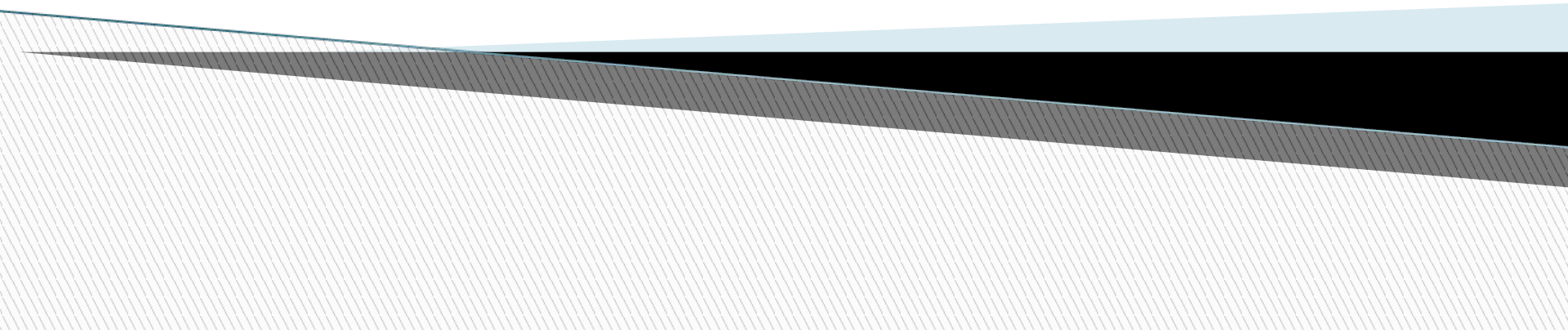


Оптичне й лазерне випромінювання

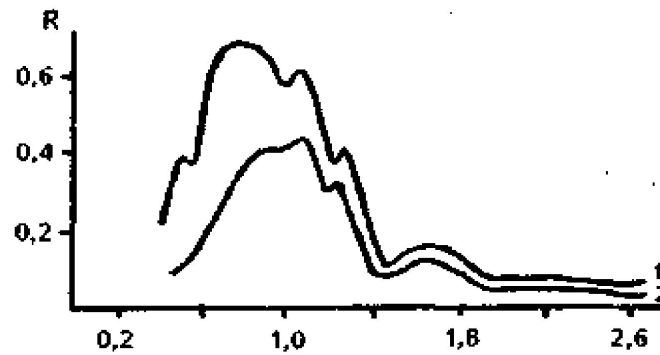


Оптичні властивості тканин організму

- При взаємодії з поверхнею тіла людини частина оптичного випромінювання відбивається, інша розсіюється у всі сторони, третя поглинається, а четверта проходить крізь різні шари біологічних тканин
- Найчастіше об'єктом взаємодії оптичного випромінювання з організмом є шкіра
- Коефіцієнт відображення слабопігментною шкірою досягає 43-55% і залежить від багатьох причин
- У чоловіків цей коефіцієнт на 5-7% нижче, ніж у жінок
- Пігментована шкіра відображає світло на 6-8% слабше
- Наростання кута падіння світла на поверхню шкіри збільшує коефіцієнт відбиття до 90%

Рис. 56. Зависимость коэффициента отражения светлой (1) и темной (2) кожи человека от длины волны оптического излучения.

По оси абсцисс: длина волны оптического излучения, λ , мкм; по оси ординат коэффициент отражения R , отн.ед.



λ 0,2 мкм 0,3 мкм 0,4 мкм 0,76 мкм 0,95 мкм 10 мкм 100 мкм 1 мм

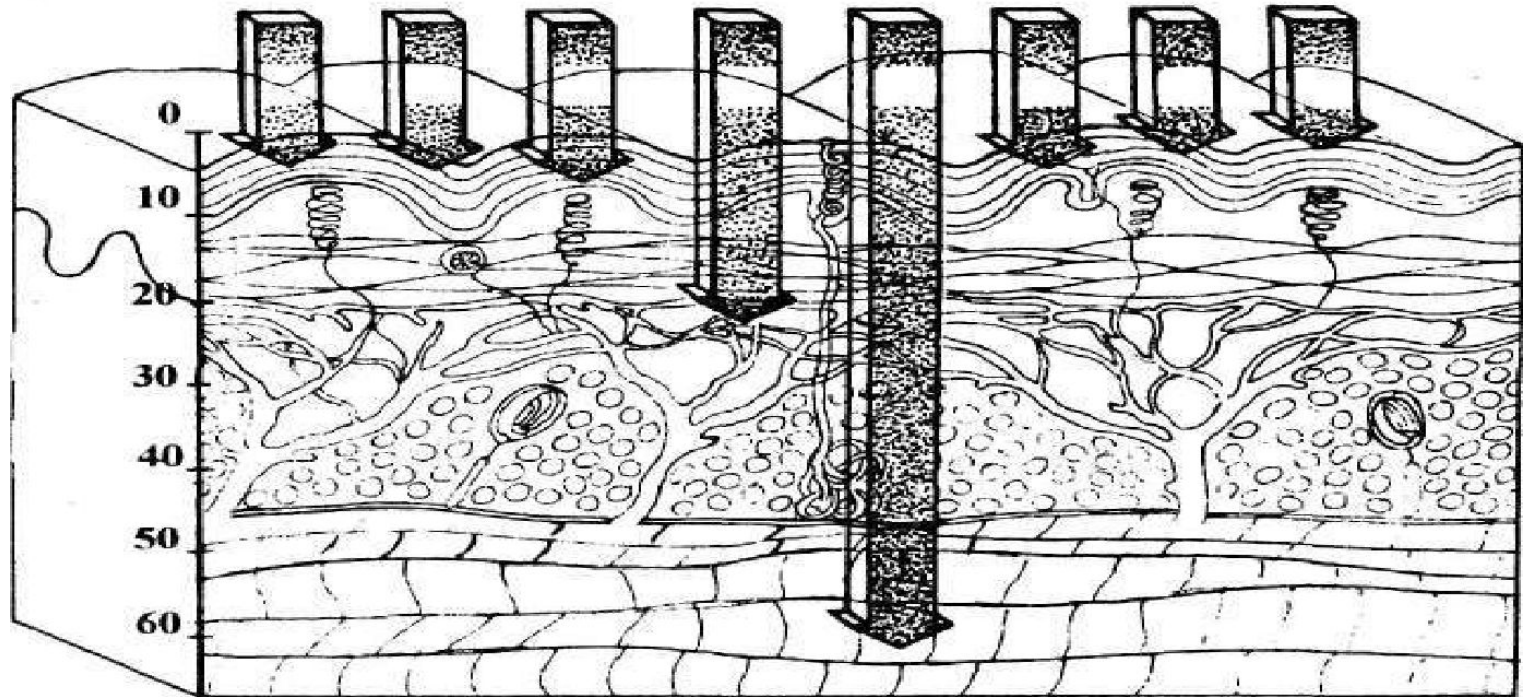


Рис. 57. Проникающая способность оптического излучения в различные слои кожи человека.

По оси абсцисс: длина волны оптического излучения, λ , мкм; по оси ординат — проникающая способность, мм.

Взаємодія оптичного випромінювання з біологічними тканинами

- Взаємодія електромагнітних хвиль оптичного діапазону з біологічними об'єктами проявляється як у хвильових, так і квантових ефектах
- При оцінці особливостей лікувальної дії оптичного випромінювання треба враховувати корпускулярні ефекти фотохімічний, фотоелектричний, фотолітичний та інші

поглинання енергії світлових квантів атомами і молекулами біологічних тканин

□ **Закон Гротгуса-Дрейпера:**

утворюються електроннозбудженні стани молекул з перенесенням енергії кванта (внутрішній фотоефект)

відбувається електролітична дисоціація й іонізація біологічних молекул

- На наступному етапі енергія оптичного випромінювання трансформується в тепло або утворюються первинні фотопродукти, які виступають пусковим механізмом фотобіологічних процесів
- Перший тип енергетичних перетворень притаманний більшою мірою інфрачервоному, а другий – ультрафіолетовому випромінюванню

| Ультрафіолетовое излучение | | | | Видимое излучение | | | | Инфракрасное излучение | | |
|----------------------------|------|-----|-----|-------------------|-----|-----|-----|------------------------|------|-------------------------------|
| 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | λ, нм |
| 19,9 | | 6,6 | | 4,0 | | 2,8 | | 2,2 | 2,0 | E, 10 ⁻¹⁹ Дж |
| C-H | C=O | C=C | | -C-C- | C=N | | | | | -H-H- |
| 17,8 | 10,1 | 7,0 | | 4,0 | 3,4 | | | | | 0,2 |
| | | | | | | | | | | E, 10 ⁻¹⁹ Дж |
| | | | | | | | | | | Тепловые колебания биомолекул |
| | | | | | | | | | | Ионизация биомолекул |
| | | | | | | | | | | Диссоциация биомолекул |
| | | | | | | | | | | Электронное возбуждение |

Фотохімічні реакції квантів оптичного випромінювання

- Ступінь прояву фотобіологічних ефектів в організмі залежить від інтенсивності оптичного випромінювання, яка обернено пропорційна квадрату відстані від джерела до опромінюваної поверхні

Лазерне випромінювання

- ▣ Лазеротерапія - лікувальне застосування оптичного випромінювання, джерелом якого є лазер, створений як підсилений потік світла спеціальному приладі
- ▣ LASER — Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation — посилення світла за допомогою вимушеного випромінювання

- При поглинанні тканинами організму лазерного випромінювання вже на відстані 250-300 мкм його когерентність і поляризація зникають
- В глиб тканин поширюється потік монохроматичного випромінювання
- Поглинаючи енергію кванта лазерного випромінювання, електрони нижніх орбіталей можуть переходити на більш високі енергетичні рівні, в результаті чого настає електронне збудження біомолекул
- Біомолекулярні комплекси набувають високу реакційну здатність, що дозволяє їм брати активну участь в різноманітних процесах клітинного метаболізму
- Повернення електронів на вихідні орбіталі супроводжується опроміненням в частині випадків квантів, збуджуючих сусідні біомолекули (феномен перевипромінювання)

- Міграція енергії лазерного збудження біомолекул може здійснюватися і шляхом безопроміненого обміну між електронно збудженими молекулами (фотодонорами) і молекулами, що знаходяться в основному стані (фотоакцепторами). Перенесення енергії в біомолекулярних комплексах здійснюється індуктивно-резонансним і обмінно-резонансним шляхами. Одночасне перенесення енергії фотонів і заряду можливий за допомогою зонного та екситонного механізмів

- Поглинання енергії фотонів викликає ослаблення або розриві слабких між - і внутрішньомолекулярних зв'язків (іон-дипольних, водневих і вандерваальсових). Збільшення енергії квантів може призводити до селективного фотолітичного розщеплення біомолекул і наростання змісту їх вільних форм, що володіють високою біологічною активністю

- Вибірче поглинання лазерного випромінювання біомолекулами обумовлено збігом довжини хвилі лазерного випромінювання (λ) і максимумів спектру поглинання (λ_{\max}) біомолекул. У зв'язку з цим максимальне поглинання червоного лазерного випромінювання ($\lambda_{\max} = 0,632$ мкм) здійснюється переважно молекулами ДНК ($\lambda_{\max} = 0,620$ мкм), цитохромоксидази ($\lambda_{\max} = 0,6$ мкм), цитохрому ($\lambda_{\max} = 0,632$ мкм), супероксиддисмутази ($\lambda_{\max} = 0,630$ мкм) і каталази ($\lambda_{\max} = 0,628$ мкм). Лазерне випромінювання ближнього інфрачервоного діапазону ($\lambda_{\max} = 0,8-1,2$ мкм) поглинається переважно молекулами нуклеїнових кислот ($\lambda_{\max} = 0,820$ мкм) і кисню

- Взаємодія лазерного випромінювання з біологічними молекулами реалізується найчастіше на клітинних мембранах, що призводить до зміни їх фізико-хімічних властивостей (поверхневого заряду, діелектричної проникності, в'язкості, рухливості макромолекулярних комплексів)

- Взаємодія лазерного випромінювання з біологічними молекулами реалізується найчастіше на клітинних мембранах, що призводить до зміни їх фізико-хімічних властивостей (поверхневого заряду, діелектричної проникності, в'язкості, рухливості макромолекулярних комплексів), а також їх основних функцій (механічної, бар'єрної і матричної). В результаті вибіркового поглинання енергії активуються системи мембранної організації біомолекул. До їх числа належать насамперед білок синтетичний апарат клітинного ядра, дихальний ланцюг, внутрішні мембрани мітохондрій, антиоксидантна система, комплекс мікросомальних гідроксилаз гепатоцитів, а також система вторинних месенжерів (циклічних нуклеотидів, фосфотидилінозитидів і іонів (Ca²⁺))
- Активація цих комплексів стимулює синтез білків і нуклеїнових кислот, гліколіз, ліполіз і окисне фосфорилування клітин
- Поєднана активація пластичних процесів і накопичення макроергів призводить до посилення споживання кисню і збільшення внутрішньоклітинного окислення органічних речовин, тобто посилює трофіку опромінюваних тканин

- Відбуваюча при виборчому поглинанні лазерного випромінювання активація фотобіологічних процесів викликає розширення судин мікроциркуляторного русла, нормалізує локальний кровообіг і призводить до дегідратації запального вогнища
- Активовані гуморальні фактори регуляції локального кровотоку індукують репаративні та регенеративні процеси в тканинах і підвищують фагоцитарну активність нейтрофілів
- В опромінених тканинах відбуваються фазові зміни локального кровотоку і збільшення транскапілярної проникності ендотелію судин мікроциркуляторного русла
- Активація гемолімфоперфузії опромінюваних тканин, поряд з гальмуванням перекисного окиснення ліпідів, сприяє розширенню інфільтративно-ексудативних процесів і може бути ефективно використана при купірованні асептичного запалення. Виникаючи, поряд з активацією катаболічних процесів, відновлення пригніченої патологічним процесом активності симпато-адреналової системи і глюкокортикоїдної функції надниркових залоз здатне істотно послабити інтенсивність бактеріального запалення шляхом прискорення його проліферативної стадії

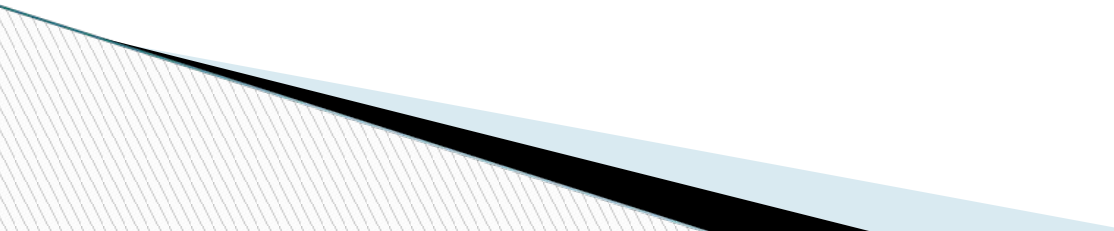
- Поряд з місцевими реакціями опромінених поверхневих тканин, модульовані лазерним випромінюванням афферентна імпульсація від шкірних і м'язових афферентів (по механізму аксон-рефлексу і шляхом сегментарно-метамерних зв'язків) формує рефлекторні реакції внутрішніх органів і оточуючих зон впливу тканин, а також викликає інші генералізовані реакції цілісного організму (активацію залоз внутрішньої секреції, гемопоезу, реферкативних процесів у нервовій, м'язовій і кістковій тканинах). Крім них, лазерне випромінювання посилює діяльність імунокомпетентних органів і систем і призводить до активації клітинного і гуморального імунітету
- Особливо слід зазначити, що такі реакції організму проявляються при щільності потоку енергії лазерного випромінювання, що не перевищує інтенсивності некогерентного випромінювання оптичного діапазону (10-100мВт). Запуск ансамблю численних фізико-хімічних і біохімічних реакцій організму відбувається за рахунок високої спрямованості випромінювання, що обумовлює його локальний вплив, а також низькочастотної імпульсної модуляції лазерного випромінювання

АЛОК

- При аутотрансфузії лазером опроміненої крові (АЛОК) відбувається активація ферментних систем еритроцитів, що призводить до збільшення кисневої ємності крові
- До лазерного випромінювання найбільш чутливі ядерний апарат клітин і внутрішньоклітинні мембранні системи, активація яких стимулює диференціацію і функціональну активність опромінених елементів крові
- Зниження швидкості агрегації тромбоцитів і змісту фібриногену поєднується тут з наростанням рівня вільного гепарину та фібринолітичної активності сироватки крові
- Зазначені процеси призводять до істотного зниження швидкості тромбоутворення

- Підвищення клінічної ефективності лазерної дії досягають його поєднанням із постійним магнітним полем (магнітолазерна терапія)
- При одночасному застосуванні лазерного випромінювання та постійного магнітного поля енергія квантів порушує слабкі електролітичні зв'язки між іонами і молекулами води, а магнітне поле сприяє цій дисоціації і одночасно перешкоджає рекомбінації іонів (фотомагнітоелектричний ефект Кікоїна-Носкова)
- Крім того, у постійному магнітному полі молекулярні диполі орієнтовані уздовж його силових ліній
- А оскільки вектор магнітної індукції спрямований перпендикулярно світлового потоку (магніт розташований по периметру опромінюваної ділянки), то основна маса диполів розташовується уздовж його

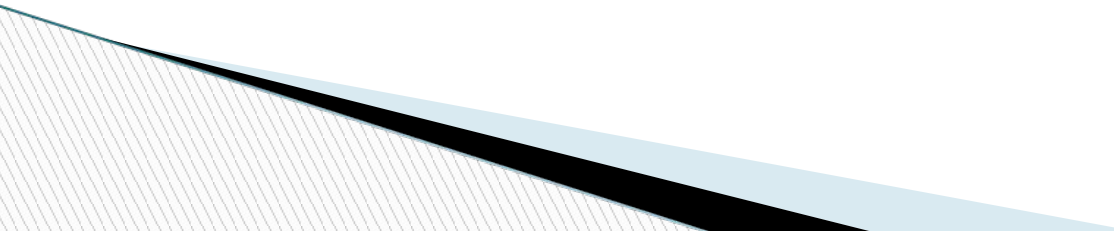
Лікувальні ефекти

- ▣ Метаболічний
 - ▣ Протизапальний
 - ▣ Анальгітичний
 - ▣ Імунномодилюючий
 - ▣ Десенсибілізуючий і бактерицидний
- 

Показання

- Захворювання і пошкодження опорно-рухового апарату (консолідовані переломи кісток, деформуючий остеоартроз, обмінні, ревматичні і неспецифічні інфекційні артрити, плече-лопатковий периартрит) і периферичної нервової системи (травми периферичних нервових стовбурів, невралгії та неврити, остеохондроз хребта з корінцевим синдромом), захворювання серцево-судинної системи (ішемічна хвороба серця, стенокардія напруги 1-11 ФК, судинні захворювання нижніх кінцівок), дихальної (бронхіт, пневмонія, бронхіальна астма), та системи травлення (виразкова хвороба, хронічний гастрит, коліт) систем, захворювання сечостатевої системи (аднексит, ерозія шийки матки, ендоміометрит, простатит), пошкодження і захворювання шкіри (тривало незаживаючі рани і трофічні виразки, опіки, пролежні, відмороження, герпес, сверблячі дерматози, фурункульоз, червоний плоский лишай), захворювання ЛОР-органів (тонзиліт, фарингіт, отит, ларингіт, синусит), тимус-залежні імунodefіцитні стани

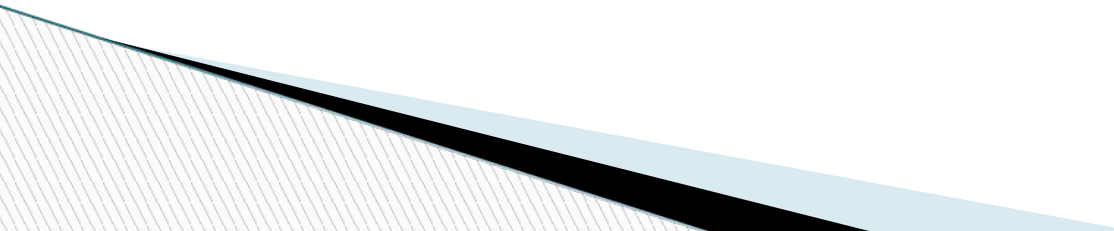
Протипоказання

- ▣ Доброякісні новоутворення в зонах опромінення
 - ▣ Сахарний діабет
 - ▣ Тиреотоксикоз
 - ▣ Індивідуальна непереносимість фактору
- 

Параметри

- Для лазеротерапії найчастіше використовують оптичне випромінювання червоного ($\lambda = 0,632$ мкм) та інфрачервоного ($\lambda = 0,8-1,2$ мкм) діапазонів, що генерується в безперервному або імпульсному режимах. Частота проходження імпульсів становить 10-5000 Гц. Вихідна потужність випромінювання досягає 60 мВт. Для лікувального впливу використовують переважно низькоінтенсивне випромінювання з густиною потоку енергії до 0,2 Вт см², тоді як нижня межа теплового ефекту становить 0,5 Вт. Щільність потоку енергії при дії лазерного випромінювання на паравертебральні зони, рухові і біологічно активні точки становить 5-10 Вт

Види лазерів

- ▣ Твердотільні
 - ▣ Напівпровідникові низько інтенсивні лазери
 - ▣ Вони працюють як у безперервному, так і в імпульсному режимах
- 

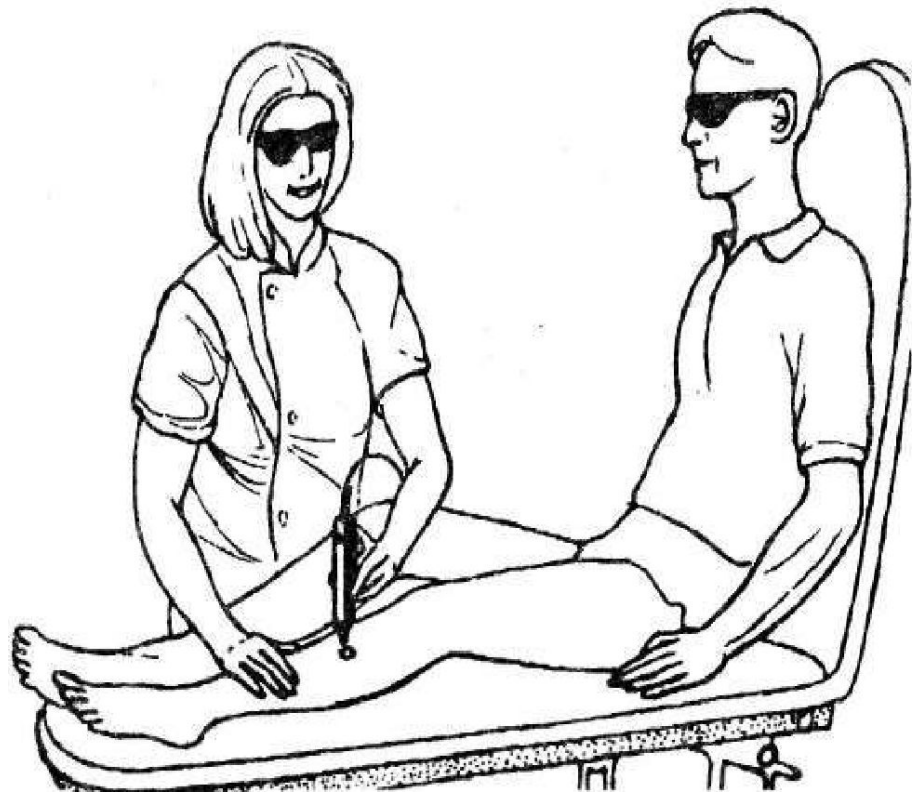
Приклади приладів

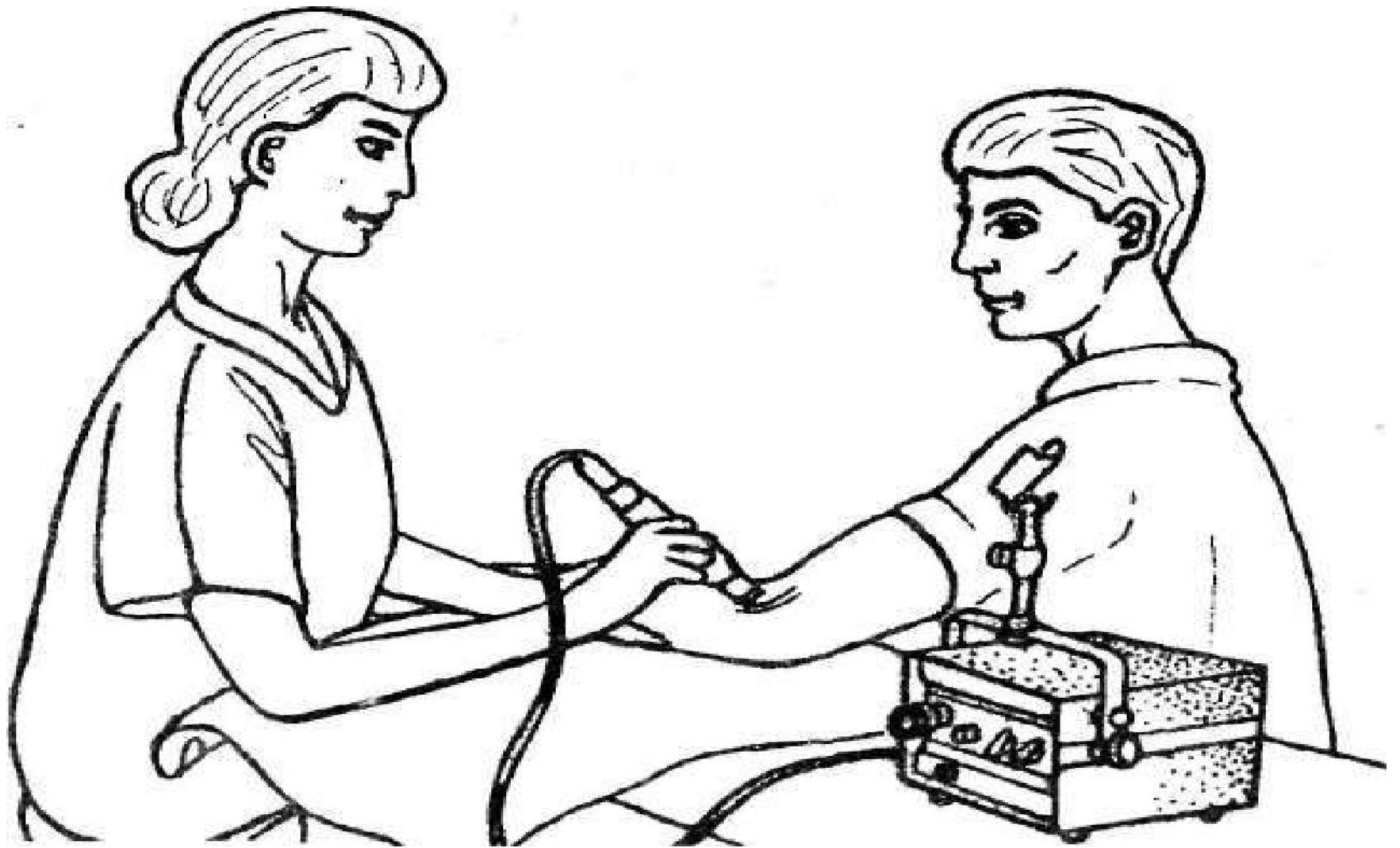
- гелійнеонових лазерів (випромінювання червоного кольору): установка фізіотерапевтична лазерна УФЛ-01 "Ягода", фізіотерапевтичний апарат лазерний малий ФАЛМ-1, лазерний апарат внутрішньовенного опромінення крові АЛОК-1
- З напівпровідникових лазерів інфрачервоного діапазону використовують комплект для лазерної терапії Дзвіночок
- апарати лазерні терапевтичні Візерунок і Візерунок-2К
- магніто-інфрачервоний лазерний терапевтичний апарат МІЛТА, апарати АЛТ-05, Фототрон
- Дзвіночок, Vita-01, Leve-Laser
- Останнім часом в клініці успішно застосовують апарати, що поєднують когерентне і некогерентне монохроматичне випромінювання, які виконані на основі лазерів і світлодіодів - світлооптичні прилади Спектр і магніто-оптичний лазерний апарат Ізель-Вікторія
- За кордоном використовують лазери Lem Scanner, Energy

Методика

- В клінічній практиці використовують вплив лазерним випромінюванням на вогнище ураження і розташовані поруч тканини, рефлексогенні і сегментарно-метамерні зони (розфокусованим променем), а також на місце проєкції ураженого органу, здатних корінців, рухових нервів і біологічно активних точок (лазеропунктура)

Лазерне опромінення
трофічної язви гомілки





Лазерне опромінення крові

Фотодинамічна терапія

- Фотодинамічна терапія - застосування лазерного випромінювання для лікування онкологічних хворих
- заснований на вибіркового поглинанні лазерного випромінювання пухлинними клітинами, які фотосенсибілізованні попередньо введеним порфіринового барвником

Механізм дії, показання та протипоказання

- ▣ Лікувальний ефект: фото деструктивний
- ▣ Показання: Рак молочної залози, рак і папіломатоз гортанні
- ▣ Протипоказання. Захворювання печінки і нирок з вираженим порушенням функцій, гіпертиреоз, фото еритема

Параметри

- Для фотодинамічної терапії використовують лазерне випромінювання червоного діапазону ($\lambda = 0,632-0,640$ мкм). Частота проходження імпульсів становить 10-50 Вихідна потужність випромінювання досягає 5 Вт. При цьому щільність потоку енергії лазерного випромінювання не перевищує нижньої межі теплового ефекту (0,5Вт

Методика

- ▣ У лікувальних цілях застосовують дистантне лазерне опромінення пухлини або області її шкірній проекції. При значній площі світловод довільно переміщують по полях з захопленням здорових ділянок шкіри на 3-5 см по периметру проекції пухлини (сканування лазерним променем). При внутрішньо порожнинному опроміненні світловоди розташовують контакно

Дозування

- ▣ Тривалість процедур фотодинамічної терапії визначається видом і стадією розвитку пухлинного процесу і не перевищує 30 хв. Процедури проводять щодня або через день; на курс призначають 10-20 процедур. При необхідності повторний курс лазеротерапії призначають через 3-4 міс

THE END