

## **Тема 17. Біологічна дія лазерного випромінювання. Лазерна безпека.**

### **Лекція 17.**

*Біологічна дія лазерного випромінювання. Застосування лазерного випромінювання у медицині. Основні правила технічної безпеки при роботі з лазерним випромінюванням. Заходи з лазерної безпеки.*

На протязі більш ніж сорока років спостерігався великий прогрес у розвитку лазерних технологій. Але з цим розвитком також з'явилося і багато проблем у лазерній безпеці.

### ***Класифікація лазерів по ступеню небезпеки лазерного випромінювання.***

Дія лазерного випромінювання на біологічні об'єкти залежить від густини потужності (енергії) випромінювання, часу опромінення, довжини хвилі, протяжності та періодичності імпульсів. З позиції лазерної безпеки (ЛБ) лазери класифікують по спроможності первинного або вторинного (відбитого) випромінювання викликати біологічно значні пошкодження очей та шкіри. По ступеню небезпеки лазерного випромінювання лазери розділяють на наступні класи: 0-безпечні, I - малонебезпечні, II - середньої небезпеки, III - небезпечні, IV - високої небезпеки.

До безпечних відносяться такі лазери, вихідне випромінювання яких не представляє небезпеки (безпечне) для біологічних тканин при гострій та хронічній дії. До цього класу відносяться також любі інші лазери, які сконструйовані так, що в процесі їх нормальної експлуатації виключається опромінення персоналу лазерним випромінюванням з рівнем, що перевищує встановлені значення для лазерів нульового класу.

До мало небезпечних відносяться такі лазери, експлуатація яких пов'язана з небезпекою дії прямого та дзеркально відбитого випромінювання тільки на очі.

До лазерів середньої небезпеки відносяться такі лазери, експлуатація яких обумовлює небезпеку дії на очі прямого, дзеркально або дифузно відбитого випромінювання, а також прямого та дзеркально відбитого випромінювання на шкіру.

До небезпечних відносяться такі лазери, експлуатація яких пов'язана з небезпекою дії на очі та шкіру прямого, дзеркального або дифузно відбитого випромінювання і робота яких супроводжується виникненням інших небезпечних та шкідливих виробничних факторів.

До лазерів високої небезпеки відносяться такі, в процесі експлуатації яких мають місце небезпечні та шкідливі фактори, що характерні для лазерів *I – III* класів, а також іонізуюче випромінювання з рівнем, що перевищує максимально допустимі границі.

Класифікація лазерів по ступеням небезпеки базується на знанні часових, енергетичних та геометричних (точкове або протяжне джерело) характеристик джерела випромінювання та гранично допустимих рівнів лазерного випромінювання.

При  $\lambda < 0.4$  мкм та  $\lambda > 1.4$  мкм лазерне випромінювання представляє небезпеку для роговиці ока та шкіри; при значеннях  $\lambda$  0.4 до 1.4 мкм лазерне випромінювання представляє основну небезпеку для сітчатки ока.

Небезпека прямого лазерного випромінювання незалежно від довжини хвилі випромінювання визначається поверхневою густиною потоку випромінювання  $W_p$ .

Пряме лазерне випромінювання буде безпечним при умові, що густина потужності (енергії) не перевищує гранично допустимі рівні  $E'_e$ , тобто  $W_p < E'_e$ .

При оцінці дифузно відбитого випромінювання слід враховувати геометричні розміри відбиваючої поверхні (точкове або протяжне джерело) та спектральний діапазон випромінювання.

Якщо джерело точкове, то незалежно від спектрального діапазону небезпека випромінювання визначається густиною потужності (енергії) на роговиці ока або шкірі. Співвідношення, які дають оцінку потенціальної небезпеки випромінювання, в цьому випадку мають вигляд

$$\text{для безпечного джерела - } W_p \leq \frac{4E'_e R^2}{d^2 \rho \cos \theta}; \quad (1)$$

$$\text{для небезпечного джерела - } W_p \leq \frac{4E'_e R^2}{d^2 \rho \cos \theta}$$

де  $R$  - відстань від відбиваючої поверхні до заданої точки,  $d$  - діаметр світлової плями на відбиваючій поверхні;  $\rho$  - альбеда,  $\theta$  - кут між напрямом, якій розглядається та нормаллю до відбиваючої поверхні.

Для випромінювання з довжиною хвилі 0.4-1.4 мкм потенціальна небезпека від протяжного джерела може бути оцінена по формулам:

для безпечного джерела -  $W_p \leq \pi L'_e$

для небезпечного джерела -  $W_p > \pi L'_e$ .

де  $L'_e$  - ГДР (гранично допустимий рівень) енергетичної яскравості протяжного джерела.

Енергетична яскравість дифузно випромінюючої поверхні може бути або виміряна яскраво вимірювачем, що має кут поля зору більше граничного кута  $\alpha_{\min}$ , без обмеження діаметра вхідної зіниці приладу, або обчислена по одній з наступних формул:

$$L_e = \frac{E_e \rho k_{cp}}{\pi}$$

$$L_e = \frac{E_n R^2}{S_u};$$

$$L_e = \frac{4E_n}{\pi \alpha^2}$$

де  $E_e$  енергетична освітленість поверхні;  $k_{cp}$  - коефіцієнт пропускання середовища від поверхні до спостерігача;  $E_n$  - енергетична освітленість на вхідній зіниці приладу (у точці вимірювання);  $R$  - відстань від поверхні до приладу;  $S_u$  - площа проекції джерела на площину, яка перпендикулярна лінії візирування;  $\alpha$  - видимий кутовий розмір поверхні, що випромінює.

При оцінці небезпеки опромінення ока дифузно відбитим випромінюванням з довжиною хвилі менше 0.4 мкм або більше 1.4 мкм, а також випромінюванням видимого або ближнього інфрачервоного спектру від точкових джерел замість поверхневої густини потоку випромінювання зручно розглядати безпосередньо потужність (енергію) лазерного випромінювання. В цьому випадку вираз (1) прийме вигляд

$$P \leq \frac{\pi E'_e R^2}{\rho \cos \theta}$$

$$P > \frac{\pi E'_e R^2}{\rho \cos \theta}$$

Потенціальна небезпека опромінення шкіри лазерним випромінюванням незалежно від геометричних розмірів джерела та довжини хвилі випромінювання оцінюється по формулах (1) та (2), в яких  $E'_e$  замінюється на ГДР опромінення шкіри  $E'_k$

Розглянута методика кількісної оцінки потенціальної небезпеки опромінення очей та шкіри лазерним випромінюванням дозволяє обґрунтувати розділ лазерів на чотири класи по степеням небезпеки випромінювання, що ними генерується.

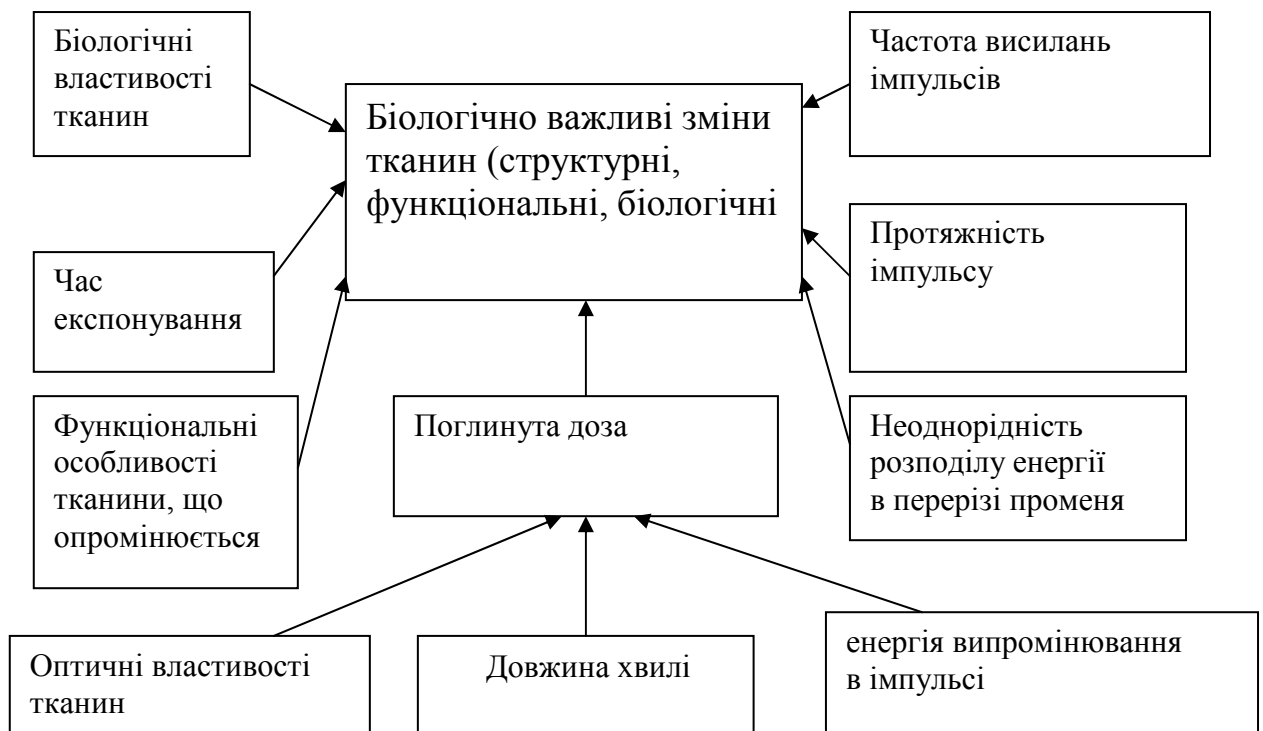
В таблиці I наведена схема класифікації лазерів по ступеням небезпеки випромінювання, що ними генерується та вирази для обчислення граничних значень енергетичних характеристик випромінювання, які визначають кожний клас небезпеки. В цих виразах значення коефіцієнта відбивання  $\rho$  та  $\cos \theta$  прийняті рівними одиниці, що відповідає найбільш небезпечними з позиції лазерної безпеки ситуаціям.

Таблиця I.

| Клас лазера | Довжина хвилі, мкм          | Енергетична характеристика випромінювання |   | Джерело випромінювання |
|-------------|-----------------------------|---|---|------------------------|
|             |                             | в пучці                                   | на поверхні мішені                                    |                        |
| 0           | $0.2 - 10^3$                | $W_p \leq E$                              | -   | -                      |
| I           | $0.2 - 0.4$<br>$1.4 - 10^3$ | $P \leq \pi E' R^2$                       | $W_p \leq \frac{4E'R^2}{d^2}$                         | -                      |
|             | 0.4-1.4                     | $P \leq \pi E' R^2$                       | $W_p \leq \frac{4E'R^2}{d}$                           | Точкове                |
|             |                             | -   | $W_p \leq \pi L'_e$                                   | Протяжне               |
| II          | 0.4-1.4                     | $\pi E' R^2 < P \leq \pi E'_k R^2$        | $\frac{4E'R^2}{d^2} < W_p \leq \frac{4E'_k R^2}{d^2}$ | Точкове                |
|             |                             | $P \leq \pi E'_k R^2$                     | $\pi L'_e < W_p \leq \frac{4E'_k R^2}{d^2}$           | Протяжне               |
| III         | $0.2 - 10^3$                | $P > \pi E'_k R^2$                        | $W_p > \frac{4E'_k R^2}{d^2}$                         | -                      |

Класифікація лазерів по фізико-технічних параметрах та по ступенях небезпеки лазерного випромінювання дозволяє регламентувати заходи по забезпеченню їх безпеки, які закладаються у проекти приладів, що створюються та враховуються при організації робіт по експлуатації таких приладів.

Основні фактори, які визначають біологічні зміни у тканинах, що викликані лазерним випромінюванням показані на **схемі 1**.



**Схема 1.** Фактори, які визначають біологічні зміни у тканинах, що викликані лазерним випромінюванням

### **Вплив лазерного випромінювання на очі.**

Людське око є прекрасним сенсором. Воно може детектувати фотони від приблизно 400 нм до 700 нм. Багато людей можуть спостерігати довжини хвиль поза 700 нм, деякі аж до 850 нм (**див. рис. 1**). Чутливість ока до світла різної довжини хвилі характеризується кривою видності. При цьому під абсолютною видністю розуміється відношення світлового потоку, яке оцінюється оком, до відповідної істинної, повній потужності променистої енергії. Видність представляє специфічну величину, яка дозволяє переходити від енергетичних величин до світлових. Крива видності має максимум при  $\lambda = 0.555$  мкм, який умовно приймається за одиницю. Відношення видності світла даної довжини хвилі до максимальної називають відносною видністю. Максимальна видність складає 683 лк/Вт. Поза 700 нм наше

око детектує менше ніж 1% наявних фотонів на таких довжинах хвиль і таким чином воно може лише дати слабе зображення. Психологічно ми оцінюємо цю слабку візуалізацію як слабе джерело або з малою потужністю, що може привести до небезпечної недооцінки небезпеки.

Оптична система ока (**рис. 2**) складається з очного яблука, окозсуваючих м'язів, вік, сльозового апарату. Очне яблуко – прозора студневидна речовина, яка покрита трьома оболонками. Зовнішня оболонка, яка складається з непрозорої для світлових променів з'єднувальної тканини, називається склерою. Передня її частина – роговиця – прозора для світлових променів. З зовнішньої сторони склера покрита прозорою слизистою плівкою - кон'юктивою що переходить і на задню поверхню віка, що повернена до ока. Передня частина судинної оболонки, що знаходиться під склерою, утворює райдужну оболонку. У центрі райдужної оболонки є отвір змінної величини (зіниця ока), що грає роль апертурної діафрагми. Зміна діаметру зіниці регулює постачання світлового потоку у очне яблуко та змінює глибину фокусування.

Поблизу до внутрішньої сторони райдужної оболонки розташований кришталік, який має форму двоопуклої лінзи. Між кришталіком та внутрішньою оболонкою очного яблука розташовано так зване скловидне тіло.

Внутрішня оболонка очного яблука складається з переплетення великої кількості дуже тонких нервових клітин, що грають роль приймача випромінювання. У світлочутливих елементах (палички та колбочки) відбувається фотохімічна реакція, в результаті якої світлова енергія викликає нервові збудження. Палиці використовуються для сприйняття зображень з малою яскравістю. Вони реагують на слабе світлове подразнення (максимум чутливості для випромінювання з  $\lambda = 0.51$  мкм) і не сприймають світла. Колбочки, навпаки використовуються для сприйняття зображень з великою яскравістю і мають максимум чутливості до випромінювання з довжиною хвилі 0.44; 0.54 та 0.59 мкм. Фотохімічна реакція відбувається за рахунок розкладу у палицях родопсина або зорового пурпуру, а у колбочках – родопсину.

Уся сітчатка є спроможною сприймати форму предметів, але це сприйняття не однаково на різних її ділянках. Сприйняття форми характерно головним чином для тієї частини сітківки, яка розташована дещо зміщеною від оптичної осі ока і зветься жовтою плямою. Для отримання точного та ясного зображення око фіксує його зображення переважно на жовту пляму. Центральний зір забезпечує можливість

розглядати тонкі деталі предметів, периферичний – можливість орієнтуватися у просторі.

### **Патологічні ефекти дії лазерного випромінювання на очі.**

Порівняно легка уразливість роговиці та кришталика ока при дії електромагнітних випромінювань самих різних довжин хвиль, а також спроможність оптичної системи ока збільшувати густину енергії (потужності) випромінювання видимого та ближнього інфрачервоного діапазону на очному дні на декілька порядків по відношенню до роговиці виділяє його у найбільш уразливий орган.

Взаємодіючи з елементами оптичної системи лазерне випромінювання може викликати їх пошкодження. Ступінь пошкодження ока головним чином залежить від таких фізичних параметрів, як час опромінення, густина потоку енергії, довжина хвилі та вид випромінювання (імпульсне або неперервне) а також індивідуальних особливостей ока. При розгляді дії лазерного випромінювання на орган зору необхідно окремо розбирати дію випромінювання з довжинами хвиль у інтервалі 0.4-1.4 мкм та довжинами хвиль поза цим інтервалом. Для електромагнітного випромінювання з довжинами хвиль коротше 0.4 мкм та довше 1.4 мкм оптичні середовища ока є непрозорими, і тому фокусуюча дія не має місця.

Дія ультрафіолетового випромінювання на орган зору в основному призводить до поразки роговиці (кератит). Найбільшу фотокератичну дію має випромінювання з довжиною хвилі 0.288 мкм. Випромінювання з довжиною хвилі коротше 0.32 мкм майже повністю поглинається у роговиці та водянистій волозі передньої камери ока, а з довжинами хвиль 0.32-0.39 мкм – у кришталику. За рахунок високого коефіцієнта поглинання у роговиці та водянистій волозі передньої камери навіть на довжині хвилі 0.32 мкм мінімальна величина енергії, що необхідна для виникнення небажаних хімічних реакцій у кришталику, у 2-3 рази більше, ніж відповідна енергія для роговиці. Тому помутніння кришталика (катаракта) під дією ультрафіолетового випромінювання практично ніколи не спостерігається. Поверхневі опіки роговиці лазерним випромінюванням лазерним випромінюванням з довжиною хвилі в межах ультрафіолетової області спектра усуваються в процесі самозагоєння.

Для лазерного випромінювання з довжиною хвилі 0.4-1.4 мкм критичним елементом органу зору є сітківка. Вона представляє собою функціонально найбільш значимий елемент ока, має високу чутливість до електромагнітних хвиль видимої області спектру та

характеризується великим коефіцієнтом поглинання електромагнітних хвиль видимої, інфрачервоної та ближньої ультрафіолетової областей.

Пошкодження ока може змінюватися від слабких опіків сітківки, які супроводжуються незначними або повністю відсутніми змінами зорової функції, до серйозних пошкоджень, що призводять до погіршення зору і навіть до повної його втрати.

Тривале опромінення сітківки у видимому діапазоні на рівнях не на багато більших порогу опіку, може викликати незворотні зміни у ній. Тривале опромінення ока в діапазоні близького інфрачервоного випромінювання може призвести до помутніння кристалика.

Пошкодження сітківки обов'язково супроводжується порушенням функції зору. Клітини сітківки, як і клітини центральної нервової системи, після пошкодження не відновлюються.

Пошкодження сітківки під дією лазерного випромінювання можна розділити на дві групи. До першої відносяться тимчасові порушення зорової функції ока без помітних змін очного дна. Прикладом такого пошкодження є осліплення від яскравості світлового спалаху. До другої відносяться пошкодження, які супроводжуються руйнуванням сітківки, що проявляється у вигляді термічного пошкодження опікового або „вибухового” характеру.

Осліплення від яскравості світлового спалаху є самим слабким проявом пошкоджуючої дії лазерного випромінювання. Вона носить незворотній характер і виражається у виникненні „сліпої плями” у полі зору. Результатом такого осліплення є повний розпад зорового пігменту в фоторецепторах сітківки під дією видимого світла великої яскравості. Осліплення настає при спостереженні джерела яскравого світла, яке утворює на роговиці густину випромінювання порядку  $150 \text{ Вт/см}^2$ . Відновлення зорового пігменту у фоторецепторах сітківки іноді затягується на декілька хвилин.

Дія на ока надпорогових інтенсивностей випромінювання викликає тепловий опік очного дна з незворотнім пошкодженням сітківки. Мінімальне пошкодження проявляється дуже дрібною, видимою у офтальмоскопі зміною сітківки, що являє собою невелику білу пляму із згорнувшихся білків з областю крововиливу у центрі. Пошкоджена ділянка оточена зоною набряку. Після декілька днів на місці пошкодження з'являється рубець із з'єднувальної тканини, що не здібний нести функцію зорового сприйняття.

Імпульсне лазерне випромінювання представляє більшу небезпеку, ніж неперервне, оскільки в цьому випадку пошкодження очного дна викликається комбінованою дією – термічною та механічною. Механічна дія випромінювання проявляється у вигляді



„вибуху” зерен меланіну, причому сила „вибуху” така, що зерна пігменту викидаються у скловидне тіло.

Опромінення менш інтенсивними рівнями може викликати початкові зміни, при яких відновлення зорової функції можливо, але вважається, що повторне опромінення при таких же, достатньо низьких енергетичних рівнях може привести до пошкоджень, які не відновлюються.

При дії лазерного випромінювання на сітківку особливо небезпечні пошкодження центральної ямки та жовтої плями – найбільш важливих функціональних областей ока. Пошкодження цих областей супроводжується майже повною втратою зору. Чим більше вісь між зоровою віссю і напрямком падіння лазерного променя, тим менше ступінь пошкодження функції зору.

Довільний рух очного яблука призводить до того, що окремі ділянки сітківки змінюють своє положення відносно падаючого випромінювання багато разів у секунду. Тому неперервне та імпульсно-періодичне випромінювання викликають пошкодження сітківки у області що більша ніж пляма сфокусованого на ній зображення, навіть в тому випадку, якщо під час опромінення пучок не відхиляється від прямої лінії бачення.

У скло видному тілі та водянистій волозі передньої камери затримується біля 5% енергії електромагнітного випромінювання видимої області спектра, що проходить крізь них.

Поглинання енергії випромінювання різними структурами ока зростає із збільшенням довжини хвилі випромінювання у ближній інфрачервоній області. Випромінювання з довжинами хвиль більше 1.4 мкм практично повністю поглинаються у скло видному тілі та водянистій волозі передньої камери. При помірних пошкодженнях ці середовища ока здібні відновлюватися.

Невеликі опіки райдужної оболонки можуть закінчитися само загоєнням і не викликають постійних порушень зору. Важкі опіки призводять до утворення рубцевої тканини, деформації райдужної оболонки з втратою гостроти зору. Ступінь пошкодження райдужної оболонки лазерним випромінюванням в значній мірі залежить від її кольору. Наприклад зелені та голубі очі характеризуються більшим пошкодженням, а карі – невеликим.

Лазерне випромінювання середньої інфрачервоної області спектру може спричинити сильне пошкодження роговиці, яке супроводжується денатурацією білків і повною втратою прозорості (утворенням більма). Головний механізм впливу інфрачервоного випромінювання – тепловий. Ступінь теплового пошкодження роговиці залежить від

поглинутої дози випромінювання, причому травмується не судинна оболонка, що розташована глибше, а тонкий епітеліальний шар. Якщо доза випромінювання велика, то може відбутися повне руйнування захисного епітелію з одночасним помутнінням райдужної оболонки із-за коагуляції білка та кристалика, розвивається катаракта. Кришталик пошкоджується біля обпечених ділянок райдужної оболонки.

Таким чином, лазерне випромінювання викликає пошкоджуючу дію на всі структури органу зору. Основний механізм дії – теплова дія.

### ***Дія лазерного випромінювання на шкіру, внутрішні органи та організм в цілому.***

*Біологічні ефекти дії лазерного випромінювання на шкіру.* Шкіра є першою лінією захисту організму від пошкодження лазерним випромінюванням. Шкіра представляє собою не просто механічний бар'єр, а важливий фізіологічно активний орган, великі пошкодження якого можуть призвести до загибелі організму.

Ступінь пошкодження шкіри залежить від первинно поглинутої енергії. Пошкодження шкіри, які викликані лазерним випромінюванням, можуть бути різними: від легкої еритеми (почервоніння) до поверхневого обвуглювання і, в кінцевому рахунку до утворення глибоких дефектів шкіри. Особливо значні пошкодження спостерігаються на пігментованих ділянках, наприклад на родимках, на місцях з сильним загаром, або шкірі, що має природний темний колір. При дії на світлу шкіру випромінювання проникає у підшкірні тканини і пошкоджує розташовані в них судини та нерви.

Пошкодження шкіри, що викликані дією лазерного випромінювання, близькі по характеру до термічних опіків і відрізняються від них тим, що пошкоджена ділянка має чітку границю, за якою знаходиться невелика область почервоніння. Пухирі, що утворюються під дією лазерного випромінювання, розташовуються у епідермісі, а не під ним. Поблизу пошкоджених ділянок спостерігаються вільні радикали та інші ознаки іонізації, що дозволяє припускати наявність окрім теплового інших механізмів пошкодження шкіри.

З підвищенням енергії випромінювання відбувається збільшення розмірів області пошкодження (ураження). Опромінення шкіри не сфокусованим випромінюванням з енергією біля 100 Дж призводить до втрати чутливості опроміненої ділянки на декілька днів (без видимих пошкоджень). Під впливом опромінення змінюється активність деяких ферментів, спостерігається утворення у шкірі вільних радикалів. Гістохімічні та люмінесцентно-мікроскопічні дослідження шкірі після

дії лазерного випромінювання дозволяють виявити певні порушення в вуглецевому та ліпідному (жировому) обмінах шкіри.

Тривала дія на шкіру ультрафіолетового випромінювання прискорюють її старіння і може бути передумовою для злоякісного переродження клітин. Опромінення великих ділянок шкіри викликає певні зсуви у обміні речовин, системі кровоутворення, внутрішніх органів. Порогові рівні енергії лазерного випромінювання, що діють на шкіру, значно вищі, ніж діючих на очі.

Мінімальне пошкодження шкіри утворюється при дії випромінювання з густиною енергії  $0.1-1 \text{ Дж/см}^2$  (в залежності від ступеня забарвлення шкіри та тривалості дії). Найбільшу біологічну дію дає лазерне випромінювання з довжинами хвиль  $0.28-0.32 \text{ мкм}$ . Воно найбільш глибоко проникає у шкіру і має виражену канцерогенну дію.

*Дія лазерного випромінювання на внутрішні органи.* Лазерне випромінювання (особливо далекої інфрачервоної області спектра) спроможньо проникати через тканини тіла і взаємодіяти з біологічними структурами на значній глибині, поражаючи внутрішні органи. Механізм утворення пошкоджень пояснюється тепловою дією сфокусованого випромінювання або впливом ударної хвилі.

Важливою особливістю лазерного випромінювання на внутрішні органи є чергування пошкоджених та непошкоджених шарів тканин. Згідно однієї з гіпотез це явище пов'язано з ефектом стоячих хвиль, які утворюються в результаті відбивання падаючого випромінювання від кісткових поверхонь або границь між різними тканинами. Пошкоджені ділянки шкіри співпадають з пучностями, де густина потоку енергії зростає у порівнянні з густиною потоку енергії падаючого випромінювання. Подібні пошкодження можуть не викликати болі безпосередньо після опромінення і не виявлятися при зовнішньому огляді.

Найбільшу небезпеку для внутрішніх органів представляє сфокусоване лазерне випромінювання. Але необхідно враховувати, що і не сфокусоване випромінювання може фокусуватися в глибині тканин тіла людини. Ступінь пошкодження внутрішніх органів у значній мірі визначається інтенсивністю потоку випромінювання та кольором забарвлення органів. Ступінь пошкодження внутрішніх органів також залежить від довжини хвилі падаючого випромінювання. Найбільшу небезпеку представляють випромінювання з довжинами хвиль, що близькі до спектру поглинання хімічних зв'язків органічних молекул, що входять у склад біологічних тканин.

*Дія лазерного випромінювання на організм в цілому.* В дослідях на тваринах та при в клінічних дослідженнях осіб, що працюють з лазерами і знаходяться під дією малих доз випромінювання показано, що має місце можливість несприятливої дії лазерного випромінювання і на організм в цілому.

У частини працюючих спостерігаються патологічні зміни, які проявляються у вигляді функціональних розладів у діяльності центральної нервової системи, що виражається у підвищеній збуджуваності нервових процесів, наявності зсувів у ствольних структурах мозку і т.п. Мають місце також явища вегетативно-судинної дисфункції, порушення серцево-судинної регуляції. Це проявляється в нестійкості артеріального тиску крові, підвищеній пітливості, схильності пульсу до сповільнення.

В операторів лазерних установок іноді спостерігають підвищену подразнювальність, стомлюємість очей та всього організму.

Велике значення в зменшенні несприйнятливої дії лазерного випромінювання на організм має строге виконання відповідних інструкцій, правил та рекомендацій по техніці безпеки при роботі з лазерами.

**Потрібно застосовувати засоби індивідуального захисту від лазерного випромінювання: спеціальні проти лазерні окуляри, щитки, маски, технологічні халати та рукавички.** Окрім цього потрібно проводити комплекс колективних методів захисту від лазерного випромінювання.

Багато дослідників отримали пошкодження, коли вони працювали з 751 нм або з 810 нм променем, який вони сприймали як слабкий. В більшості всіх цих випадків дослідник знав, що дійсна потужність променя була достатньо велика, щоб викликати травму (пошкодження), але цей факт маскувався тим, що промінь сприймався як слабкий (так званий „ефект айсберга” – на поверхні (вище води) лише від 12 до 20% всього айсбергу).

Кращий шлях уникнути цієї пастки – залишатися насторожі, ми всі знаємо, що не можна дивитися у лазерний промінь, але ми стаємо безпечними і забуваємо, що багатьма шляхами розсіяне світло може досягти наше око (сітчатку). Потрібно обов’язково носити захисні окуляри – без ніяких якщо, і та але. Обладнання лабораторій альтернативними сенсорами випромінювання, таким як ПЗЗ (CCD) камерами та ІЧ сенсорами може зменшити спокусу до закінчення

роботи. Треба мати на увазі, що не потрібно багато часу, щоби осліпнути.

Як можна проводити юстування системи, коли ви не бачите променя? Цей приспів було чути від користувачів лазерів ще на самому початку лазерної технології. Мета застосування захисних окулярів – це дозволити користувачу отримати візуалізацію променя із зниженням інтенсивності лазерного променя, що попадає у людське око, до дозволеного рівня. Європейська норма EN208 рекомендує наступні оптичні густини для захисних окулярів для відповідних потужностей лазерів (див. таблицю).

| Рекомендована оптична густина для захисних окулярів |                 |                                    |                            |
|---|-----------------|------------------------------------|----------------------------|
| Шкала   | Оптична густина | Максимум миттєвої потужності (Вт)* | Максимальна енергія (Дж)** |
| R1  | 1-2             | 0.01                               | $2 \times 10^{-6}$         |
| R2  | 2-3             | 0.1                                | $2 \times 10^{-5}$         |
| R3  | 3-4             | 1.0                                | $2 \times 10^{-4}$         |
| R4  | 4-5             | 10                                 | $2 \times 10^{-3}$         |
| R5  | 5-6             | 100                                | $2 \times 10^{-2}$         |
| * - лазери неперервної дії, ** імпульсні лазери     |                 |                                    |                            |

Один із шляхів забезпечення лазерної безпеки – це зниження вихідної потужності лазера при юстуванні за допомогою нейтрально-сірих фільтрів або зниженням току. Для перевірки юстування системи можна використовувати ірісову діафрагму або декілька та сенсор випромінювання (приймач). Якщо промінь зміститься з потрібного оптичного шляху, то зміна сигналу сенсора зразу просигналізує про це.

Однією з проблем, пов'язаних з лазерною безпекою, є проблема простору в лабораторії. Дуже часто лабораторії (в тому числі де використовуються лазери) нагадують склади з різноманітними речами. Їх розташування не обмежується простором біля оптичних столів, а часто вони розташовуються і безпосередньо і на самих оптичних столах. Запасні оптичні тримачі, інструменти, лінзи, дзеркала, різноманітні коробки та ін. – все це може знаходитися на оптичних столах і може забезпечувати відбиваючу поверхню при попаданні лазерного променя на них (наприклад, при їх переміщенні, коли лазерна

установка працює). Вирішення цієї проблеми – в утриманні чистоти робочого місця. Потрібно зробити зону зберігання на оптичному столі поза зони роботи, або створити другий поверх на оптичному столі. Треба забрати речі, якими рідко користуються, на полки для зберігання.

Оптичне волокно в цьому плані достатньо безпечне, оскільки воно містить оптичний промінь і може бути огорнуто покриттям для забезпечення додаткового захисту. Але пастка полягає в тому, що промінь у кінці волокна може попадати, наприклад, на мікро лінзу, котра дає колімований промінь, так, що небезпечна для ока зона може бути довжиною декілька метрів. На додаток, кількість енергії, що передається через оптичний фільтр постійно зростає, що підтверджується розвитком високо потужних діодних лазерів та зборок діодних лазерів. Більшість довжин хвиль, які використовують оптичні волокна є невидимі і кінець оптичного волокна є далеко від джерела, що робить важким визначити чи є волокно активним або неактивним коли воно роз'єднано. Можна бачити, що волоконні лазери, які зараз з'являються все більше на ринку, є в цьому плані потенційною небезпекою. Тому треба постійно виконувати елементарні правила безпеки, щоби уникнути пошкодження шкіри або очей.

Вплив лазерного випромінювання може бути і корисним. В медицину лазери увійшли в кінці 1960-х років. Сформувалися три напрямки лазерної медицини, різниця між якими визначалася потужністю світлового потоку лазера (і, як наслідок, видом його біологічної дії). Випромінювання низької потужності (0.5-3 мВт) переважно використовується у терапії крові, середньої потужності (0.2-2Вт) – в ендоскопії та фото динамічній терапії злоякісних пухлин, а високої (20-100 Вт) – у хірургії та косметології. Хірургічне застосування лазерів (так звані „лазерні скальпелі”) є основним на прямій дії високо інтенсивного випромінювання, яке дозволяє різати та „зварювати” ткани. Такий самий ефект лежить у основі застосування лазерів у косметології та естетичній медицині. Але у біологів найбільший інтерес викликає феномен терапевтичної дії лазерів. Відомо, що низкоінтенсивна лазерна дія призводить до таких позитивних ефектів, як підвищення тону, стійкість до стресів, покращення роботи нервової, імунної та ендокринної систем, усунуванню ішемічних процесів, загоювання хронічних язв та ін.

Лазерна терапія ефективна, але до сих пір не має чіткого уявлення про її біологічні механізми. Так відомо, що низкоінтенсивне лазерне випромінювання (НІЛВ) діє на проліферативний потенціал клітин

(тобто стимулює їх поділ та розвиток). Вважається, що причина цього – у локальних змінах температури, які можуть стимулювати процеси біосинтезу у тканинах. НІЛВ також призводить до поліпшення антиоксидантного захисту організму (тоді як випромінювання високої інтенсивності, навпаки, призводить до масовій появі активних форм кисню). Скоріше за все, якраз цими процесами і пояснюється терапевтична дія НІЛВ. Але, як вже згадувалося, існує і інший тип лазерної терапії – так звана фото динамічна терапія, що застосовується для боротьби із злоякісними утвореннями. Вона основана на використанні відкритих ще у 60-ті роки фотосенсибілізаторів – специфічних речовин, які здібні накопичуватися у клітинах (переважно у ракових). При лазерному опроміненні середньої потужності молекула фотосенсибілізатору поглинає світлову енергію, переходить у активну форму і викликає цілий ряд руйнівних процесів у раковій клітині. Так, пошкоджуються мітохондрії (внутріклітинні енергетичні структури), суттєво змінюється кисневий обмін, що призводить до появи великої кількості вільних радикалів. Нарешті сильне нагрівання води внутрі клітини викликає руйнування її мембранних структур (наприклад зовнішньої клітинної оболонки). Все це у кінцевому підсумку призводить до інтенсивної загибелі клітин пухлин. Деякі терапевтичні ефекти лазерів легше за все пояснюються наявністю в організмі систем енергетичних каналів та точок, яких використовують при акупунктурних діях.