

## БІОЛОГІЧНА ДІЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АПАРАТІВ ФОТОТЕРАПІЇ ТИПУ "ГЕСКА" І "ДЮНА"

На основі аналітичного огляду науково-технічної літератури й опублікованих результатів клінічних випробувань, обґрунтовано механізми біологічної і терапевтичної дії світлодіодних апаратів фототерапії типу "Геска" і "Дюна". Наведена порівняльна характеристика енергетичних, спектральних і поляризаційних параметрів вказаних апаратів і геометрії просторового розподілу їх світлових потоків.

On the base of analytical review of scientific and technical literature and published results of clinical tests, the mechanisms of biological and therapeutic action of light-diodes phototherapy apparatus "Geska" and "Duna"-type is substantiated. The comparative characterization of energetic, spectrum and polarized parameters of indicated instruments and geometry of spatial distribution of light flux is produced.

На теперішній час проблеми медицини і біології все більше привертають увагу спеціалістів точних наук, особливо фізиків. Це пов'язано зі значними досягненнями у молекулярній біології, фотохімії і біофізиці. Крім того, у фізичних лабораторіях розроблені і продовжують створюватись нові прилади, інструменти і методи, які досить широко і ефективно можна застосовувати для дослідження біопроцесів різної складності, а також для лікування і профілактики організму людини. Досить згадати використання лазерної техніки як безпосередньо, так і опосередковано у діагностичній, лікувальній і профілактичній медичній практиці. Вказаним питанням присвячена серія наукових і прикладних робіт, результати яких опубліковані у численних монографіях, статтях і методичних посібниках [1-5]. При цьому, в останні роки все частіше піднімається питання, на скільки необхідним для одержання певного лікувального або профілактичного ефекту є використання суто когерентного (лазерного) випромінювання, чи можлива його заміна на некогерентне випромінювання в аналогічній спектральній області, яке простіше реалізується технічно. У 1994 р. Державне науково-виробниче підприємство ГНПП "НИИИП" (м. Томськ, Росія) разом із співробітниками Сибірського державного медичного університету почали розробку портативних світлодіодних апаратів для фототерапії, які після широкого випробування в ряді медичних лікувальних і наукових закладів Росії у 1996 р.

рекомендовані комітетом по новій медичній техніці Міністерства охорони здоров'я і медичної промисловості Російської Федерації до виробництва і застосування в медичній практиці. Вказані апарати реалізовані на основі використання сукупності світлодіодів двох типів, що працюють у спектральній області 660 і 870 нм і мають певне геометричне розміщення в залежності від їх типу. Основні параметри і результати досліджень характеристик даних апаратів розглянемо дещо пізніше, а зараз зупинимось на загальних моментах щодо механізму біологічної дії оптичного випромінювання, особливо на кров людини. Зауважимо, що кров у фотохімічному відношенні – дуже складна гетерогенна система, окремі компоненти якої проявляють різну чутливість до умов опромінення і спектрального складу випромінювання [5]. Міжкомпонентні взаємодії, реакції фотозбуджених і проміжних активних макромолекул, що утворюються у плазмі крові та на поверхні її клітин приводять до складних процесів, які можуть змінювати фізико-хімічні і біологічні властивості крові. Вивчити механізми вказаних процесів досить складно. Згідно із сучасними уявленнями, трансформація світла при різних фотобіологічних процесах включає послідовні стадії поглинання світла в біоструктурах, міграцію енергії, збудження фотоактивного комплексу, появу первинних фотопродуктів і розвиток викликаних ними фотобіологічних ефектів. При цьому всі фотобіологічні процеси можна

розділити на дві великі групи:

1. Фотоенергетичні процеси, коли відбувається безпосереднє накопичення енергії в кінцевих продуктах;
2. Фотодеструктивні, фоторегуляторні і фотоінформаційні процеси без накопичення енергії [5].

Якщо розглядати певну фотохімічну задачу, наприклад дію випромінювання на кров і її форменні елементи, необхідно оцінити спектри поглинання досліджуваної системи. При використанні з метою фототерапії оптичного випромінювання важливим являється його здатність з меншими втратами проникати через шкіру тіла людини. Згідно з результатами досліджень спектрів коефіцієнта пропускання  $\tau$  шкіри людини [6], найбільше його значення реалізується в області довжин хвиль від 0,6 до 1,4 мкм ( $\tau \sim 0,75$ ), що й зумовило вибір робочого спектрального діапазону світлодіодних апаратів "Геска" і "Дюна". Крім того, враховуючи, що спектри дії фотоакцепторів біологічного плану знаходяться в досить широкій області довжин хвиль червоного і ближнього інфрачервоного діапазонів, для одержання бажаного біологічного відгуку немає необхідності у використанні монохроматичного і когерентного випромінювання. При цьому чималу роль відіграє й низька вартість широкодіапазонних випромінювачів вказаного діапазону довжин хвиль. На основі результатів експериментального дослідження спектрів поглинання флюорисценції, хемоліумінесценції крові і її формених елементів, проведених у 1993 р. співробітниками НДІ фармакології ТНУ Російської Академії Медичних Наук, встановлено, що основними акцепторами фотонів є молекули порфіринового ряду: гемоглобін, СОД, каталаза, цитохром і т.п. Показано, що при поглинанні фотонів світла цими структурами киснево-активні частинки утворюються в результаті фотодисоційного, фотодинамічного і фотогальванічного ефектів. Всі ці процеси ведуть до активації вільно-радикального окиснення і, отже, до стимуляції антиоксидантних систем організму. Отримані дані порівняльного плану при використанні He-Ne-лазерного випромінювача і світлодіода з  $\lambda \sim 600-660$  нм подібної потужності свідчать на користь ідентичності процесів відгуку людського організму як по клінічних ефектах, так і за результатами дослідження динаміки функціонального стану формених елементів крові. Паралельне вивчення динаміки ферментативних систем (глутадіон-пероксидази, редуктази, транс-

ферази, каталази, СОД) і сумарних антиоксидантів також свідчило схожість реагування на лазерне і світлодіодне випромінювання.

В роботі [7] зазначено, що терапевтичний ефект червоного лазерного світла безпідставно пов'язувати з його когерентністю чи високою поляризацією внаслідок меншої швидкості (в  $10^{10}$  разів) збудження молекули відносно швидкості їх релаксації (швидкості втрати когерентності) у конденсованому середовищі за нормальною температурою, тобто подібний терапевтичний ефект може спостерігатись і при використанні нелазерних джерел випромінювання.

Отже, наведемо наступні загальні характеристики біологічної дії червоного й інфрачервоного випромінювань апаратів фототерапії "Геска" і "Дюна":

- На молекулярному рівні масмо взаємодію червоного випромінювання з фотосенсибілізуючою речовиною, наприклад каталазою, молекули якої здатні поглинати світло і передавати енергію іншим, не поглинаючим світло молекулам. Це у свою чергу стимулює активність ферментних систем АТФази, ацетилхолінстерази, ферменту дихання цитохромоксидази і т.п. При цьому підвищуються окисно-відновний потенціал і кисневий бюджет у тканинах, поліпшуються процеси тканинного дихання та прискорюється синтез нуклеїнових кислот.
- На тканинному рівні покращуються якісні показники крові і мікроциркуляції без негативних змін у нериферичному складі її формених елементів, прискорюються процеси регенерації периферичного нерва, кісткової сполучної тканини і слизової оболонки.

Із вказаними ефектами пов'язана протизапальна, знеболювальна і ранозагоюйна дія світлодіодних апаратів, при цьому масмо, для слабких доз опромінення, стимулюючу дію на фактори захисту організму людини і систему імунітету і фагоцитів.

При реалізації фототерапії за допомогою апаратів "Геска" і "Дюна" можливі різноманітні методичні прийоми, що передбачають контактну і дистанційну дію з використанням стабільної і лабільної методики. Якщо поверхня необхідної дії відносно велика, то її ділять на окремі ділянки (поля) і лікування проводять шляхом послідовного чергування опромінюючих полів.

Широко використовується методика дії на патологічну область або весь організм людини опроміненням рефлексогенних зон і біологічно активних точок. Для конкретних захворювань

відпрацьовані рекомендації опромінення певних точок, час одного сеансу і кількість необхідних сеансів. При цьому червоне випромінювання більш ефективно для лікування захворювань шкіри і після операційних ран, звичайних подряпин та синців, інфрачервоне - для зняття болю в суглобах, при лікуванні ревматизму.

**Характеристики світлодіодних апаратів**

На сьогоднішній день промислово реалізовані і випускаються апарати фототерапії вказаного типу – "Геска-1", "Геска-2" і "Дюна-Т", які певною мірою відрізняються між собою енергетичними і спектральними параметрами і геометрією розміщення світловипромінюючих елементів. Спектральні і енергетичні характеристики апаратів "Геска" і "Дюна" визначились за допомогою паспортизованого фотоприймача ФД-24К № 214 від вимірювача лазерної дозиметрії ИЛД-2М №360 з використанням монохроматора УМ-2 з відомими характеристиками пропускання по спектру. Результати проведених нами експериментальних досліджень спектрів випромінювання вказаних типів апаратів фототерапії зображені на рис.1,2.

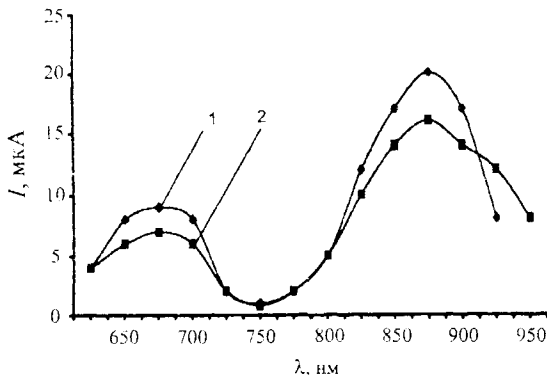


Рис.1. Спектральні характеристики апаратів фототерапії: 1 - Дюна-Т, 2 - Геска-2.

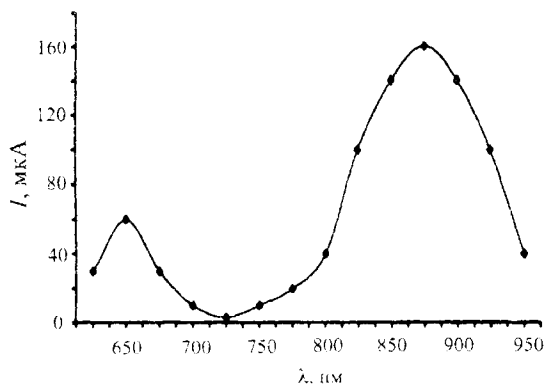


Рис.2. Спектральна характеристика апарату фототерапії Геска-1.

Таблиця 1. Експериментально визначені значення густини потужності випромінювання [мВт/см<sup>2</sup>], усереднені по площі поверхні вихідного вікна апаратів.

| λ, нм | Геска-1 | Геска-2 | Дюна-Т |
|-------|---------|---------|--------|
| 660   | 8,8     | 1,1     | 1,6    |
| 870   | 17,8    | 1,9     | 2,4    |

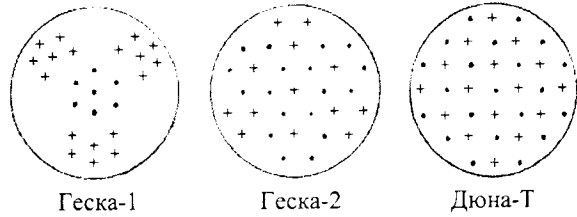


Рис.3. Схема геометричного розміщення світлодіодів червоного (•) та інфрачервоного (+) діапазонів випромінювання.

Таблиця 2. Кількість світлодіодів різної довжини хвилі, згідно з рис.3.

| λ, нм | Геска-1 | Геска-2 | Дюна-Т |
|-------|---------|---------|--------|
| 660   | 7       | 18      | 21     |
| 870   | 18      | 13      | 16     |

Просторовий розподіл потоку досліджуваних апаратів оцінювався за двома методиками, кожній з яких відповідала своя експериментальна установка, вимірювання проводились у відносних одиницях одного масштабу. За першою методикою оцінювалась величина світлового потоку, що проходив через діафрагму діаметром 1,5 мм при перпендикулярному її зміщенні відносно оптичної осі установки на різних віддаль від досліджуваного апарату. За другою методикою оцінювалась величина світлового потоку, що проходив через центрально розміщену ірисову діафрагму при зміні діаметру її отвору від 5 до 40 мм при різних віддаль від апарату.

Аналіз результатів проведених досліджень показує наявність незначної різниці у геометрії просторового розподілу світлових потоків для апаратів "Геска-2" і "Дюна-Т", вказаний розподіл для "Гески-1" суттєво відрізняється.

Можна відмітити наявність сфокусованого випромінювання у апарата "Геска-1" відносно "Дюна-Т" і "Гески-2", що особливо чітко видно за кривими рис.4, коли при зменшенні діаметру діафрагми до 5 мм, світлові потоки апаратів "Дюна-Т" і "Геска-2", які розміщені на віддалі 40 мм (криві 2, 3) від діафрагми, дуже малі, в той час як світловий потік від апарату "Геска-1" (крива 1) зменшився приблизно на 35%.

Експериментальні результати дослідження стану поляризації випромінювання для апаратів всіх типів, показали, що воно практично депо-

ляризоване (ступінь лінійної поляризації не перевищує 5%). Щодо електричних схем апаратів слід відмітити, що світлодіоди апаратів "Геска-1" і "Геска-2" з'єднані паралельно, а у "Дюна-Т" – послідовно.

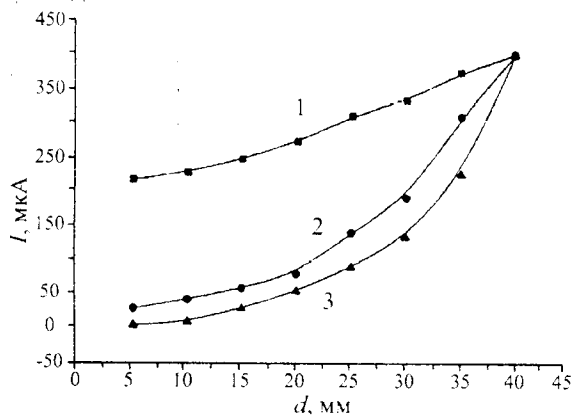


Рис.4. Світловий потік в залежності від діаметру діафрагми для Геска-1 (1), Дюна-Т (2) Геска-2 (3).

### Висновки

Отже, на основі аналізу науково-технічної літератури, опублікованих матеріалів випробування і проведених нами досліджень вказаних трьох типів світлодіодних апаратів фототерапії можна зробити наступні висновки:

1. Враховуючи, що спектр дії фотоакцепторів біологічного плану займає широку область довжин хвиль червоного і ближнього інфрачервоного діапазонів, для одержання бажаного біологічного відгуку можна використовувати некогерентне випромінювання.
2. Терапевтична дія червоного випромінювання на молекулярному рівні реалізується через взаємодію з фотосенсибілізуючою речовиною, молекули якої здатні поглинати світло і передавати її іншим молекулам. На тканинному рівні покращуються якісні показники крові і мікроциркуляції, прискорюються процеси регенерації.
3. Внаслідок відносно великої потужності і фокусування випромінювання апарата "Геска-1", його застосування за методикою рефлексогенних зон і біологічно активних точок має більш яскраво виражену терапевтичну дію.
4. Апарати "Геска-2" і "Дюна-Т" більш доцільно використовувати при лікуванні і профілактиці поверхневих патологій тіла людини.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Тучин В.В. Основы взаимодействия низкоинтенсивного излучения с биотканями: Дозиметрический и диагностический аспекты // Изв. РАН. Сер. Физика. - 59, №6 - С.120-143.
2. Молекулярные механизмы биологического действия оптического излучения / Под ред. А.Б. Рубина. - М.: Наука, 1996.
3. Приезжев А.В., Тучин В.В., Шубочкин Л.П. Лазерная диагностика в биологии и медицине. - М.: Наука, 1989.
4. Березовский В.А., Колотилев Н.Н. Биофизические характеристики тканей человека. - Киев, Наук. думка, 1990.
5. Ушенко О.Г., Пішак В.П., Ангельський О.В., Ермоленко С.Б. Лазери в біології і медицині. - Чернівці: Медакадемія, 2000.
6. Джагаров Б.М., Бондарев С.П., Гуринович Г.П. Вплив молекулярної структури на процеси безвипромінювальної дезактивації нижчих збуджених станів порфіринів. // Біофізика, 1977.
7. Оптико-физические средства дистанционной диагностики: Сборник научных трудов / Под ред. Н.А. Бузникова. - Ленинград: Известия, Вып.406. - 1989.