 | 80,00± 56,12 |
| Синє світло, n = 10 | 122,00± 21,07 | 122,00± 21,07* | 108,00± 9,70* | 82,00± 9,17* | 0 |

Примітка. * — різниця вірогідна порівняно з контролем.

д і далі площа МПУ у тварин дослідних груп вірогідно зменшувалася відносно аналогічних показників у контрольній групі, що свідчило про прискорення загоєння МПУ. На 30-ту д найменша площа променевих пошкоджень шкіри була в «червоній» та «синій» групах тварин. На 45-ту д після ЛО тільки в дослідних тварин «синьої» групи відзначалося повне загоєння пошкоджень шкіри, в інших ще можна було спостерігати залишки сухих струпів.

Цікаві дані дає аналіз швидкості загоєння опроміненої пошкодженої ділянки при застосуванні фотопрофілактичних засобів (рис. 1).

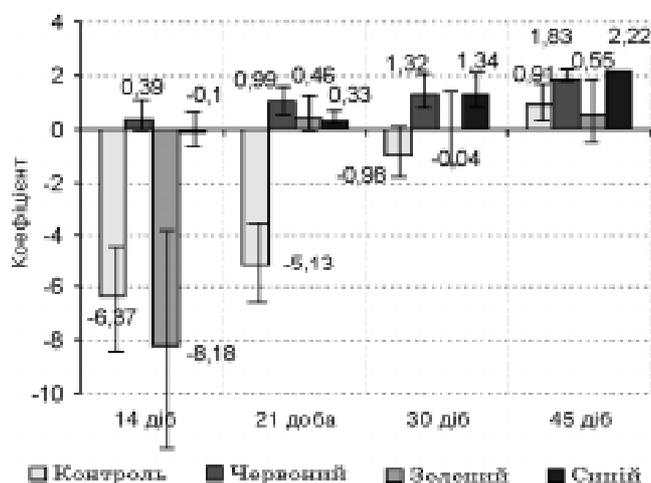


Рис. 1. Динаміка швидкості загоювання МПУ (% за добу) при локальному опроміненні в дозі 80,0 Гр та при застосуванні фотоматричної терапії різних хвиль оптичного діапазону

Fig. 1. The changes in the rate of LRL healing (% in a day) at local x-ray exposure at a dose of 80.0 Gy and at application of photomatrix therapy with waves of different range

Коефіцієнт загоювання МПУ в дослідних групах на 14-ту д дуже відрізнявся, в чому проявлялися особливості впливу матриць різного кольору. Так, дія червоного світла у цей термін

викликала прискорення загоювання МПУ — коефіцієнт К мав позитивне значення та вірогідно відрізнявся від нелікованого контролю. Зелене світло не справляло помітного ефекту на швидкість загоювання МПУ — коефіцієнт К у цій групі був навіть нижчим, ніж у контролі. Коефіцієнт загоювання МПУ в «синій» групі, хоч і не був позитивним, однак вірогідно відрізнявся від таких у контрольній та «зеленій» групах. На 21-шу д і далі коефіцієнти загоювання МПУ у щурів усіх дослідних груп мали позитивні значення (на відміну від контрольної групи). До 30-ї д динаміка загоювання МПУ зберігала таку ж саму спрямованість, при цьому значення коефіцієнта К для «червоної» та «синьої» груп підвищувалися, тоді, як у «зеленій» групі швидкість загоювання МПУ дещо знижувалася. Слід відзначити, що швидкість загоювання у контрольній групі у цей термін теж дещо підвищувалася. До 45-ї д значення коефіцієнта К для всіх досліджених груп ставали майже однаковими, тобто швидкість загоювання МПУ була приблизно рівною.

Таким чином, можна зазначити, що всі застосовані ділянки видимого світла справляли певний позитивний вплив на перебіг МПУ, але дія кожної мала свої особливості. Так, червоне світло зменшувало кількість променевих виразок, відсувало їх появу на більш пізні строки та прискорювало їх загоювання. Дія зеленого світла була менш вираженою — у тварин розвивалася доволі велика кількість променевих пошкоджень, при цьому швидкість їх загоювання була низькою. Дія синього світла повністю запобігала виникненню променевих виразок, а ті помірні променеві пошкодження шкіри, які роз-

вивалися, мали найбільшу швидкість загоювання серед дослідних груп.

Взагалі, порівняльний аналіз ефективності профілактичної дії трьох видів оптичного випромінювання ФТМС «Барва-Флекс» дозволяє зробити попередній висновок, що найбільш ефективною для профілактики місцевих променевих ушкоджень шкіри може бути дія синього світла.

Отримані результати дослідження свідчать на користь того, що оптичне випромінювання здатне як стимулювати загоєння променевих ушкоджень шкіри, так і запобігати їх розвитку, очевидно, за рахунок активації захисних механізмів шкіри та підлеглих тканин. Відомо, що одне з гострих уражень фібробластів включає руйнування мітохондрій, що супроводжується апоптозом та клітинним некрозом [2]. Припускається, що фотомодуляція пом'якшує пошкодження фібробластів саме шляхом підвищення мітохондріальних функцій [5, 6]. Лабораторні дані, отримані на культурі фібробластів, показують, що маркери позаклітинного сигналіngu, які активують викид цитокинів та, відповідно, запалення, знижуються під впливом фотомодуляції [7]. Також показано, що синтезом проколагену у культурі фібробластів можна керувати, а активність металопротеїназ матриксу (колагеназ) можна регулювати шляхом варіювання фізичних характеристик джерел світла [6–9]. Ці оптичні ефекти приводять не тільки до поліпшення загоювання ран шляхом стимулювання функцій фібробластів [10, 11], але також справляють і протизапальну дію [6]. Варто відзначити, що у відомих дослідженнях активації репаративних процесів в опроміненій шкірі досягали за допомогою спектральних ділянок червоного і навіть інфрачервоного оптичного випромінювання (890–660 нм) [6, 9, 14]. Основною мішенню дії цих спектральних ділянок є саме мітохондрії [14].

Отримані у даній роботі результати, хоча і підтверджують певну позитивну дію червоного світла на перебіг МПУ, однак демонструють, що у даному випадку більш ефективною була дія короткохвильової зони (синє світло). Безумовно, необхідне проведення більшої кількості експериментів для вирішення цього питання та розробки ефективних методів фото-

профілактики МПУ. Очевидно, оптимальна схема фотодії на опромінену шкіру повинна включати послідовне застосування декількох оптичних спектральних ділянок.

Висновки

1. Фотомодуляція за допомогою світлодіодів червоного, зеленого та синього кольорів позитивно впливала на розвиток місцевих променевих ушкоджень шкіри білих щурів, знижувала їх частість, тяжкість перебігу, прискорювала загоєння.

2. Усі застосовані ділянки оптичного спектра справляли певний позитивний вплив на перебіг МПУ, але дія кожної мала свої особливості. Порівняльний аналіз ефективності профілактичної дії трьох спектральних оптичних ділянок дозволяє зробити попередній висновок, що найбільш ефективною для профілактики місцевих променевих ушкоджень шкіри може бути дія синього світла.

Література

1. Меняев Ю.А., Деон А.Ф. Методика расчета и оптимизации параметров фотоматричной терапевтической аппаратуры // *Мед. физ.* — 2005. — № 2. — С. 58–69.
2. Меняев Ю.А., Петров Д.А. Перспективы светодиодной фотоматричной терапии / *Моск. гос. техн. ун-т им. Н.Э.Баумана // Труды научных сессий МИФИ. Научная сессия МИФИ-2005. Т. 5. Медицинская физика и техника, биофизика. Моделирование физических процессов в окружающей среде. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики:* Сайт Научной б-ки МИФИ. — [М], 2005. — Режим доступа: <http://www.library.mephi.ru/data/scientificsessions/2005/t5/0-1-31.doc>.
3. Коробов А.М., Коробов В.А., Лесная Т.А. Фототерапевтические аппараты Коробова серии «Барва». — Харьков, 2008. — 175 с.
4. Optoelectronic microdevices for combined phototherapy / Zharov V.P., Menyayev Y.A., Namayev V.A. et al. // *Proc. of SPIE*. — 2000. — 3912. — P. 11–22.
5. Жаров В.П., Калинин К.И., Стаханов М.Л. Фотоматричные аппараты для терапии пространственно-протяженных патологий // *Биомед. радиоэлектрон.* — 1999. — № 5. — С. 46–48.
6. Clinical Experience with Light-Emitting Diode (LED) Photomodulation / Weiss R.A., McDaniel D.H., Geronemus R.G. et al. // *Dermatol. Surgery*. — 2005. — Vol. 31. — P. 1199–1205.
7. Фотоматричная терапия при лечении постмастэктомического отека / Меняев Ю.А., Жаров В.П., Стаханов М.Л., Савин А.А. // *Мед. физ.* — 2006. — № 3. — С. 32–38.
8. Фотохроматерапия в лечении детей с врожденными пролиферирующими и осложненными гемангиомами кожи и мягких тканей / Сидоренко Ю.С., Иваненко Е.С., Максимова Н.А., Шейко Е.А. // *Вестник РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН.* — 2007. — Т. 18, № 2. — С. 54–59.
9. Treatment of radiation-induced dermatitis with light-emitting diode (LED) photomodulation / DeLand M.M.,

-
- Weiss R.A., McDaniel D.H., Geronemus R.G. // *Lasers in Surgery and Medicine*. – 2007. – Vol. 39. – P. 164–168.
10. Молекулярно-клеточные механизмы лазерной и антиоксидантной коррекции заживления ран / Толстых М.П., Толстых П.И., Ширинский В.Г. и др. // *Лазер. мед.* – 2006. – Т. 10, № 2. – С. 40–46.
 11. Заживление язв, вызванных локальным рентгеновским облучением крыс, с помощью фотодинамической терапии / Каплан М.А., Никитина Р.Г., Морозова Т.Г., Дрожжина В.В. // *Мед. радиол. и радиац. безопасн.* – 2004. – Т. 49, № 3. – С. 28–31.
 12. *European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes* / Council of Europe, Strasbourg, 1986. – 53 P.
 13. Біоетична експертиза доклінічних та інших наукових досліджень, що виконуються на тваринах: Метод. рекомендації / Резніков О.Г., Соловйов А.І., Добреля Н.В., Стефанов О.В. // *Вісн. фармакол. та фармац.* – 2006. – № 7. – С. 47–60.
 14. *Effect of low intensity monochromatic light therapy (890 nm) on a radiation-impaired, wound-healing model in murine skin* / Lowe A.S., Walker M.D., O'Byrne M. et al. // *Lasers in Surgery and Medicine*. – 1998. – Vol. 23. – P. 291–298.

Надходження до редакції 12.05.2009.

Прийнято 19.06.2009.

Адреса для листування:
Сімонова Лариса Іванівна,
ДУ Інститут медичної радіології ім. С.П. Григор'єва АМНУ,
вул. Пушкінська, 82, Харків, 61024, Україна