

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

Богомолів М.Ф., Шликов В.В.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ФІЗІОТЕРАПІЇ

Конспект лекцій до вивчення кредитного модуля дисципліни
«Біотермодинаміка та масоперенос-2. Методи та засоби фізіотерапії» для
студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія»

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою «Медична інженерія»
спеціальності 163 «Біомедична інженерія»*

*Ухвалено на засіданні
кафедри біомедичної інженерії ФБМІ
(протокол № 4 від «18» листопада 2020 р.)*

Київ
«КПІ ім. Ігоря Сікорського»
2020

Рецензент *Худецький І.Ю.*, д.м.н., проф., завідувач кафедри біобезпеки і здоров'я людини КПІ ім. Ігоря Сікорського,
Маринський Г.С., д.т.н., с.н.с., завідувач відділу зварювання та споріднених технологій в медицині та екології №017 Інституту електрозварювання ім.Є.О.Патона

Відповідальний редактор *Зубчук В.І.*, к.т.н., доц., доцент кафедри біомедичної інженерії КПІ ім. Ігоря Сікорського

Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського (протокол № 14 від 14.12.2020 р.) за поданням Вченої ради факультету біомедичної інженерії (протокол № 7 від 30.11.2020 р.)

Електронне мережне навчальне видання

Богомолов Микола Федорович, канд. техн. наук, доц.,
Шликов Владислав Валентинович, д-р техн. наук, доц.

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ФІЗІОТЕРАПІЇ

Конспект лекцій до вивчення кредитного модуля дисципліни «Біотермодинаміка та масоперенос-2. Методи та засоби фізіотерапії» для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія»

Методи та засоби фізіотерапії: Конспект лекцій з дисципліни для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія» [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 163 «Біомедична інженерія» / М.Ф. Богомолов, В.В. Шликов; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,4 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 75 с.

Анотація: Розглянуто теоретичні основи, принципи функціонування та основні оптичні та принципові схеми сучасних немедикаментозних методів лікування, які застосовуються у медичній фізіотерапії та реабілітації, що дозволить проектувати та експлуатувати високоефективні терапевтичні пристрої, виконувати їх ремонт та обслуговування, проводити наукові дослідження впливу різних зовнішніх факторів на організм людини. Практична частина спрямована на науково-аналітичний огляд, проектування, конструювання, дослідження, випробування, експлуатація і технічна експертиза, інженерно-інформаційний супровід фізіотерапевтичної техніки і технологій, комп'ютерне моделювання медичної інформації і сигналів для стимуляції патологічних органів та тканин людини.

© М.Ф. Богомолов, В.В. Шликов, 2020

ЗМІСТ

1. Особливості фізичної реабілітації. Основні лікувальні фізичні фактори	5
1.1. Основні штучні та природні лікувальні фізичні фактори	6
1.2. Проблеми реабілітації та якості життя	6
1.3. Принципи та етапи медичної реабілітації	6
2. Класифікація електронної апаратури для реабілітації	9
2.1. Класифікація низькочастотної електротерапевтичної апаратури (апаратури реабілітації)	11
2.2. Класифікація високочастотних фізіотерапевтичних апаратів	12
3. Багатофункціональний електрофізіологічний комплекс для першого етапу реабілітації	13
3.1. Особливості роботи багатофункціонального електрофізіологічного комплексу	14
3.2. Особливості характеристик блоку первинної (попередньої) обробки інформації	15
4. Пристрій для попереднього аналізу параметрів біологічно активних точок людини – « α -03»	16
5. Застосування лазерів для косметичної (ангіопластики) і патосудинної хірургічної ангіопластики	19
6. Електрофізіотерапевтична НЧ- апаратура	23
6.1. Фізичні обґрунтування і методики проведення гальванізації і медикаментозного електрофорезу	23
6.2. Апарати для місцевої гальванізації і лікарського електрофорезу	25
6.3. Апарати для реабілітації імпульсними та змінними струмами НЧ	26
6.4. Апарат для реабілітації захворювань м'язів і опорно-рухового апарату діадинамічними струмами «Тонус-1»	31
6.5. Апарат для реабілітації модульованими синусоїдальними струмами «Ампліпульс-4»	32
6.6. Апарат для електросну «Електросон-4Т»	34
6.7. Електрокардіостимулятори	34
7. Апаратура для фізіотерапії НЧ- магнітним полем	37
7.1. Фізичні обґрунтування і методика проведення процедур	37
7.2. Апарат для НЧ магнітотерапії «Полус-1»	38

8.	Апарати для фізіотерапії постійним електричним полем та аероіонами.....	39
8.1.	Фізичні обґрунтування і методика проведення процедур.....	39
8.2.	Апарати для франклінізації і аероіонної реабілітації	41
8.3.	Апарати для фізіотерапії електроаерозолями.....	42
8.4.	Апарати для електроаерозоль фізіотерапії	45
9.	ВЧ- апаратура для фізіотерапії	46
9.1.	Фізичне обґрунтування і методики проведення процедур ВЧ- реабілітації 46	
9.2.	Метод діатермії.....	49
9.3.	Електрохірургія при фізіотерапії захворювань шкіри.....	49
9.4.	Дарсонвалізація і фізіотерапія струмом надтональної частоти.....	50
9.5.	Індуктотермія	51
9.6.	Метод УВЧ -фізіотерапії (КВЧ).....	52
9.7.	Імпульсна УВЧ -фізіотерапія	53
9.8.	Дециметрова (ДМХ) і сантиметрова (СМХ) фізіотерапія.....	54
9.9.	Апарати для електрохірургії.....	56
9.10.	Апарати для дарсонвалізації і фізіотерапії струмами надтональної частоти.....	56
9.11.	Апарат для індуктотермії «ИКВ-4»	58
9.12.	Апарати для УВЧ -фізіотерапії	58
10.	Ультразвукова (УЗ) апаратура для фізіотерапії.....	64
10.1.	Фізичне обґрунтування та методи проведення процедур УЗ-фізіотерапії 64	
10.2.	Апарати для УЗ -фізіотерапії.....	67
11.	Фізіотерапія за допомогою оптичного випромінювання (ІЧ, видимого, УФ діапазону)	70
11.1.	Інфрачервоне світло	71
11.2.	Видиме світло	72
11.3.	Ультрафіолетове світло.....	72
12.	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	73

1. Особливості фізичної реабілітації. Основні лікувальні фізичні фактори

Реабілітація (з лат. *habilitas* – первинний стан, *re* – повернення) – повернення до первинного стану людини, комплекс заходів для відтворення здоров'я пацієнтів після хвороби чи отриманої травми і ці заходи повинні повертати людину до громадської і професійної діяльності.

Немає суттєвої різниці між лікувальною і апаратурою реабілітації. Заходи реабілітації необхідно починати під час лікування як тільки дозволяє стан хворого.

Фізіотерапія – це означає лікування силами природи за допомогою природних фізичних факторів, ці фактори отримують штучно за допомогою спеціальної апаратури.

Лікувальні фізичні фактори є звичайними подразниками для організму. Вони викликають м'які компенсаторно-приспосувальні реакції, бо вони є елементами зовнішнього середовища.

Переваги і дії цих факторів:

1. Не токсичність
2. Немає шкідливого впливу на органи людини при лікуванні
3. Немає алергічних проявів

Недоліки застосування: для людей похилого віку можливе підвищення тиску.

Під час лікувальних процедур організм пристосовується до дії фізичних факторів, зміни реакції організму на рівні рефлексів:

1. Фізичні зміни
2. Фізико-хімічні зміни
3. Біологічні

Під час фізичних змін (1 етап дії) енергія діючого фактору передається організму тканинам і клітинам з оточуючого середовища. Ця енергія поглинається і викликає зміни на клітинному рівні і в оточуючому середовищі.

Під впливом цих змін в організмі відбуваються такі процеси:

1. Тепловідтворення або нагрівання тканин
2. Зміна концентрації та стану іонів в клітині
3. Відтворюються вільні форми речовин
4. Відбувається генерація вільних радикалів
5. Зміна просторової структури (конформація) білків і біополімерів
6. Зміна фізико-хімічних властивостей води

На 2 етапі відбуваються фізико-хімічні зміни в клітинах і тканинах.

На 3 етапі відбувається сукупність безпосередніх і рефлекторних змін в органах внаслідок поглинання енергії біологічними системами організму, а лікувальний ефект дії фізичних факторів формується за участю місцевих, рефлекторно-сегментарних та загальних реакцій організму.

1.1. Основні штучні та природні лікувальні фізичні фактори

1. Електричний струм низької частоти (гальванічний струм, електрофорез, імпульсні струми постійної і змінної напруги)
2. Електричний струм високої частоти (дарсонвізація, діатермія)
3. Електричне та магнітне поле (постійне та змінне електричне поле, постійне та змінне магнітне поле, поля ВЧ, електромагнітні поля УВЧ та НВЧ, КВЧ)
4. Світло (ІЧ, видиме, УФ, когерентне, монохроматичне лазерне випромінювання)
5. Механічні коливання (інфразвукова вібрація і ультразвук)
6. Штучне повітряне середовище (аероіони, гідроаероіони, аерозолі, електроаерозолі)
7. Змінний повітряний тиск (барокамери)
8. Радіоактивні фактори (радонова вода і ванни, альфа-аплікатори)
9. Водолікувальні фактори (СПА процедури, мінеральні води, гідротерапія, душ шарко)
10. Теплолікувальні фактори (грязі, торф, парафін, озокерит, скипидар, сауна і кріотерапія)

1.2. Проблеми реабілітації та якості життя

Реабілітація завершує етап загального лікувального процесу, на якому оцінюється ефективність методик лікування і відтворюються функції організму людини, а також її соціальні зв'язки.

Метою реабілітації є відтворення психічного, психологічного і фізичного стану хворої людини, а також інвалідів та людей похилого віку. Якщо ці критерії не виконуються, тоді загальна смертність в країні, смертність за окремими хворобами різко зменшує середню тривалість і якість життя в країні.

Якість життя — фізичне здоров'я людини, психологічний статус, рівень незалежності в зовнішньому середовищі. Таким чином, ефективність лікування пов'язана з середньою якістю життя в країні. Головна мета реабілітації — підвищити якість життя людей.

1.3. Принципи та етапи медичної реабілітації

Процес медичної реабілітації складається з таких основних етапів:

1. Превентивний (доклінічний або латентний період)

2. Стаціонарний (клінічний і розпал хвороби)
3. Поліклінічний (клінічна стадія неповної клінічної ремісії)
4. Санітарно-курортний період (після клінічний)
5. Етап метаболічної реабілітації (повна клінічна ремісія)

I. Превентивний етап.

При лікуванні хвороби виділяють два періоди захворювання.

Перший – доклінічний (початок складних комплексних змін, руйнування компенсаторних реакцій на клітинному і субклітинному рівнях, порушується метаболізм, дисбаланс ланок імунітету та репаративних процесів). Перші клінічні прояви хвороби завжди починаються після структурних змін. Термін до 2-ох тижнів.

Другий – післяклінічний або безсистемний період. Характеризується клінічним одужанням на фоні збереження змін функціональних біоструктур на клітинному та субклітинному рівнях. Ці зміни з високою вірогідністю обумовлюють рецидив захворювання, ускладнення хвороби, тому хворі потребують динамічного контролю спостереження і лікування переважно природними факторами.

Таким чином мета превентивного етапу це попередження розвитку клінічних проявів хвороби за допомогою корекції метаболічних порушень організму.

Всі заходи на цьому етапі проводять по двох напрямках:

- 1) Виявлення та усунення метаболічних і імунних порушень
- 2) Боротьба з факторами ризику, які в значному провокують прогресування хвороби та розвиток клінічних проявів хвороби.

Превентивний етап реабілітації складається:

- I. Боротьба з факторами ризику (встановлення критеріїв ризикометрії, дія навколишнього середовища, харчові токсини, промислові фактори впливу, ендемічні джерела інфекції, пропаганда і реалізація здорового способу життя)
- II. Коригування виявлених метаболічних порушень (дієткорекція, внутрішнє застосування мінеральної води, використання пектинів, гепатопротекторів, байнео лікування, кліматотерапія і ЛФК)
- III. Коригування дисбалансу імунної системи (використання фізіологічної корекції за допомогою лікувальної апаратури, імуномодулятори, кліматозагартування, анаболічні заходи і байнео терапія)

II. Стаціонарний етап

Основні заходи на цьому етапі вирішують завдання:

Врятувати життя людини з застосуванням заходів по забезпеченню мінімальної за об'ємом загибелі біотканин під впливом патогенного агенту, попередження ускладнень захворювань і забезпечення оптимального руху репаративних процесів.

Цей етап складається:

1. Етилотромна терапія (бактеріальна терапія, специфічні сироватки (гамаглобулін, інтерферогамаглобулін) і коригування мікроелементів (цинк, калій, магній, кальцій))
2. Патогенетична терапія (дезінтоксикація, відтворення об'єму крові, що циркулює в організмі, нормалізація мікроциркуляції організму чи окремого органу, коригування порушень водно-сольового балансу, антиоксидантна і антигіпоксидантна стимул регенерація та репарація)
3. Корекція та компенсація метаболічних порушень (адаптогени, анаболіки, вітаміни, гепатопротектори, лікувальна фізкультура)
4. Корекція та компенсація імунних порушень (імунокорекція за допомогою лікувальної апаратури, медикаментозна корекція імунної системи)

III. Поліклінічний етап

Головна мета – забезпечення завершення патологічних процесів. На цьому етапі продовжуються лікувальні заходи проти проявів інтоксикації, порушень мікроциркуляції і відтворення функціональної активності систем організму.

Разом з лікувальними заходами велику роль відіграє цілеспрямована фізкультура в режимі наростаючої інтенсивності.

Поліклінічний етап медичної реабілітації складається:

1. Патогенетична та саногенетична терапія (відтворення функціональної активності організму та органів, детоксикація, антиоксидантна терапія, відтворення мікроциркуляції, стимуляція регенерації та репарації)
2. Корекція і компенсація метаболічних порушень (дієт корекція, вітамінотерапія, анаболічні заходи і адаптогени)
3. Імунокорекція (імунокорекція лікувальними апаратами та ліками, кліматотерапія, кліматозагартування)

IV. Санітарно-курортний (завершує стадію неповної клінічної ремісії).

Мета: спеціальні заходи для профілактики рецидивів захворювання та їх прогресування. Цей етап обов'язково необхідно проводити після тяжких захворювань і складних операцій.

Санітарно-курортний етап реабілітації складається:

- 1) Саногенетична та патогенетична терапія (нормалізація мікроциркуляції крові та лімфи, нормалізація оксидно-відновних процесів, збільшення кардіораспіраторних резервів печінки, кишковика і нирок)
- 2) Корекція і компенсація метаболічних порушень (дієт корекція, внутрішній прийом мінеральної води)
- 3) Корекція імунних порушень (кліматотерапія, бальнеостеоретерапія, водне лікування імунокорекція за допомогою електронних апаратів та ліків)

V. Метаболічний етап

Мета – створення умов для нормалізації структурно-метаболічних порушень (яке мали місце на доклінічній стадії і збереглися після завершення клінічної стадії хвороби)

Етап метаболічної реабілітації складається:

- 1) Корекція метаболічних порушень (дієткорекція, курсові прийоми пектинів, мінеральної води, біододатки, адаптогенів, антиоксидантів і гепатопротекторів)
- 2) Коригування імунних порушень (кліматозагартування, ЛФК, фітотерапія, імунокорекція ліками та електронними апаратами)
- 3) Підвищення біоенергетичних резервів (адаптогени, кліматозагартування, ЛФК, гідротерапія)

Такий розподіл етапів реабілітації дозволяє сформувати групи ризику на різні захворювання і розробити профілактичні програми на державному рівні (ВІЧ/СНІД, моніторинг кров'яного тиску, вміст цукру в крові).

Заходи на етапі метаболічної ремісії дозволяють суттєво зменшити число рецидивів, попередити та запобігти прогресуванню і хронізації патологічних процесів.

Використання в медичній практиці етапів превентивної та метаболічної ремісії дозволить зменшити кількість захворювань в державі і, головне, суттєво підвищити рівень здоров'я населення.

2. Класифікація електронної апаратури для реабілітації

Медичне обладнання – допоміжні пристрої для обслуговування пацієнта і забезпечення безперервного медичного технологічного процесу (багатофункціональне медичне ліжко, апаратура штучного дихання, крові).

Медичні інструменти – пристрої, що діють на пацієнта сумісно з рукою лікаря і є її продовженням (лазерні та плазмові скальпелі, інструменти для лапероскопічних операцій).

Медична апаратура – забезпечує самостійний автоматизований процес взаємодії з пацієнтом. Це найбільш розвинена і складна частина медичної техніки.

Повна класифікація медичної техніки представлена на рис.1.

Ця апаратура поділяється за видом енергії, що використовується:

- ✓ електромедична апаратура,
- ✓ механічна медична апаратура.

Апаратура, яка використовує механічну енергію поділяється за видом робочого тіла:

1. Енергія твердого тіла – механічна енергія (апаратура для витяжки кісток та механотерапія)
2. Енергія рідини (гідравлічні) – водолікувальна апаратура (душ шарко, циркулярний душ, джакузі)
3. Енергія газу – апарати для реабілітації захворювань легень (інгалятор Флурова, штучна вентиляція легень без світла)

При роботі медичної апаратури встановлюють напрям руху енергії: від апаратури до пацієнта чи навпаки. Перші апарати діють на пацієнта, а другі сприймають енергію і сигнали від пацієнта.

Терапевтичні апарати діють на пацієнта, змінюють хід патологічних процесів. Різновид таких апаратів це хірургічні апарати, які відтворюють радикальні зміни в структурі тканин і органів.

Діагностичні прилади використовуються для дослідження патологій організму, відхилення основних показників від норми.

Приймаючі діагностичні прилади реєструють інформацію про різні процеси в організмі людини за допомогою сигналів і полів, які генеруються організмом.

А діючі діагностичні прилади отримують інформацію про реакцію організму людини на визначену зовнішню дію (наприклад, електростимулятори), а також за збуренням потоку енергії яке вноситься організмом людини (УЗ діагностика, рентгенівська, МРТ, тощо).

Повна класифікація медичної техніки представлена на рис.1.

Діючі апарати також відрізняються за видом енергії, яка діє на організм людини:

1. Апарати що діють електричною енергією
2. Апарати що діють механічною енергією

Апарати що діють механічною енергією поділяються за агрегатним станом робочого тіла:

- 1) Електромедичні механічні апарати і прилади – це ультразвукові терапевтичні апарати, аудіометри, вібромасажери.
- 2) Електромедичні гідравлічні апарати і прилади – аерозольні апарати з відцентровим та ультразвуковим розпиленням рідини.

3) Електромедичні газові апарати і прилади – апарати ля штучної вентиляції легенів з електроприводом.

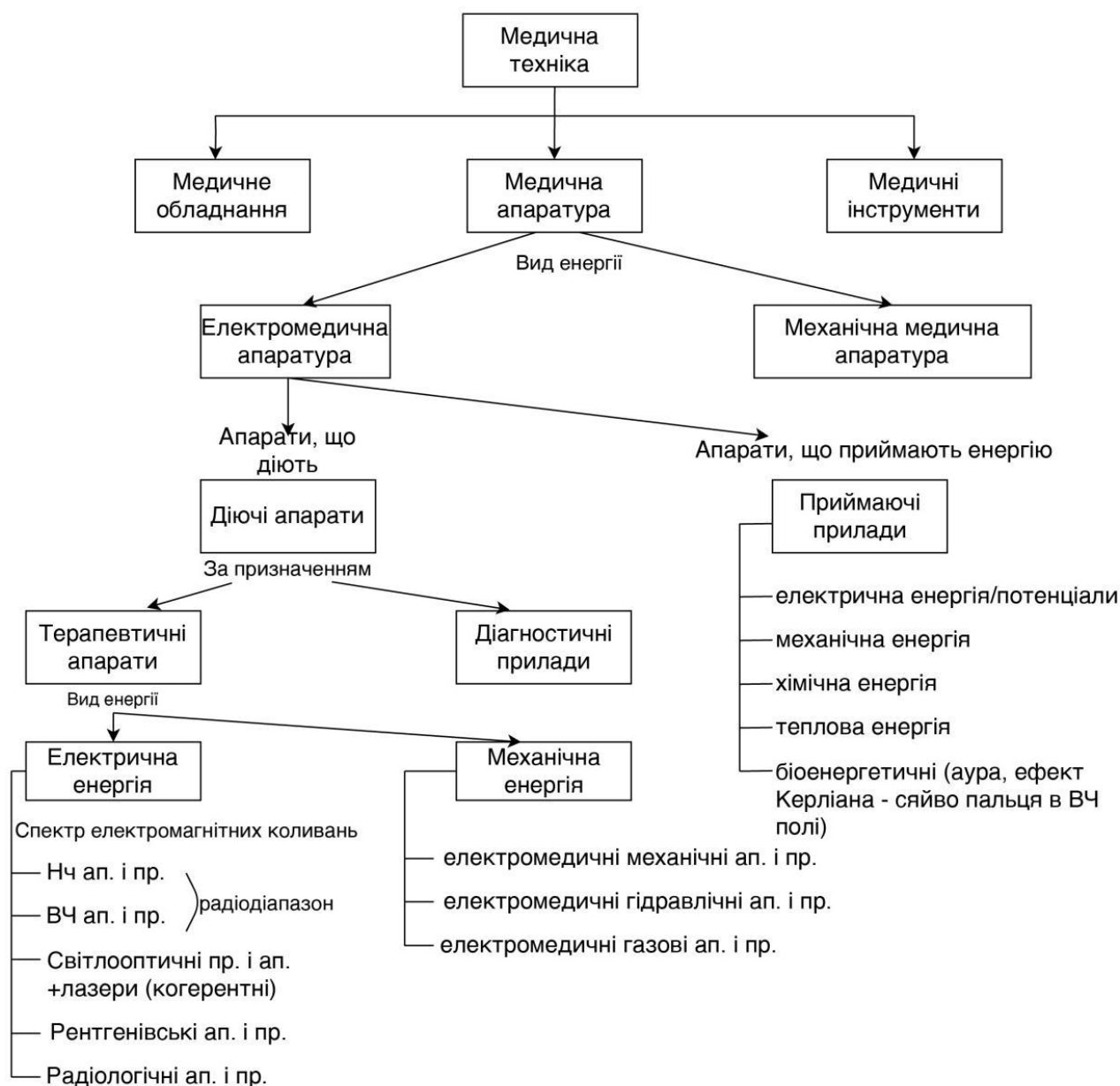


Рис.1. Повна схема класифікації медичної техніки

Апарати, що діють електричною енергією поділяються за спектром електромагнітних коливань.

2.1.Класифікація низькочастотної електротерапевтичної апаратури (апаратури реабілітації)

Повний розподіл НЧ апаратури реабілітації представлений на рис. 2.

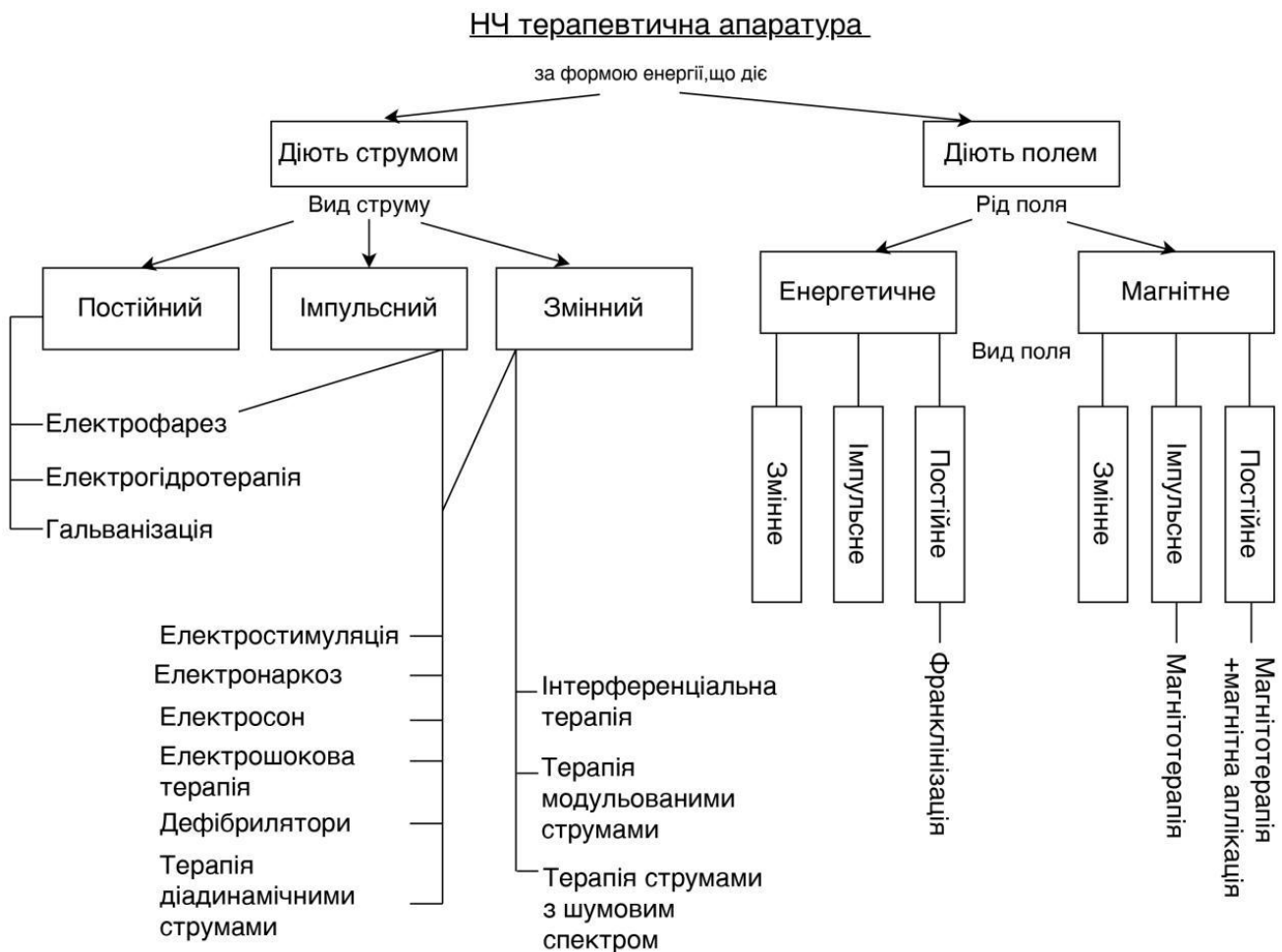


Рис.2. Повна класифікація апаратури НЧ реабілітації

Вся апаратура НЧ реабілітації за формою енергії поділяється на апаратуру, що діє струмом або полем. Подальший розподіл відбувається залежно від роду (виду) поля (струму) і остаточний розподіл апаратури реабілітації відбувається за функціональним призначенням апаратів залежно від медичних методик використання приладів.

2.2. Класифікація височастотних фізіотерапевтичних апаратів

Вся ВЧ апаратура реабілітації поділяється залежно від форми енергії, роду поля та режимів роботи остаточний розподіл за медичним призначенням (див. рис. 3).

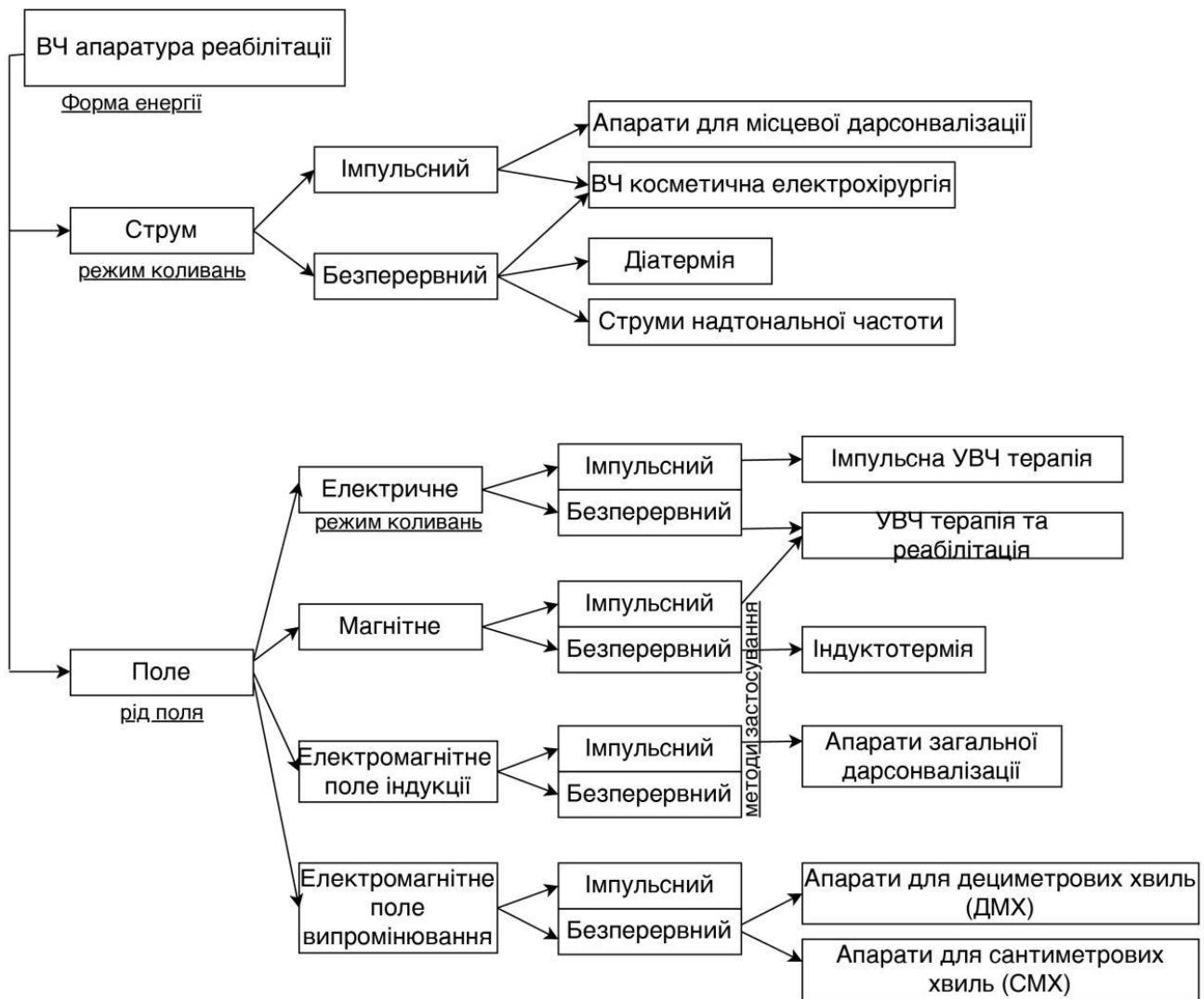


Рис.3. Класифікація апаратури ВЧ реабілітації

3. Багатофункціональний електрофізіологічний комплекс для першого етапу реабілітації

На першому етапі реабілітації необхідно проводити комплексні медико-біологічні дослідження, за допомогою яких можна оцінити роботу окремих фізіологічних систем та організму людини в цілому. Особливості цих досліджень пов'язані з одночасною обробкою різних фізіологічних показників роботи організму.

Це такі фізіологічні параметри:

1. Центральна гемодинаміка (ЦГД)
2. Електрокардіограми (ЕКГ)
3. Електроенцефалограми (ЕЕГ)
4. Температура
5. Тиск
6. Особливості систем дихання

Традиційна діагностична апаратура дозволяє проводити дослідження окремих біофізичних характеристик людини і не дозволяє отримати ґрунтовний аналіз функціонування організму в цілому. Такі дослідження необхідно проводити на першому етапі реабілітації для оцінювання появи дисфункційних ознак роботи організму. На цьому етапі відбувається комплексна оцінка стану здоров'я людини.

Сучасна апаратура для дослідження організму людини в цілому використовує такі напрямки:

1. Комплексна оцінка (діагностика) організму людини за біофізичними сигналами (традиційними, стандартними)
2. Комп'ютерна діагностика всього організму за допомогою непрямих методів дослідження (за методом Фоля вимірюються характеристики біологічно активних точок БАД)
3. Використання лазерних методів сканування біофізичних станів людини.

3.1. Особливості роботи багатфункціонального електрофізіологічного комплексу

Цей комплекс дозволяє проводити медико-біологічні дослідження в умовах спеціальних медичних закладів (наприклад, лікарень, поліклінік, санаторіїв), а також безпосередньо на робочих місцях людей (оператори енергетичних систем, диспетчерська служба для аеропортів).

За допомогою комплексів проводяться контроль таких показників: артеріальний тиск, електрокардіограма (12 відведень), електроенцефалограма (16 відведень), зорові та слухові потенціали, температура, частота дихання, реограма, ударний та хвильовий об'єм крові.

Технічні характеристики багатфункціонального комплексу:

1. Кількість каналів для вводу інформації – 8
2. Розрядність АЦП – 8
3. Розрядність шини даних – 8
4. Об'єм ОЗП – 64 Кб
5. Об'єм змінних блоків ПЗП – 64 Мб
6. Час обробки одного циклу даних – не більше 1 с
7. Час вимірювання даних – не більше 3 хв
8. Реєстрація даних – відео монітор, магнітооптичний диск, паперовий носій, тощо
9. Потужність споживання – не більше 50 Вт
10. Габарити – 480x380x150
11. Маса – не більше 10 кг

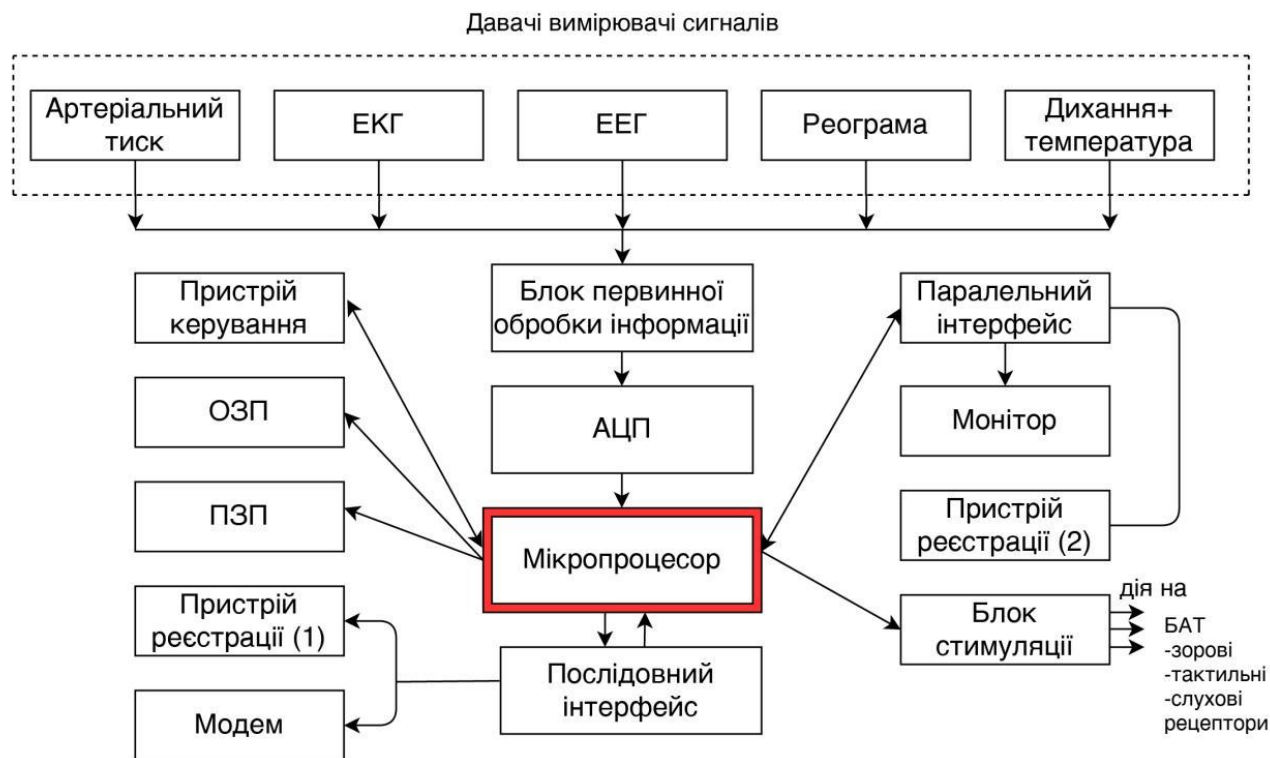


Рис.4. Структурна схема багатфункціонального комплексу

Паралельно з об'єктивною інформацією, яка знімається давачами (див. структурну схему) паралельно може відбуватись реєстрація показників біологічно активних точок людини для більш повної об'єктивної інформації. Крім того, необхідно додавати і суб'єктивну інформацію людини (скарги на стан здоров'я, на особливості прийняття їжі, шкідливі звички, тощо). Після суцільної обробки всіх даних формується алгоритм керування метаболічних порушень для зменшення ймовірності «переростання» захворювань в клінічну стадію що є особливістю першого етапу реабілітації.

3.2. Особливості характеристик блоку первинної (попередньої) обробки інформації

Для будь-якої медичної апаратури основною задачею є якісна обробка медико-біологічних сигналів, тому дуже важливим є надійність і точність автоматичної обробки інформації – фільтрація або виділення корисних сигналів, розрахунок їх форми, фільтрація завад, тощо. На цей процес обробки впливають багато факторів різної природи.

Фактори, що впливають на процес виділення і ідентифікації елементів медико-біологічних сигналів

I. Фактор біологічного об'єкту

1. Форма елементів і структура елементів, які пов'язані з індивідуальними особливостями біооб'єкту (стан, місце зняття інформації, способи кріплення, тощо)

2. Сигнали «інформаційних» параметрів, які є взаємодією корисних фізіологічних сигналів різного походження, які також впливають на корисний сигнал, що реєструється (вплив сигналів дихання, зміна температури, биття серця, тощо)
3. Завади від рухів об'єкту – змінюються умови контакту давача з тілом людини, змінюється постійна складова сигналу і його розмах

II. Фактори зовнішнього впливу

1. Синфазна завада від промислової мережі 50 Гц, яка впливає на об'єкт та лінію зв'язку
2. Флуктуаційні завади – зовнішні індустриальні завади, які наводяться на вхідний контур підсилювача, вібраційні завади, шумові, тощо
3. Імпульсні завади – обумовлені вмиканням і вимиканням апаратури з силової мережі, поява різних розрядів конденсаторів

III. Апаратурні фактори

1. Внутрішні шуми апаратури та дрейф нуля
2. Спотворення сигналів підсилювальними трактами апаратури

Для будь-яких пристроїв обробки біологічних сигналів (традиційних радіотехнічних) перед обробкою і підсилювання сигналів **обов'язково** необхідно провести попередню фільтрацію. А вже потім підсилювати і перетворювати сигнали.

Для більш розширеного функціонального стану комплексу необхідно проводити реєстрацію характеристик БАТ (їх діагностика), а потім по результатах комплексного обстеження проводити коригування імунної системи людини дією на БАТ або на організм в цілому.

4. Пристрій для попереднього аналізу параметрів біологічно активних точок людини – « α -03»

Цей пристрій α -03 (рис.5) дозволяє одночасно вимірювати по п'яти каналам (один блок вимірювання БАТ). Такі характеристики: опір або провідність точки δ , диференційний біопотенціал φ_d , модуль біопотенціалу $|\varphi|$, ємність точки C , автоматичний пошук БАТ з звуковою і оптичною індикацією. Вхідний комутатор забезпечує підключення вимірювальних блоків до об'єкту контролю, дозволяє одночасно реєструвати параметри електричних сигналів, які змінюються системою звичайних електродів.

Пристрій аналізу та перетворення забезпечує вибір режиму роботи приладу в цілому та попередню обробку інформаційних сигналів. Всі параметри людини фіксуються пристроєм для реєстрації — запис відбувається по п'яти каналам у

аналоговій формі та інформація в цифровому вигляді направляється в буфер пристрою.

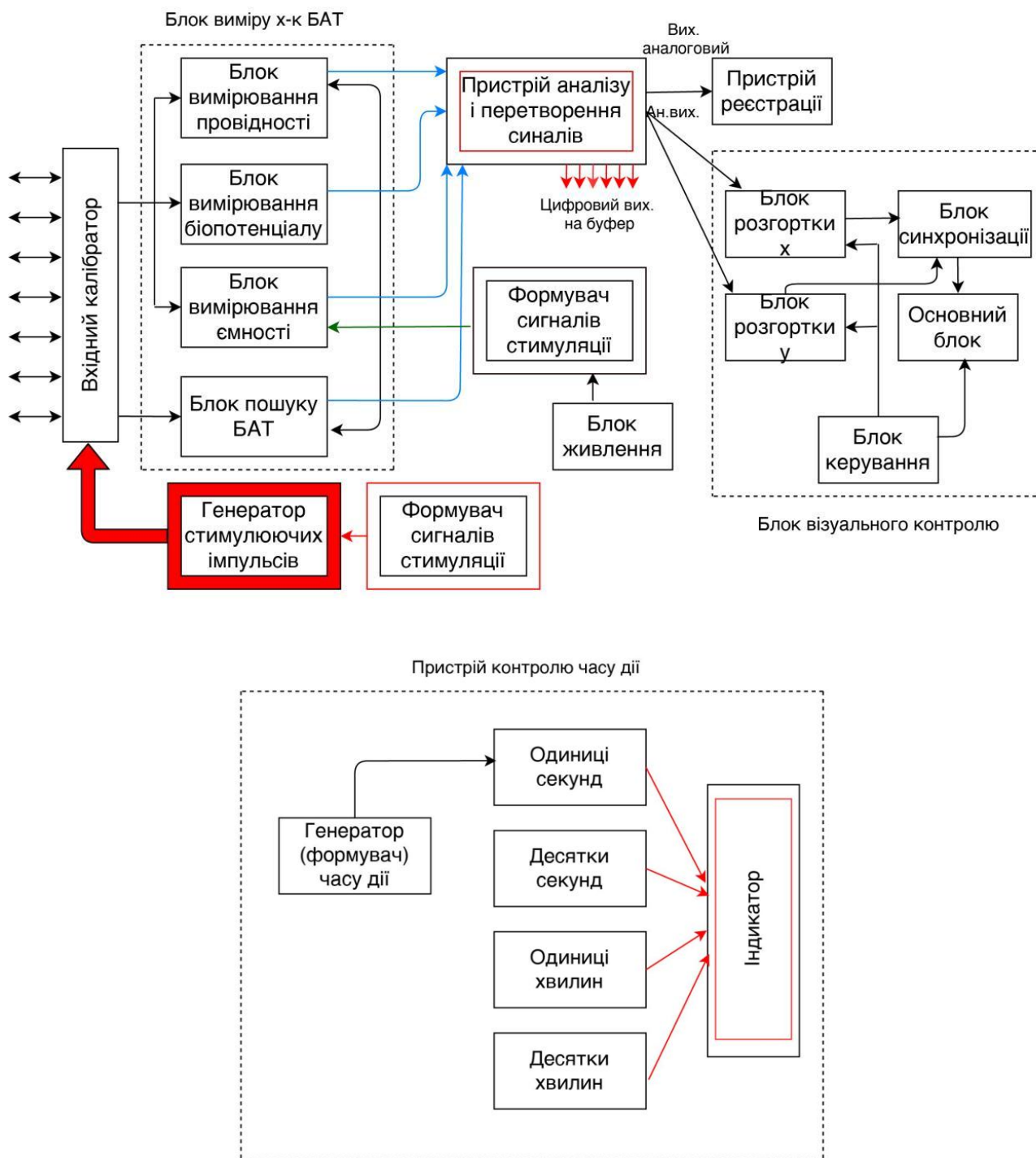


Рис.5. Функціональна схема комплексу «α-03»

Пристрій візуального контролю дозволяє контролювати хід вимірювань на екрані електронно променевої трубки в реальному масштабі часу (задається параметрами розгортки).

Генератор стимулюючих імпульсів дозволяє проводити електростимуляцію БАТ сигналами різної форми (форма імпульсів стимуляції плавно змінюється від

прямокутної до синусоїдальної включної з пилкоподібною формою) і частоти (від 0.05 Гц до 50кГц з частотним заповненням від 20 Гц до 2 МГц) в межах кожного з-під діапазону є можливість плавного регулювання частоти.

Під час вимірювання параметрів БАТ одночасно за допомогою мікропроцесора відбувається:

1. статистична обробка результатів вимірювання (для виключення статистичної та випадкової похибок вимірювання)
2. контроль біопотенціалу людини за допомогою спеціальних додаткових електродів (пласких, голчастих, полосних з площею 0.3-30 см²)

Особливості роботи пристроїв для вимірювання біопотенціалів людини

Вхідний пристрій або комутатор дозволяє підключити будь-яку систему відведень до підсилювачів (складається з резисторів, які штучно формують точку поєднання потенціалів і систему спеціальних вхідних фільтрів).

Підсилювачі сигналів забезпечують необхідне підсилення сигналів без спотворення. Коефіцієнт підсилення – мінімальний 10000 для ЕКГ і максимальний 200000 для ЕЕГ і мають 5-6 каскадів підсилення.

Смуга пропускання частот від 0 до 0.01 Гц для електрогастрограми і максимальна частота 10000 Гц для ЕКГ і ЕЕГ.

При проведенні вимірювання потенціалів для зменшення паразитного шуму і похибки обов'язково знежирюється шкіра і використовуються спеціальні електропровідні пасти. Опір для звичайних електродів 30-50 кОм, для голчастих одиниці МОм, тому вхідний опір підсилювача повинен бути дуже великим щоб не шунтувати систему електродів 500 кОм-10 МОм.

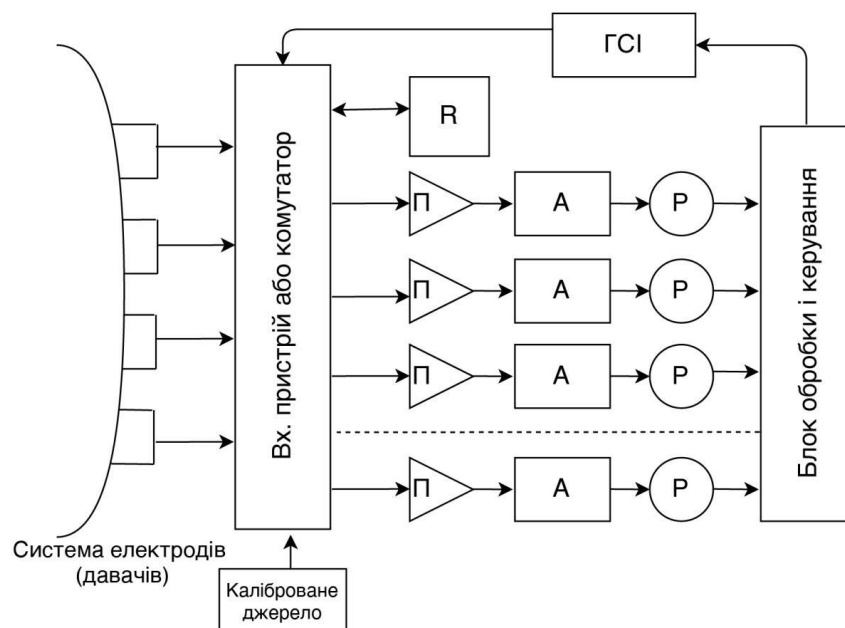


Рис.6. Структурна схема блоку вимірювання або реєстрації біопотенціалів людини

К/д – каліброване джерело в В для нормування амплітуди біопотенціалу;
R – вимірювальний пристрій опору (між електродний опір) для будь-якої пари електродів;
П – підсилювач;
А – аналізатори частотних спектрів сигналів;
Р – реєстратори сигналу окремих каналів;
ГСІ – генератор стимулюючих імпульсів, який формує сигнали електро-, акусто- та фотостимуляцію.

При проведенні вимірювання потенціалів для зменшення паразитного шуму і похибки обов'язково знежирюється шкіра і використовуються спеціальні електропровідні пасти. Опір для звичайних електродів 30-50 кОм, для голчастих одиниці МОм, тому вхідний опір підсилювача повинен бути дуже великим щоб не шунтувати систему електродів 500 кОм-10 МОм.

Схема підсилювача має два входи для додавання корисних сигналів біопотенціалів (вони подаються на вхід підсилювача у протилежних фазах і ці входи використовуються для суттєвого зменшення синфазних завад, які подаються на вхід синфазно.

Генератор стимулюючих імпульсів використовується:

1. для контролю зворотної реакції при дії на біотканину електро або іншим стимулятором.
2. інформаційний вплив на біотканину для отримання метаболічних змін на клітинному рівні, що дозволяє суттєво підвищити імунний і функціональний стан людини і попередити початок захворювання

5. Застосування лазерів для косметичної (ангіопластики) і патосудинної хірургічної ангіопластики

Для хірургічних застосувань сучасних лазерів використовується ІЧ і УФ діапазони оптичних хвиль. Для ІЧ діапазону і косметичної онкологічної та судинної хірургії використовуються ІЧ лазери CO₂ (10.6 мкм - скальпель 1, скальпель 2). Використовуються інколи і твердотільні лазери (1.06 мкм – неодимові або на склі)

Для косметології (наприклад видалення волосся, тощо) використовуються лазери в УФ діапазоні (ексімерні лазери – один з них ХеСІ, 308 нм). Такий лазер використовується для малотравматичних хірургічних втручань при видаленні атеросклеротичних бляшок у судинах.

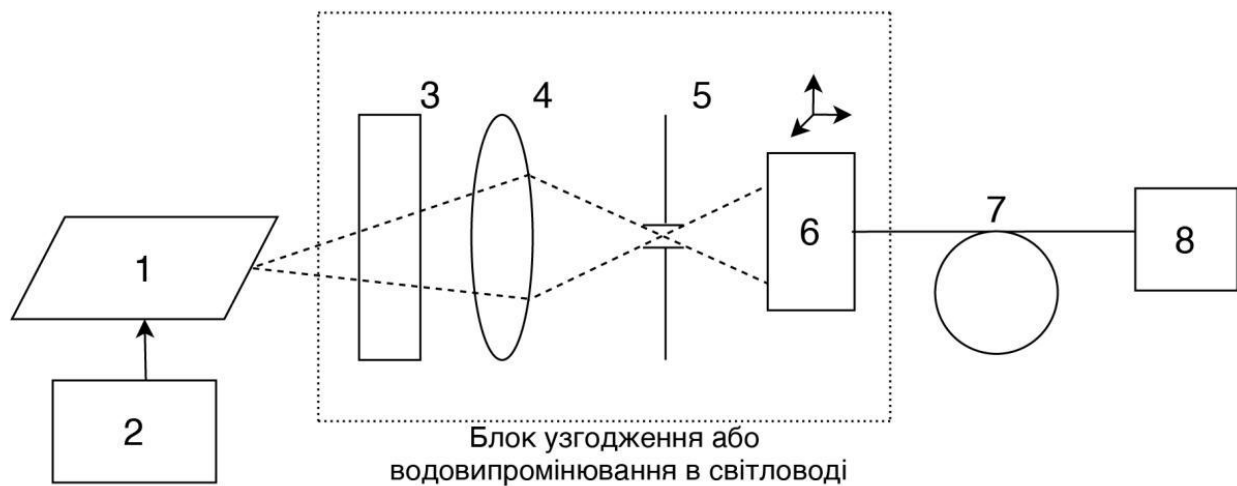


Рис.7. Блок-схема установки для лазерної ангіопластики на ХеСІ лазері

- 1 – лазер або лазерний блок
- 2 – блок керування (ножний привід)
- 3 – світлофільтр
- 4 – фокусуючий об’єктив
- 5 – діафрагма
- 6 – пристрій юстування
- 7 – світловід
- 8 – біооб’єкт (судина)

При роботі і розробці такої схеми необхідно вирішувати такі завдання:

1. досягти максимальної ефективності узгодження лазера з світловодом (за допомогою оптимізації блоку узгодження)

2. вибір режиму випромінювання біооб’єкту для отримання оптимального режиму для проведення хірургічного втручання (руйнування біотканини (розріз), а також руйнування атеросклеротичних бляшок)

Як правило такі хірургічні лазери працюють в імпульсному режимі. ХеСІ лазер має випромінювання на довжині хвилі 308 нм і формується за допомогою пристрою керування: імпульси тривалість 20 нс, з частотою розповсюдження до 10 Гц, енергія до 35 мДж.

Світловод 7 це кварцовий і діаметр 600 мкм. Об’єктив 4, фокусна відстань 10 см. Енергія і спектральний склад випромінювання регулювались діафрагмою 5 і світлофільтром 3.

Для експериментів взаємодії випромінювання лазера 1 з біотканинами 8 використовується фрагмент аорти людини фіксований у 10% розчині формаліну протягом 1 доби, аорта мала крупну, однорідну за перерізом атеросклеротичну бляшку товщиною 1,95 мм. Мікроскопічна будова бляшки мала щільне фіброзне покриття під яким знаходився прошарок компактних атероматозних мас зі

значною кількістю кристалю холестерин. Ступінь і характер руйнування тканини експериментально перевірилась гістологічними методиками (за допомогою мікроперерізів біотканини електронним мікроскопом контролювались біофізичні характеристики бляшки).

На ефективність проходження лазерного випромінювання крізь світловід 7, а також на руйнування його виходу впливали такі чинники або фактори :

1) точність співпадіння осі світловоду 7 з віссю лазерного променя. Ця проблема вирішувалась за допомогою пристрою юстування 6 для 30 пересування. Не можна проводити юстування на максимальній робочій потужності. Необхідно для налагодження оптичної схеми потрібно використовувати мінімальний рівень потужності.

2) якість виходу світловоду 7 – вихід, торець, можна обійтись без додаткового шліфування світловоду тільки за допомогою якісного обрізання кварцу.

3) експериментально було отримано що вірогідність виникнення оптичною пробою значно зменшується на вхідному торці світловоду 7. Якщо світловід попереднє пропускав 100-200 робочих імпульсів, випромінювання мало відносно малу густину енергії менше 3 Дж/см^2 і після цієї процедури значно покращувалась ефективність пропускання світловоду.

УФ лазер який використовувався одночасно з УФ випромінюванням генерував промінь на довжині хвилі $\lambda < 2,03 \text{ мкм}$, енергія менше ніж 5% від повної вихідної потужності лазера. ІЧ випромінювання за допомогою світлофільтра 3 компенсувалося, що приводила до підвищення порогу руйнування світловоду 7 тому що кварц має променеву міцність, яка залежить від довжини робочої хвилі.

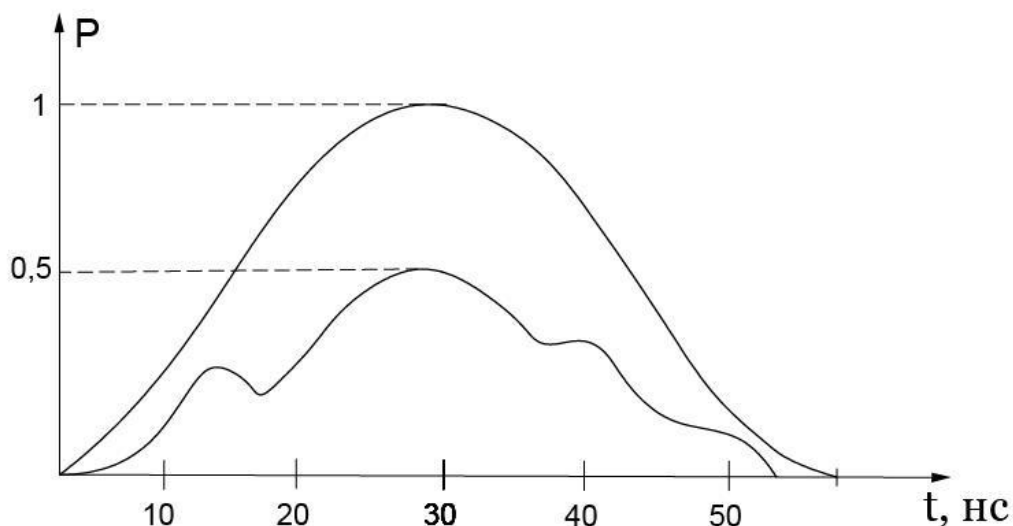


Рис.8. Характер (ефективність) пропускання світловоду 7 залежить від тривалості імпульсів.

Густина енергії на вході 7 Дж/см², ефективність проходження через світловід 60% на виході густина потужності 3,5-4 Дж/см², що достатньо для руйнування атеросклеротичної бляшки.

Експериментальні дослідження з цією схемою проводились для розрахунку виявлення найбільш оптимального режиму опромінення біотканин за такою методикою: фіксувалась одна і та ж експозиція (час опромінення), але для різної імпульсної енергії (змінювалась кількість лазерних імпульсів).

При взаємодії з біотканиною це однорідний зв'язок, вимірювались параметри кратера руйнування на поверхні бляшки.

Швидкість зростання глибини кратера питомої енергії випарювання біотканини залежно від параметрів падаючого лазерного випромінювання.

№№	E ₀ , мДж	E ₀ /S-густина Дж/см ²	N	E _Σ , мДж	E _{пт} ,кДж/см ³	h, мкм/імпульс
1	9	3,2	50	450	80	2
2	4,5	1,6	100	450	300	0,5
3	9	3,2	100	900	20	2,5
4	4,5	1,6	200	900	64	0,75

h – глибина кратера

E₀ – енергія випромінювання

S – площа лазерної плями

N – кількість лазерних імпульсів

E_{пт} – питома енергія випромінювання

E_Σ – сумарна енергетична експозиція

Чим більша імпульсна енергія лазерного випромінювання тим більша швидкість наростання глибини кратера і нижче питома енергія випаровування біоречовини.

Випромінювання в біотканині поглинається за законом Бугера:

$$I(L) = I_0 * e^{-L\alpha},$$

де I(L) – інтенсивність лазерного випромінювання;

L – товщина біотканин;

α – коефіцієнт поглинання;

$h = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{E_0}{E_{\text{пор}}}$ – логарифмічна залежність α від E;

E₀ – початкова енергія випромінювання;

E_{пор} – енергія необхідна для руйнування біотканин;

α – коефіцієнт поглинання.

Питома енергія E_{пт} необхідна для випарювання тканин залежить від E₀ початкова енергія випромінювання

$$E_{\text{пт}} = \frac{E}{V} = \frac{E_0}{S_n} = E_0 \frac{\alpha}{S} \ln \frac{E_0}{E_{\text{пор}}},$$

де V – об'єм шару, що випаровується

S – площа цього шару

Швидкість відтворення кратера змінювалась від кількості імпульсів завдяки появі порожнини у біотканині під час випромінювання, відбувалась термічне руйнування тканини і розрив зв'язків в біополімері. Оптимальний режим роботи такої схеми при вихідній енергії випромінювання 9мДж (густина 3,2 Дж/см²) і для цього режиму є характерним:

1) схема тривалий час працює без руйнування світловоду

2) видаляється ділянка об'ємом 3 мм³ за одну хв при частоті повторення імпульсів 10 Гц

Оптимізація роботи схеми пов'язана:

1) покращення форми вхідного лазерного імпульсу (скорочення його переднього фронту)

2) бажано використовувати лазерне випромінювання з довжиною хвилі яка ефективно руйнує зв'язки в біополімері – довжина хвилі менше 200 нм, а також довжина хвилі 480-500 нм

3) можна підвищити якість (ефективність) пропускання оптичних сегментів

4) необхідно збільшити частоту повторення імпульсів

6. Електрофізіотерапевтична НЧ- апаратура

6.1. Фізичні обґрунтування і методики проведення гальванізації і медикаментозного електрофорезу

Тканини організму людини складаються в основному з білкових колоїдів (погано проводять електричний струм), а також розчини неорганічних солей (калій, натрій, кальцій, магній, які є дуже гарними провідниками електричного струму) таким чином ці розчини суттєво визначають електропровідність біотканини. Найкращу електропровідність мають рідини організму (кров, лімфа), а також тканини які мають багато рідини (м'язи). Рідини біотканин по складу близькі до плазми крові – суміш розчинів (колоїдних органічних та неорганічних солей). Загальна концентрація солей в рідині біотканини відповідає 0,85 – 0,9% розчину повареної сілі (ізотонічний розчин). Ізотонічний розчин (8,5 гр. NaCl на 1 л води) має питому електричну провідність рідини біотканини для постійного струму залежно від температури такий розподіл:

$t^{\circ}\text{C}$	Електропровідність ρ , Ом ⁻¹ см ⁻¹
0	0,0083
18	0,0132
25	0,0152

$t^{\circ}\text{C}$	Електропровідність ρ , $\text{Ом}^{-1} \text{см}^{-1}$
37	0,0192
50	0,0234

Крім того, питома електропровідність для температури 37° при постійному струмі має таку залежність:

Біотканина	ρ , $\text{Ом}^{-1} \text{см}^{-1}$
Спинно-мозкова рідина	0,018
Сироватка крові	0,014
Кров	0,006
М'язова	0,005
Внутрішні органи	0,002 – 0,003
Мозкова і нервова тканина	$0,7 \cdot 10^{-3}$
Жирова тканина	$0,3 \cdot 10^{-3}$
Суха шкіра	10^{-7}
Кістка без надкiсницi	10^{-9}

Погані провідники – нервова мозкова, з'єднувальна (сполучна), жирова тканина.

Дуже погані (діелектрики) – грубоволокниста сполучна тканина, суха шкіра, кісткова тканина.

Таким чином це приводить до того, що між двома електродами струм протікає не за найменшою відстанню між ними, а вздовж потоків тканинної рідини, кров'яносних та лімфатичних судин. Молода шкіра, волога і з пошкодженнями має більшу електропровідність.

Під дією постійного струму у біотканин відбувається електрохімічна поляризація – відбувається місцеве накопичення іонів, яке формує просторовий заряд. Опір шкіри для постійного струму значно вищий, ніж для змінного (напруга мережі 220 В з частотою 50 Гц найбільш вразлива для людини).

Метод гальванізації має таку особливість – дія на ту чи іншу ділянку біотканини постійним струмом відносно невеликої густини. Струм направляється на біотканину за допомогою електродів з свинцю (свинець має пластичну форму і його важкі іони не приймають участі в формуванні струму між електродами).

Електроди на шкіру безпосередньо не розміщуються! Тому що на поверхні електроду формуються продукти електролізу – продукти розчеплення водного розчину хлориду натрію: на – гідроксид натрію і водень, на + хлорид водню і кисень, які будуть пошкоджувати шкіру. Тому обов'язкові прокладки з тканини (байка, фланель), які змочені водою або лікарським розчином.

Величина струму при гальванізації залежить від площі прокладки та густини струму (для шкіри – $0.05\text{--}0.2 \text{ мА} \cdot \text{см}^2$, для слизових оболонок – $0.02\text{--}0.03 \text{ мА} \cdot \text{см}^2$).

Для площі прокладки 100-200 см², струм 10-20 мА, опір постійному струму між електродами складає 500-1000 Ом.

Для площі прокладки менше 100 см² струм 1-2 мА опір 5000-6000 Ом. Джерело живлення (джерело струму) при гальванізації для місцевих процедур повинна забезпечувати 25-30 В.

Біодія – підсилюється кровообіг, лімфообіг, стимулюються обмінні процеси, відбувається місцева анестезія, знеболююча дія та вводяться в організм ліки.

При електрофорезі – іони з розчину прокладки переходять у біотканини організму, а із біотканини назустріч рухаються іони Na або Cl. У напівпрозорих оболонках формуються скупчення іонів (просторовий електричний заряд) і це є основа поляризаційних явищ, що надає біотканині ємнісні властивості. Таким чином вводять 10-20% ліків.

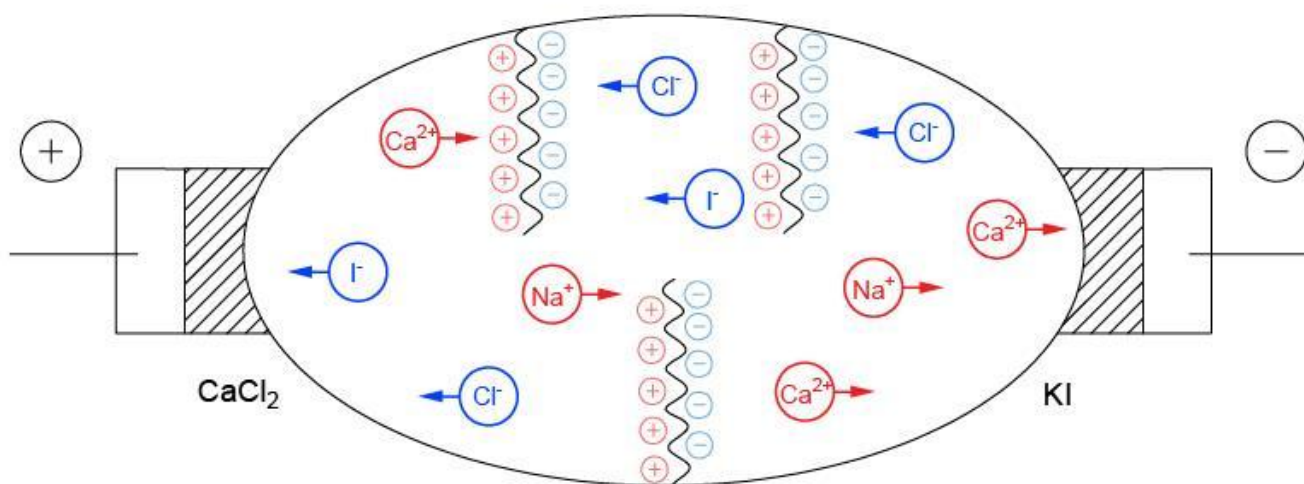


Рис.9. Процеси в тканині при електрофорезі

Іони, які вводяться, не розповсюджуються на велику глибину, вони накоплюються під шкірою, а потім повільно розносять по всьому організму людини.

Переваги такого методу – введення ліків в організм людини в електричному, активному стані одночасно з дією постійного струму, що суттєво підвищує фармакологічну ефективність дії ліків.

6.2. Апарати для місцевої гальванізації і лікарського електрофорезу

Апарат для гальванізації «Поток-1»

Характеристики:

- максимальний вихідний струм 50 мА
- для активного опору навантаження 500 Ом
- коефіцієнт пульсації струму не більше 0.5%

- потужність яка споживається від мережі 15 Вт
- габарити 260x230x80 мм
- маса апарату не перевищує 3 кг
- апарат виконаний за II класом захисту від ураження постійним струмом

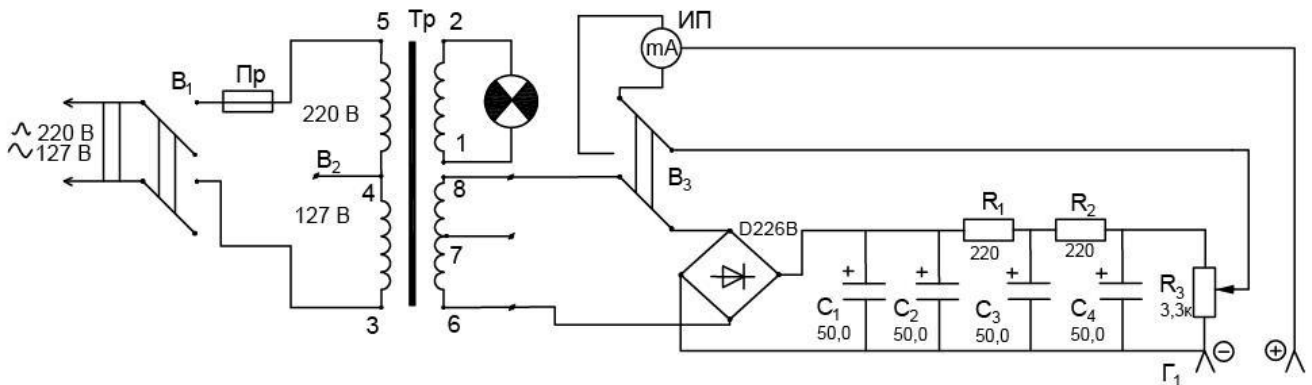


Рис.10. Принципова електрична схема апарату «Поток-1»
(джерело постійного струму що регулюється)

6.3. Апарати для реабілітації імпульсними та змінними струмами НЧ

П.1. Особливості електростимуляції на першому етапі реабілітації імпульсними та змінними струмами НЧ

При дослідженні біопотенціалів людини для додаткової діагностики функціонування м'язів виконують спеціальну електростимуляцію імпульсами, які подразнюють нервові закінчення у біотканинах. Для електростимуляцій та подразнення використовують електричні імпульси з такими параметрами:

1. Тривалість імпульсу
2. Період розповсюдження імпульсів
3. Частота слідування імпульсів
4. Амплітуда імпульсу
5. Тривалість фронту імпульсу
6. Тривалість зрізу імпульсу
7. Відстань між імпульсами
8. Шпаруватість імпульсу (скважність)

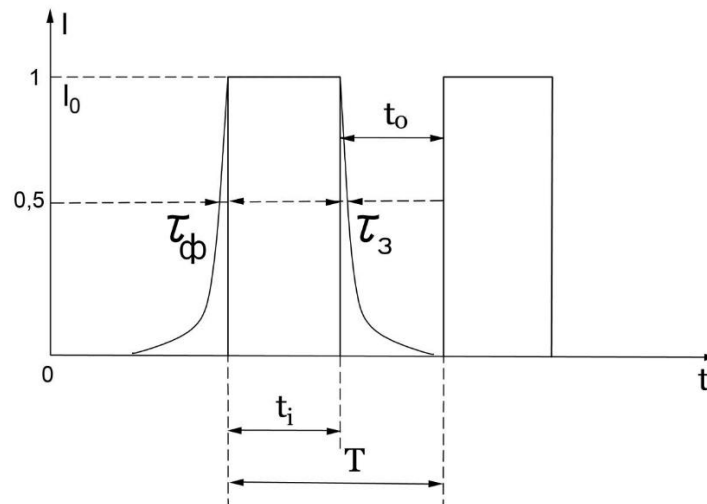


Рис.11. Електричні імпульси для електростимуляції

Дія імпульсного струму визначається амплітудою імпульсу, яка для різних сигналів пов'язана з постійною складовою імпульсів таким чином:

1. Для прямокутних сигналів $I_0 = I_{\pm} \cdot S$
2. Для синусоїдальних сигналів
 - а. Однонапівперіодної схеми $I_0 = I_{\pm} \cdot \pi$
 - б. Для двонапівперіодної схеми $I_0 = I_{\pm} \cdot \pi/2$

Для стимуляції і лікування при дії на біотканину використовують такі струми:

А. Імпульсні струми

- а) Прямокутний
- б) Конденсаторні розряди з експоненціальним зрізом
- в) Конденсаторні розряди з експоненціальним фронтом
- г) Конденсаторні розряди з експоненціальним фронтом і зрізом
- д) Фарадичні струми (розряди тіротрону)

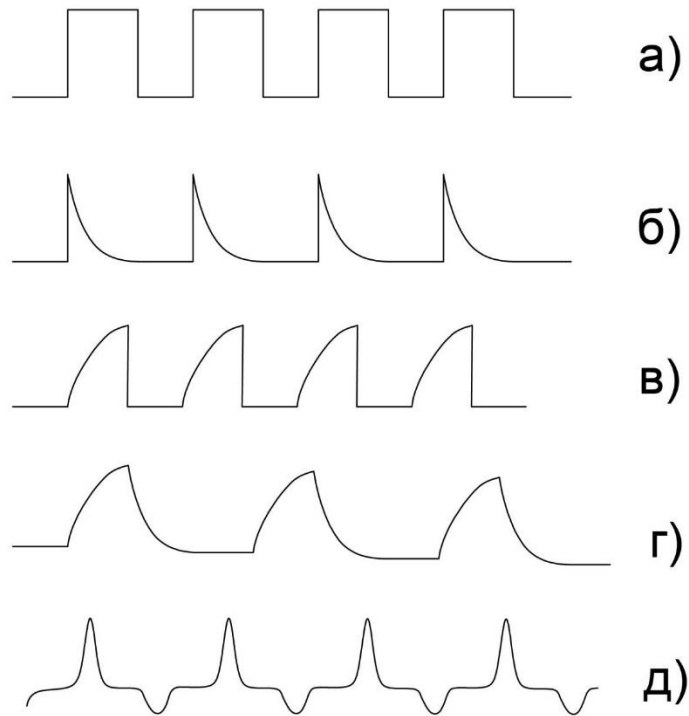


Рис.12. Види імпульсних струмів

Тривалість імпульсів 10 мкс – 5 с, частота слідування імпульсів 0.1 Гц – 10 кГц (за згодою з лікарем параметри можуть змінюватись).

У сучасних приладах для електростимуляції для формування імпульсу використовують мікропроцесори, які можуть формувати дуже багато варіантів та комбінацій сигналів, що відповідає медичним протоколам при лікуванні різних захворювань. Як правило, сигнали направляються одночасно на 4 електроди у різних фазах і, головне, на 5 подається шумоподібний сигнал, який зменшує звикання біотканини до електродії.

В. Змінний струм з несучою частотою 5-10 кГц, який промодульований за амплітудою напругою низької частоти

Такими сигналами зменшується больовий поріг при різних процедурах – на високій частоті зменшується опір шкіри, її подразнення і відчуття опіку під електродами (відсутні поляризаційні ефекти). Це пов'язано з тим, що $X_c = \frac{1}{2\pi f c}$.

С. Інтерференційні струми

Одночасно на електроди направляються два струми з близькими частотами. Наприклад 4900 і 5000 Гц. На біотканині під час дії такими струмами ... виділяється НЧ різниця частот у місця локалізації перетину струмів.

Д. Змінний струм з шумовим спектром коливань

Синусоїдальні коливання (частоти від 20 Гц до 20кГц), які хаотично комбінують між собою, що зменшує адапційну та сумарну дію цих струмів на біотканини, що має місце при ритмічному впливі однакових за характером імпульсів та коливань.

Така форма струму широко використовується в стоматології при лікуванні та реабілітації для знеболення.

При розрахунках впливу електричних сигналів постійного та імпульсного струму НЧ на біотканини використовується така еквівалентна схема біотканини:

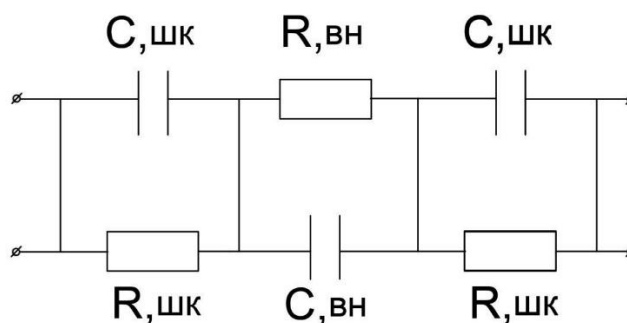


Рис.13. Еквівалентна схема біотканини

Де $C_{шк}$, $R_{шк}$ це відповідно ємність і опір шкіри для шкіри і підшкірних клітин
 $C_{вн}$, $R_{вн}$ відповідно ємність і опір для внутрішніх глибинних тканин:

$R_{шк}=1-2 \text{ кОм}$ $C_{шк}=0,03-0,05 \text{ мкФ}$

$R_{вн}=0,5-1 \text{ кОм}$ $C_{вн}=0,01-0,02 \text{ мкФ}$

Особливості електродіагностики та електрозбудження біотканини

При деяких захворюваннях опорно-рухової та нервової систем (інсульт, інфаркт, розсіяний склероз, травми) погіршується функціональна активність м'язів рук, ніг, тому на 4 і 5 етапах реабілітації необхідно проводити спеціальні заходи електростимуляції, ефективність яких суттєво залежить від форми та параметрів сигналів. Тому спочатку необхідно (бажано) провести дослідження міохарактеристик здорових м'язів і врахувати ці параметри при формуванні сигналів стимуляції. Таким чином необхідна попередня електродіагностика (дослідження електрозбудження м'язів). Ця електродіагностика визначає функціональний та анатомічний стан периферичних м'язів та нервів за допомогою подразнення їх електричним струмом. При цьому форма і інтенсивність електричного подразнення співставляється з характером реакцій на відповідну реакцію м'язів у формі скорочення.

Для визначення функціонування стану м'язів (електродіагностики) використовують такі методи:

1. **Класичний метод** — порівнюється характер скорочення м'язів при подразненні постійним та фарадичним струмами (фарадичний струм викликає у «нормальних» м'язів м'яке стійке довготривале титанічне скорочення; характеризуються гострими короткотривалими імпульсами, які відтворюються за допомогою тиратронного випрамляча з синусоїдальною напругою живлення)

2. **Метод електродіагностики окремими імпульсами прямокутної форми, але різної тривалості** – подразлива дія на м'язи відбувається впливом відносно короткочасними до 0.1 с імпульсами струмів різної тривалості і визначають порогову силу струму, яка викликає найменшу помітну реакцію при подразненні прямокутними імпульсами різної тривалості.

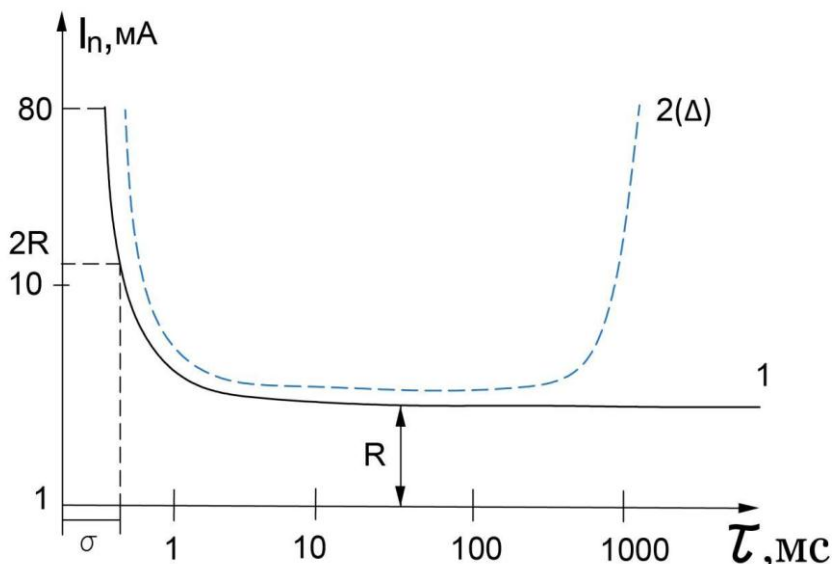


Рис.14. Залежність порогового струму від тривалості імпульсу збудження (крива електрозбудження м'язів)

За цією кривою визначають два характерних параметра збудження:

- 1) **R** – **реобазис**, **це пороговий струм**, який викликає порогове подразнення при будь-якій великій тривалості імпульсу
 - 2) **Хронаксія** – тривалість імпульсу для якого амплітуда порогового струму дорівнює подвоєному значенню реобазису.
3. **Метод подразнення імпульсами, які повторюються з визначеною або фіксованою частотою** – визначається властивість або здатність біотканини сприймати той чи інший ритм збудження чи подразнення. Така характеристика називається лабільністю м'язів і визначає зв'язок між характером скорочення м'язів та частотою електричних імпульсів подразнення. Якщо знижується оптимальна частота електричних імпульсів у порівнянні з здоровою тканиною, то є можливість або ймовірність ураження м'язів чи нервів. Для здорових м'язів відношення амплітуди порогового імпульсу тривалістю 1000 мс до реобазису складає 3.6 (це для імпульсів трикутної і інколи прямокутної форми). Для уражених м'язів це співвідношення значно менше.
4. **Метод одночасної або за визначеним алгоритмом зміни всіх параметрів електричних імпульсів** – одночасно змінюються частота, форма, амплітуда та тривалість імпульсів. Використовують 2 електроди –

активний (має малу площу(точковий)) і пасивний (пластина з площею не менше 150 см²)

6.4. Апарат для реабілітації захворювань м'язів і опорно-рухового апарату діадинамічними струмами «Тонус-1»

Характеристики:

Апарат являє собою генератор амплітудно-модульованих імпульсів з синусоїдальним фронтом і експоненціальним зрізом з частотою повторення імпульсів 50 або 100 Гц, використовується також комбінація цих сигналів.

Використовується 9 видів струмів при найбільшому значенні постійної складової 50 мА (опір навантаження 500 Ом).

Цей апарат має захисний пристрій, який вимикає (відключає) ланцюг пацієнта, якщо струм перевищує встановлений вихідний струм на 5-15мА, потужність що споживається 60 Вт, маса не більше 9 кг.

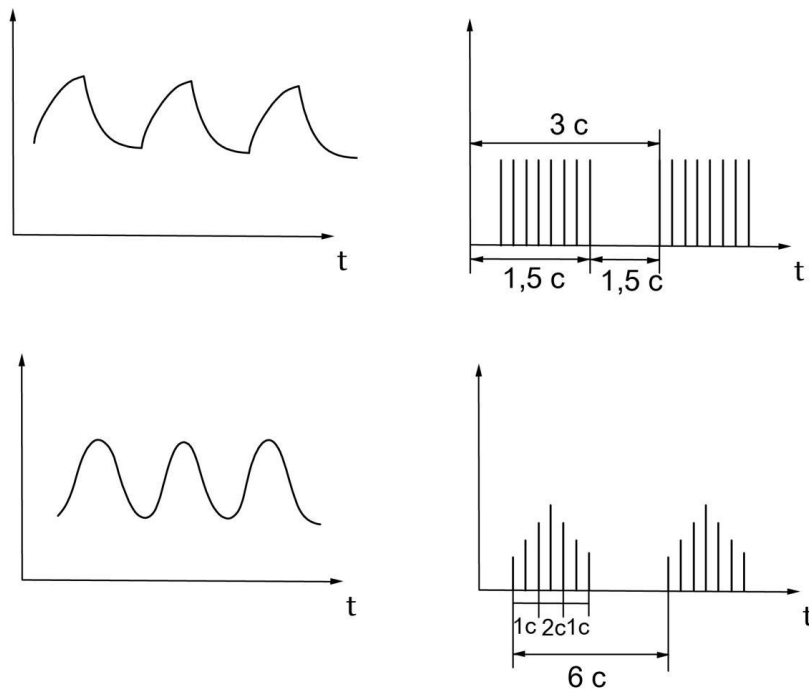


Рис.15. Основні види робочих струмів апарату:

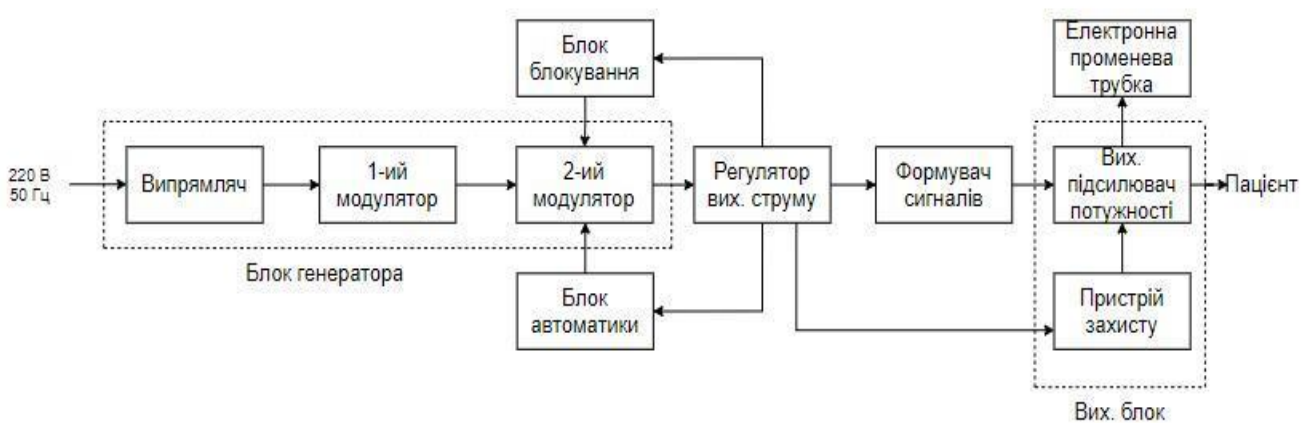


Рис.16. Структурна схема апарату для реабілітації «Тонус-1»

6.5. Апарат для реабілітації модульованими синусоїдальними струмами «Ампліпульс-4»

Характеристики:

- Частота синусоїдальних коливань 5 кГц,
- Частота коливань для модуляції 30, 50, 70, 100 і 150 Гц,
- Коефіцієнти модуляції 0, 50, 75, 100, 150%,
- Струм 0-80 мА.

Особливості амплітудної і частотної модуляції

При АМ модуляції за законом корисного сигналу змінюється амплітуда несучого коливання, а його частота не змінюється. При ЧМ (FM) за законом корисного коливання змінюється частота несучого коливання, а амплітуда стала.

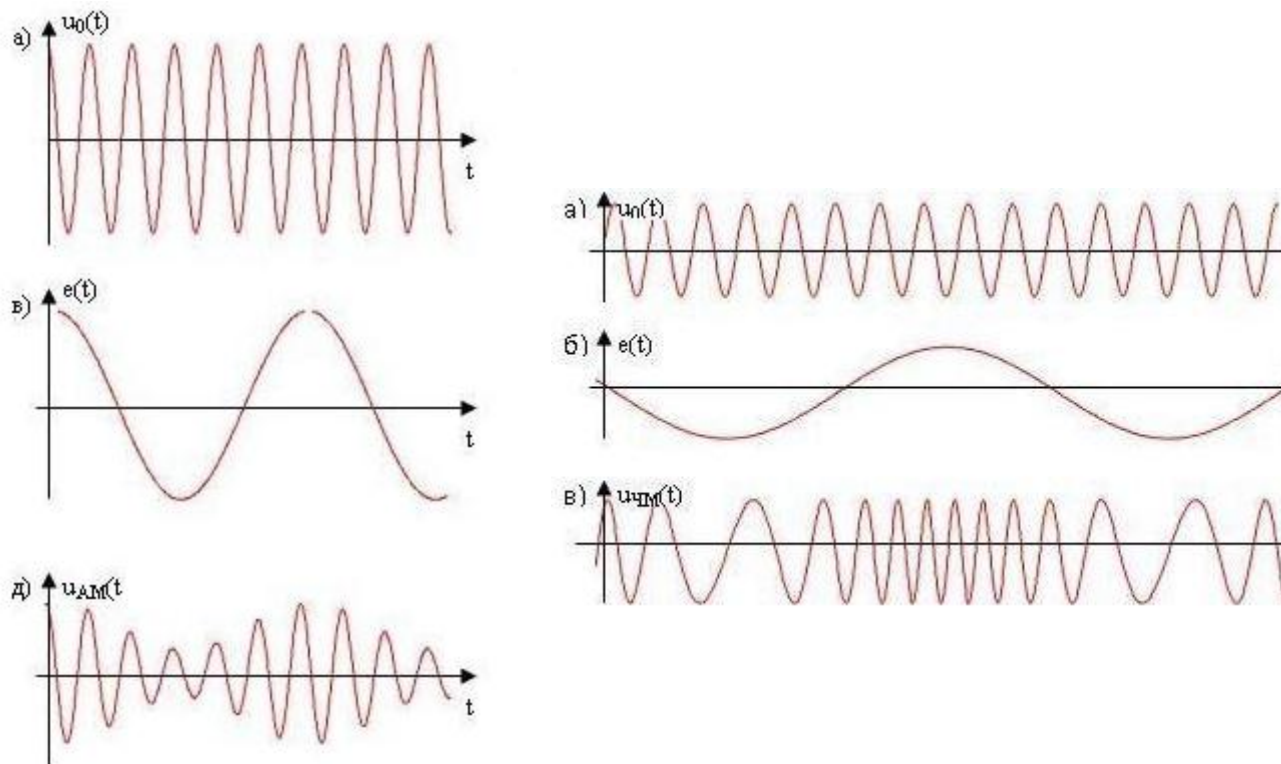


Рис.17. Амплітудна та частотна модуляція відповідно

Іде в ефір на ультракоротких хвилях, дециметрових хвилях і телевізійний сигнал. При АМ модуляції можливі шкідливі завади.

При частотній модуляції зрізається амплітуда, бо важлива частота і так досягається висока якість (наявність стерео) сигналу.

Цей апарат має генератор або джерело АМ синусоїдальних коливань з несучою частотою 5 кГц.

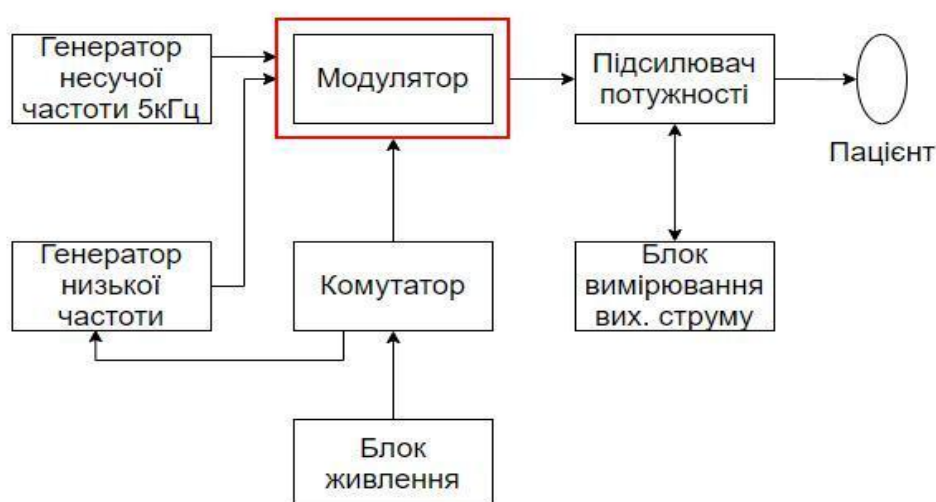


Рис.18. Структурна схема апарату «Ампліпульс-4»

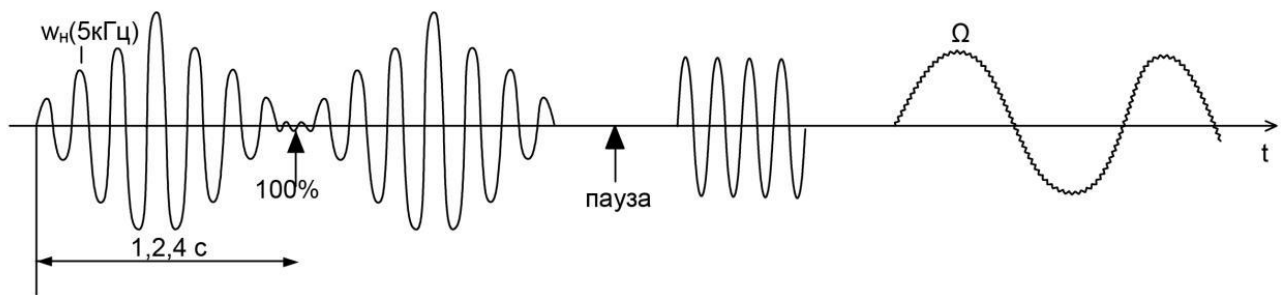


Рис.19. Форма вихідного струму апарату «Ампліпульс-4»

6.6. Апарат для електросну «Електросон-4Т»

Характеристики:

- найбільша амплітуда імпульсної напруги 50 В (для навантаження 5 кОм)
- тривалість імпульсів 0.5 мс
- частота слідування імпульсів 5-30, 25-150 Гц
- форма імпульсів
- сумарна тривалість фронту і зрізу менше 0.1 мс
- найбільша величина додаткової постійної складової струму 0.5 мА (для навантаження 5 кОм)
- коефіцієнт пульсацій менше 1%
- маса не більше 3 кг

6.7. Електрокардіостимулятори

При лікуванні і реабілітації серцево-судинних захворювань виникає необхідність коригування ритму серцевих скорочень (аритмія, екстрасистолія). Як правило це коригується медикаментозними засобами, а також за використанням спеціальної медичної апаратури – електрокардіостимуляторів.

При порушенні провідності нервових волокон серця від синусного вузла до шлуночків (атріовентрикулярна блокада) при появі додаткових екстрасистол шлуночків порушується автоматизм роботи серця, тому необхідно штучно підтримувати нормальний ритм за допомогою електричної стимуляції (ЕКС).

ЕКС бувають зовнішні і імплантовані (вживлюються в тулуб людини).

1. Зовнішні ЕКС використовуються тільки для тимчасової стимуляції в умовах медичних закладів і не мають ніяких схемних, конструктивних особливостей, які відрізняють їх від стимуляторів іншого призначення
2. Імплантовані ЕКС використовуються для постійної стимуляції пацієнта, який знаходиться в звичних для себе умовах життя.

Їх основні конструктивні елементи:

- 1) Корпус з електронікою
- 2) Блок живлення

3) Електроди

Об'єм 50-60 см³, маса 100-150 г, товщина не більше 25 мм.

Для стимуляції шлуночків використовують:

Прямокутні імпульси, напруга 3-5 В, тривалість 1 мс, частота повторення для **асинхронного** режиму роботи 70 \pm 3 імпульси/хв (для зовнішніх ЕКС параметри можуть регулюватись у більш широких межах).

Перші ЕКС працювали в асинхронному режимі при хронічній атріовентрикулярній блокаді.

Недоліки асинхронного режиму:

при такому режимі роботи може відтворюватись провідність нервових шляхів і з'являться два конкуруючих ритми (свій природній і штучний зовнішній примусовий), порушується нормальна робота серця, виникає фібриляція шлуночків.

Цей недолік компенсовано у біокерованих ЕКС.

Керування стимулятором відбувається за Р комплексами, або за R зубцем ЕКГ відповідно від потенціалів скорочення передсердя Р або шлуночків R.

Для Р керованих ЕКС спеціальний електрод у передсерді знімає потенціал Р, після його підсилення запускає генератор стимулюючих імпульсів (імпульс на виході генератора з'являється з затримкою 120 мс, цей час відповідає час розповсюдження хвилі збудження по нервовій системі серця). Якщо ЧСС передсердь менше за 70 уд/хв, або більше ніж 140 уд/хв, то стимулятор переходить на фіксований ритм 70 уд/хв.

ЕКС який керується R зубцем називається R заборонені стимулятори (стимулятори «за вимогою»), при цьому ЕКС генерує стимулюючі імпульси синхронно з R зубцем, але не завжди, а тільки коли ЧСС становиться нижче зазначеного рівня (70 уд/хв). Для нормальної природної активності генератор імпульсів закритий.

Їх основний недолік, щоб вони більш складні, ніж асинхронні.

ГОСТ 15.013-86 «Система разработки и постановки продукции на производство медицинского изделия».

ДСТУ «ДСТУ 3627-97. Вироби медичні». Розробка і запровадження у виробництво. Основні положення. Медико-технічні вимоги на розроблення і освоєння.

Повинна бути в МТВ.

При розробці нового медичного приладу обов'язково зробити порівняння з вітчизняними і зарубіжними аналогами, показати параметри і характеристики як мінімум трьох аналогів, не більш ніж 3-4-ої давності.

МТВ при проектуванні, розробці будь-якого медичного приладу повинно бути:

- Назва та позначення виробу
- Підстава для розроблення
- Виконавці розробки
- Мета і призначення розробки
- Джерела розробки
- Медичні вимоги
- Технічні вимоги
- Метрологічні забезпечення
- Економічні показники
- Стадії та етапи розробки
- Порядок випробувань та прийняття
- Додаткові вимоги

При керуванні ЕКС за R зубцем необхідно чутливість підсилювача приблизно 3 мВ, а для Р синхронізації ще менше – 1 мВ. При реєстрації R зубця використовується стимулюючий електрод, а для Р використовують спеціальний електрод передсердя. Надійність і довговічність роботи ЕКС визначається механічними і хімічними впливами на електроди.

Електроди використовують:

1. Міокардіальний – вводить в м'язи серця в епікард, довжина 50 см
2. Ендокардіальний – вводиться в порожнину серця крізь вену, довжина 60-80 см

Кінцівки електродів виготовляють з платини, платина іридієвого сплаву, а також сплавів на основі нікелю і кобальту.

Блоки живлення:

1. Ртутно-цинкові – працюють 2-3 роки
2. Літій-іонні – 5-7 років
3. Ядерні – 10 років, період піврозпаду 86 років

Недоліки: вплив різних фізичних зовнішніх завад і приладів – побутові прилади, терморегулятори (електрична грілка, простирадло), фізіотерапевтична апаратура, різні сканери, радарні пристрої. Тому бажано використовувати фільтри або додаткові захисні екрани.

Імплантований асинхронний ЕКС «ЕКС-4»

Використовується для лікування і реабілітації стійкої атріовентрикулярної блокади серця. Працює з ендокардіальними і міокардіальними електродами.

Характеристики:

- амплітуда прямокутних імпульсів $4,5 \pm 0,5$ В (на R навантаженні 510 Ом)
- тривалість імпульсу $1,2 \pm 0,2$ мс
- тривалість фронту менше 0,1 мс, зрізу менше 0,2 мс

- відносна нерівномірність вершини імпульсів не більше 40%
- частота повторення імпульсів 60-75 імпульсів/хв
- габарити 50x51x21 мм
- маса не більше 155 г

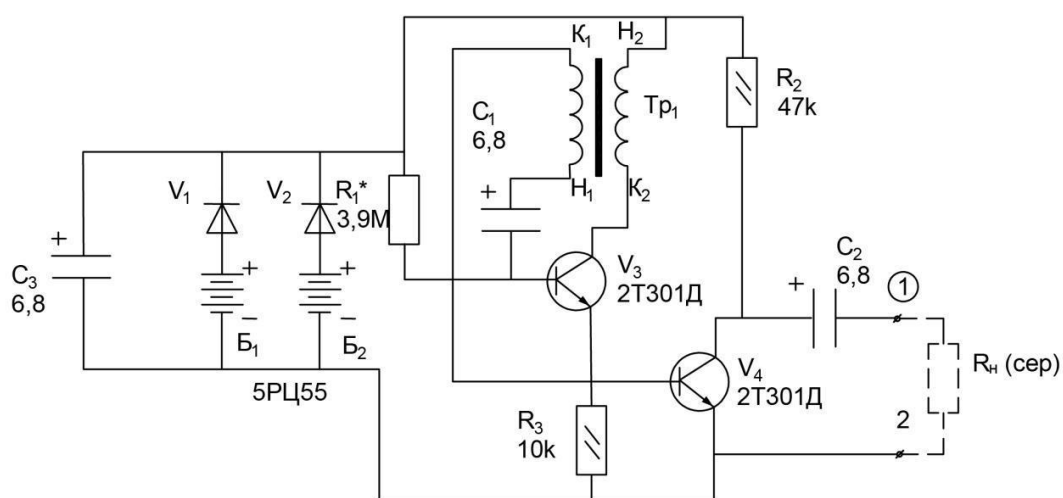


Рис.20. Принципова схема «ЕКС-4»

Джерело імпульсів – блокінг-генератор на транзисторі V3, тривалість імпульсів визначається параметрами імпульсного трансформатора Tr1, частота повторення (слідування) імпульсів резистором R1 і конденсатором C1. Блокінг-генератор працює з ключовим транзистором V4, який відкривається від'ємним імпульсом генератора V3. Конденсатор C2 частково розряджається через ключ V4 і навантаження (серцевий м'яз) на якому і формується імпульс стимуляції. У проміжках часу між імпульсами конденсатор C2 підзаряджається через резистор R2 (потужність 0,125 Вт) і навантаження (резистор R2 обмежує струм блоку живлення під час розряду C2).

Блок живлення – 2 елементи ртутно-цинкової батареї зашунтованих ємністю C3, діоди V1 і V2 дозволяють використовувати енергію батарей по чергово – батарея з меншою напругою не буде працювати поки інша батарея не розрядиться до ще меншої напруги. Корпус ЕКС виконаний з нержавіючої сталі – анод, ендокардіальний і міокардіальний електроди – катоди.

7. Апаратура для фізіотерапії НЧ- магнітним полем

7.1. Фізичні обґрунтування і методика проведення процедур

НЧ магнітне поле має індукцію менше 10-20 мТл і впливає на організм людини: покращується кровообіг, обмінні процеси, має протизапальну і

анестезуючу дію, покращує епіталізацію поверхонь з виразками, прискорює загоювання ран і зменшує зуд при шкірних захворюваннях.

Механізм лікувальної дії:

Наведення елементарної ЕРС в окремих структурах організму, зміщується рівновага в біохімічних реакціях, змінюється швидкість дифузії, змінюється структура і властивості води організму.

Для НЧ магнітореабілітації використовують спеціальні індуктори (котушки з змінним струмом):

1. Котушки з розірваним осердям (електромагніти, які забезпечують високу магнітоіндукцію у полюсів осердя)

Переваги: мають малу масу і габарити і використовуються при дії на окремі ділянки тіла.

2. Котушки без осердя (соленоїди, які створюють найбільшу магнітну індукцію у внутрішній частині).

Використовуються при дії на кінцівки, які вставляються в середину котушки.

Недолік: значні габарити, використовуються великі струми для живлення (стаціонарні апарати), використовують змінний струм частотою 50 Гц, а також пульсуючий одно- або двонавіперіодний струм.

Режими коливальних: безперервний, а також імпульсний з тривалістю роботи і паузи кілька секунд.

7.2. Апарат для НЧ магнітотерапії «Полюс-1»

Характеристики:

- максимальна магнітна індукція на поверхні індуктора: П-подібне осердя 35 мТл, пряме осердя – 25 мТл, порожнистий індуктор – 30 мТл
- режим роботи імпульсний
- тривалість роботи і паузи 2 с
- потужність споживання 100 Вт
- габарити без індукторів (кріплення індукторів) 860x540x500 мм
- маса менше 40 кг

Індуктори – електромагніти, магнітне поле яких без ослаблення проходить через шерсть, бавовну, гіпс. При збільшенні відстані від поверхні індуктора магнітна індукція швидко зменшується – у полюсів вона максимально 30-35 мТл, на відстані 3 см – зменшується у 6-8 разів, а на відстані 5 см – зменшується в 10-20 разів.

При проведенні процедур реабілітації з НЧ магнітним полем обов'язково попередньо необхідно зробити (вимірювати) розподіл вектора магнітної індукції у просторі за допомогою індуктивного методу – це обов'язково повинна бути дозиметрія перед початком медичних процедур.

Індуктивний метод використовує спеціальну вимірювальну котушку діаметром 1-2 см, яка розміщується у різних точках простору поля і напруга, яка наводиться на ній, відповідає індуктивності поля. Котушка орієнтується у двох перпендикулярних напрямках, у кожній точці поля підраховується модуль і напрямлення вектора індукції. Для проведення процедур з максимальною індуктивністю поля зазор між кришкою і полюсом осердя не повинен перевищувати 1мм.

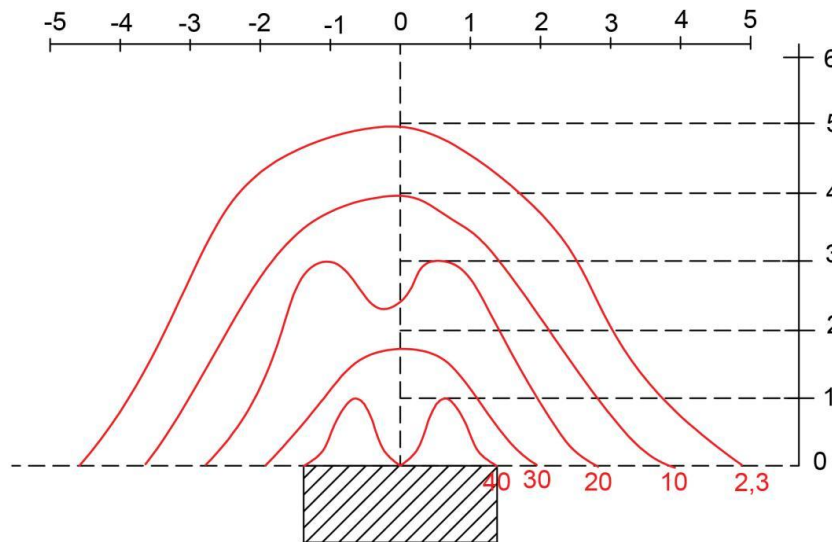


Рис.21. Розподіл магнітної індукції на поверхні індуктора

8. Апарати для фізіотерапії постійним електричним полем та аероіонами

8.1. Фізичні обґрунтування і методика проведення процедур

Перша електролікувальна процедура – електростатичний душ (франклінізація), при якому хворий розміщувався в постійному електричному полі між електродами 30-40 кВ, ця напруга вироблялась електричною машиною (19 століття).

Сучасні методи принципово не відрізняються від «старих» апаратів, змінюється тільки джерела високої напруги. Ця процедура є загальна і місцева:

1. Загальна франклінізація – пацієнт розміщується на стільці босоніж, нижній електрод заземлюється щоб зменшити накопичений на пацієнті статичний заряд, який при випадковому контакті з пацієнтом обумовлює появу випадкових іскор (розрядів). На відстані 12-15 см над головою пацієнта розміщується від'ємний електрод (позитивний іде на ноги і заземлюється) у вигляді напівкулі, зірки або гострої прямокутної

пластини. Між електродами відбувається тихий електричний розряд інтенсивність якого залежить від напруги.

2. Місцева франклінізація – один електрод (напівкуля чи напівсфера, кулька чи гострий електрод) розміщується на відстані 5-7 см від поверхні тіла, другий електрод (пласка гладка пластина) контактено розміщується під пацієнтом і між електродами відбувається тихий електричний розряд.

Лікувальна дія розряду: в тканинах організму людини відбувається поляризація молекул в діелектрику (зв'язки, кістки, сухожилля, тощо) і з'являються мікроструми в тканинах провідника (кров і лімфа). Іонний потік формує «електричний вітерець», дозування якого відбувається регулюванням напруги або (і) відстанню між електродами. При чому мінімальна напруга 5 кВ, максимальна 50 кВ (для загальної) і 15-20 кВ (для місцевої).

Особливості аероіонофізіотерапії

Принцип лікувальної дії полягає в тому, що в основному атомі азоту втрачається один електрон або приєднується до нього електрон з нейтрального атому кисню.

Існують такі аероіони:

1. «Легкі» аероіони. Розміри: радіус 10^{-4} мкм = 1 \AA
2. «Легкі» аероіони з додавання твердих або рідких частинок і перетворюються в тяжкі аероіони радіусом 100 нм (0,1 мкм)

Якщо до легких аероіонів додаються молекули води виникають проміжні (середні) аероіони.

Всі аероіони мають такі характеристики:

- рухливість в електричному полі (см/с). Для легких – $0,5-2 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$, для важких ця цифра у 1000 раз менша

- коефіцієнт уніполярності аероіонів – відношення кількості позитивних аероіонів в одиниці об'єму повітря на кількість від'ємних або негативних. Для легких аероіонів цей коефіцієнт у нижніх шарах атмосфери землі складається з 1,1-1,2 – тому що земля має негативний заряд і всі приповерхневі аероіони ідуть вгору. При природних умовах у нижніх шарах атмосфери землі в 1 см^3 сотні тисяч легких і сотні десятків тисяч важких. Кількість аероіонів збільшується при забрудненні повітря і є суттєвим фактором ризику для захворювання дихальних шляхів або організму людини.

Для аероіонореабілітації одночасно з апаратами франклінізації використовують спеціальні генератори аероіонів:

1. **Електроєфлювіальні генератори** – генерують високу напруженість електричного поля біля гострих стрижнів під напругою

2. **Радіоактивні генератори** – під впливом іонізуючої дії альфа і бета випромінювання за допомогою радіоактивних ізотопів відбувається генерація аероіонів. (аероіонізатор Штейнбока використовує бета випромінювання прометія-147)
3. **Гідроаероіонізатори** – працюють на балоелектричному ефекті (пр. розпиленні води або ліків утворюються від'ємнозаряджені капельки – гідроаероіони)
4. **Термічні іонізатори** – використовують термоелектронну емісію розжарювальних металів (нехромовий дріт нагрівають до жовто-білого каління 1200 °С, а дріт знаходиться під напругою сотні вольт від'ємного потенціалу)
5. **Фотоіонізатори** – забезпечують іонізацію повітря під впливом ультрафіолетового випромінювання

Найбільш поширеними генераторами є електроефлювіальні, гідроаероіонізатори. Ці генератори використовують при реабілітації захворювань дихальної системи, імуномодуляції при дії на рефлексогенні зони, а також при реабілітації після опіків виразок чи захворювань шкіри.

Метод використовується при інгаляціях, дії на слизові оболонки та поверхні виразок, ран.

В процесі дихання аероіони осідають на слизову оболонку на поверхню верхніх дихальних шляхів і передаються у кров та лімфу.

Під впливом електрохімічних процесів внаслідок заряду аероіонів знижується місцева збудженість нервових закінчень відбувається електрохімічні реакції на клітинному рівні, відбувається загальноіонізуючий вплив аероіонів на організм людини в цілому.

При лікувальній дії за одну процедуру формується 10-15 млрд. іонів для 14-18 видихів та вдихів хв перекачується 5-7 л. повітря і відповідно доза отримується за 10 хв.

Таким чином залежно від продуктивності генератора розраховується доза і тривалість процедури. На відстані 0,5 м в 1 см³ генерується від 10000 до кількох мільйонів аероіонів.

8.2. Апарати для франклінізації і аероіонної реабілітації

1. «АФ-3-1»

Використовується для проведення процедур загальної і місцевої франклінізації, групової та індивідуальної аероіонотерапії.

Характеристики:

- Вихідна напруга 50 кВ, при навантаженні 2500 МОм – 2,5 Том.

- Регулювання вихідної напруги відбувається десяттю значеннями через 5 кВ.
- Струм короткого замикання на виході менше 400 мкА
- Потужність споживання 50 Вт
- Маса не більше 35 кг

Спеціальний портативний індивідуальний аероіонізатор АИР-2

Характеристики:

- Продуктивність 1,4 млн. іонів в 1 см^3 на відстані 25 см від передньої кришки
- Маса 1,8 кг

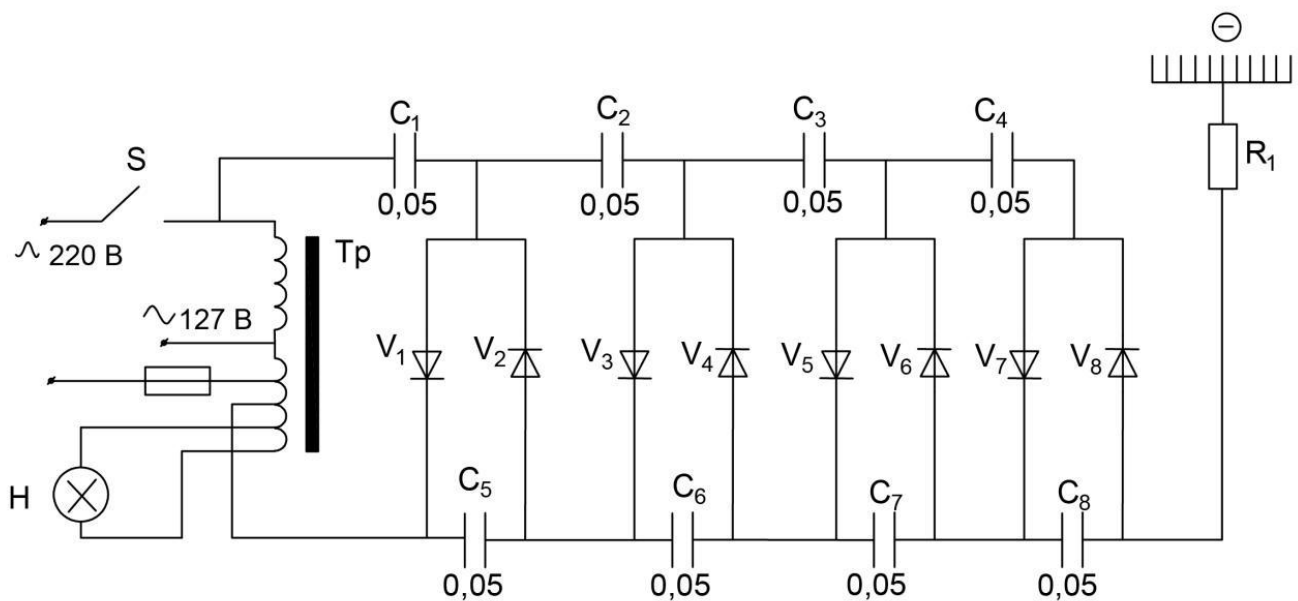


Рис.23. Принципова схема індивідуального аероіонізатора АИР-2

Схема являє собою 8-ми разовий помножувач напруги з використанням C1-C8, та селенових стовпчиків V1-V8. Від'ємний електрод приєднаний до схеми через обмежувальний R1. Він формує потік аероіонів на відстані 15 см від поверхні 5,4 млн., 50 см – 200 тис., 1 м – 30 тис. і використання цих електроіонізаторів відбувається під час профілактичних або лікувальних інгаляцій.

8.3. Апарати для фізіотерапії електроаерозолями

§1. Фізичні обґрунтування і методика проведення процедур

Аерозолі – рідкі або тверді частинки які зважені у газоподібному середовищі. Для аерозоль реабілітації широко використовують аерозолі лікарських речовини з радіусами 0,5-25 мкм.

Всі аерозолі поділяють:

- Радіус менше 4 мкм – високодисперсні
- Радіус більше 4 мкм – грубодисперсні

Від розмірів аерозолію залежить глибина проникнення в систему легенів:

- якщо радіус більше за 50 мкм, то частинки попадають у ротову та носову порожнини і не доходять до трахеї

- радіус 15-25 мкм – трахея та великі бронхи

- радіус менше 10 мкм – бронхи 2 та 3 порядків

- радіус менше 1 мкм – направляються в альвеоли

Переваги: при застосуванні аерозольних лікарських засобів збільшується сумарна поверхня частинок аерозолі. Вони щільно контактують з оболонками дихальних шляхів, швидко всмоктуються і переходять в кров та лімфу. Таким чином значно підвищується ефективність ліків. Наприклад, площа поверхні рідини у вигляді кулі об'ємом 1 мм^3 складає $4,84 \text{ см}^2$, але при розпиленні цих кульок на частинки з радіусом 5 мкм, площа поверхні збільшується до 6000 см^2 , при цьому найбільша швидкість всмоктування ліків у кров та лімфу відбувається в альвеолах. Тому при лікуванні нижніх ділянок легень використовуються високодисперсні аерозолі, а для верхніх – грубодисперсні. Якщо зарядити аерозолі лікарських речовин, то вони називаються електроаерозолі, при цьому наявність заряду забезпечує більш повне проникнення і осідання в дихальних шляхах. Так як однаково заряджені частинки відштовхуються і більш щільно заповнюють простір, при цьому концентрація ліків приблизно у 2 рази більша, ніж за звичайною дією.

Основні генератори аерозолів рідких лікарських речовин:

1. Пневматичні або форсуночні розпилювачі
2. Відцентрові генератори – під впливом відцентрової сили порушується (руйнується) плівка речовини, рідина відривається від об'єму і утворюються аерозольні частинки. Недолік: проблема і труднощі в забезпеченні вузького спектру розмірів частинок.
3. Ультразвукові генератори – параболічний п'єзо перетворювач, який формує фонтан рідини і з її поверхні зриваються частинки аерозолі. Перевага: на порядок більша продуктивність, порівняно з пневматичними. Недолік: залежність продуктивності від густини рідини – більша густина, менша продуктивність.

Під час генерації аерозолів відбувається їх електризація, але цей заряд дуже малий, тому для підвищення зарядів аерозолі додають зовнішню додаткову електризацію і отримують електроаерозолі.

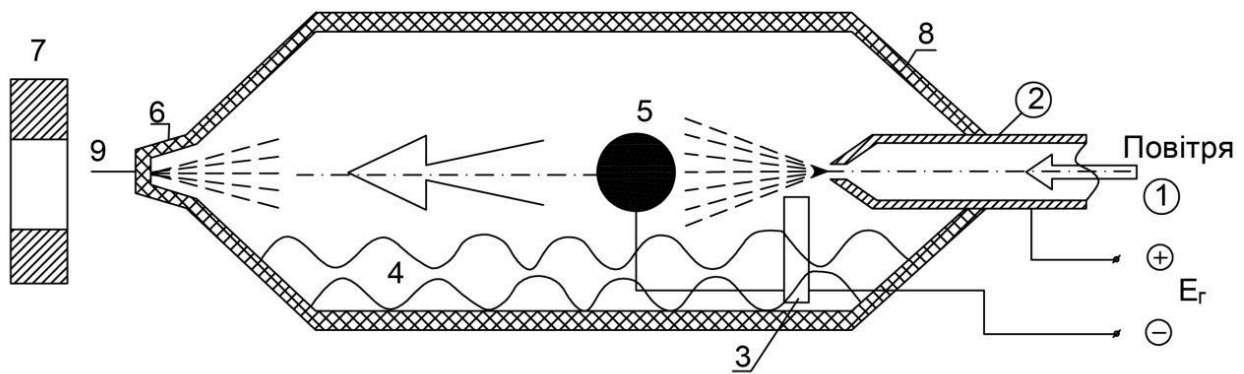


Рис.23. Генератор електроаерозолів, що працює за принципом інжекції

- 1 – повітря або стислий газ
- 2 – форсунка
- 3 – трубка
- 4 – рідина з ліками
- 5 – сепаратор
- 6 – патрубок конусоподібний
- 7 – електронагрівач
- 8 – корпус генератора
- 9 – потік аерозолів

Стисле повітря 1 від компресора або балона з киснем направляється в сопла форсунки 2. Струміння повітря виходить з форсунки з великою швидкістю, на виході він стискається і тиск біля трубки 3 зменшується. Рідина 4 піднімається по трубці 3, змішується з повітрям і формуються аерозолі (аерозольні частинки). Вони направляються на сферичний сепаратор 5 – великі частинки залишаються на поверхні і повертаються у розчин, а середні і малі направляються по патрубку 6 на вихід з корпусу 8. Додаткова електрична напруга (ЕГ) формує електроаерозолі. Ця об'ємна суміш на виході генератора нагрівається нагрівачем 7 до температури 38°, тому що під час розпилення аерозоль суттєво охолоджується.

Під час генерації враховують такі технічні параметри генератора:

- 1. Продуктивність аерозолів по повітря – витрати повітря в л/хв при формуванні аерозолу.
- 2. Продуктивність виробництва за рідиною – витрати розчину в г/хв
- 3. Дисперсність аерозолу – максимальний радіус більшості часток аерозолу
- 4. Полярна об'ємна густина зарядів – кількість елементарних від'ємних зарядів

5. Продуктивність виробництва заряду аерозолі – величина заряду, що надається частинкам за одиницю часу
6. Коефіцієнт уніполярності – модуль відношення об'ємної густини позитивних зарядів до об'ємної густини від'ємних зарядів

8.4. Апарати для електроаерозоль фізіотерапії

1. Апарат генератор електроаерозолі груповий «ГЕХ-2»
2. Генератор електроаерозолі індивідуальний «ГЕІ-1»

Характеристики:

- застосовується для індивідуальної інгаляції водними розчинами ліків, незаряджених аерозолями масел та масляних розчинів для нанесення цієї речовини на поверхню тіла людини
- продуктивність за рідиною не менше 0.4 г/хв
- витрати стислого повітря 4.5 л/хв при тиску 1.5 атм/м²
- продуктивність за зарядом 10^{-9} А
- дисперсність аерозолів – радіус 0.5 – 2.5 мкм – 70%, 2.5 – 5 мкм 30%
- температура 35 ± 7 °С
- потужність споживання 100 Вт
- маса не більше 12 кг

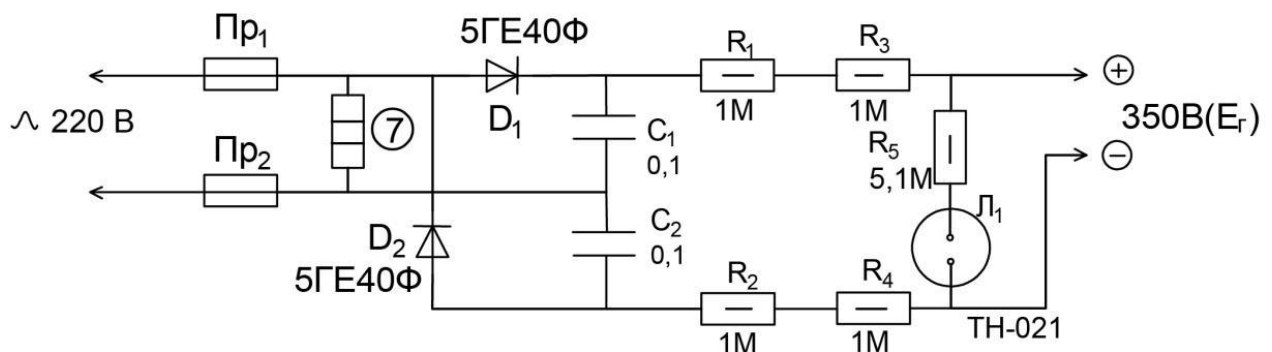


Рис.24. Принципова схема генератора електроаерозолів «ГЕІ-1»

Ця схема – схема випрямляча за без трансформаторною схемою. Діоди D1, D2, конденсатори C1, C2 це і є помножувач на 2. Резистори R1-R4 для безпеки людини при випадковому доторканні до схеми, індикатор Л1 – лампа при випадкових закороченнях і вимиканні приладу гасне. В схемі використовується нагрівач 7 для нагрівання електроаерозолі.

9. ВЧ- апаратура для фізіотерапії

9.1. Фізичне обґрунтування і методики проведення процедур ВЧ- реабілітації

Фізичні основи дії ВЧ коливань на тканини організму людини

Основою лікувальної дії ВЧ коливань є первинна дія на заряджені частинки електрони, атоми і молекули з такими ефектами:

1. Тепловий ефект
2. Специфічний ефект

Тепловий ефект при проведенні процедур має переваги від інших теплових дій (наприклад, грілка, ГЧ нагрівання, тощо).

Переваги:

1. Нагрівання біотканини відбувається не за рахунок передавання тепла від нагрітої поверхні тіла, а внаслідок безпосереднього виділення теплоти у внутрішніх тканинах і органах (носові пазухи). Це зменшує тепло ізолюючу дію поверхні шкіри і підшкірної жирової тканини, системи кровообігу і лімфообігу.
2. Кількість теплоти що виділяється в біотканинах залежить від параметрів коливань, амплітуди, частоти і електричних властивостей тканини – змінюючи частоту коливань на генераторі можна виділити тепло у визначених тканинах – «термоселективна дія»
3. Легко регулюється потужність випромінювання, змінюється інтенсивність теплового ефекту з детермінованих впливом на біотканин.

Специфічний ефект

Специфічний ефект має на ультра і надвисоких частотах.

Проявляється:

1. Змінюються внутрішньомолекулярні, фізико-хімічні процеси
2. Відбувається структурна перебудова і функціональний стан клітин і біотканин
3. Еритроцити змінюють своє положення відносно електричних силових ліній, лейкоцити і білкові макромолекули змінюють свою поряризацию

Таким чином відбуваються процеси на макрорівні, що відповідає першому етапу реабілітації – відбуваються метаболічні зміни і імунокорегування.

На ефективність дії ВЧ реабілітації впливають електричні та магнітні параметри біотканин.

1) Електричні параметри біотканин визначаються діелектричною проникністю ϵ і питомою електричною провідністю σ . Ці характеристики залежать від вмісту в них води з розчинами солі.

2) Магнітні властивості біотканин – у цьому діапазоні визначаються недостатньо і їх можна не враховувати.

Всі біотканини поділяються за вмістом води в них:

1. Рідкі тканини (кров і лімфа) – водна суспензія клітин та білкових молекул.
2. М'язові тканини (серце, нирки, печінка) – мають велику кількість води, але також мають ущільнену структуру
3. Жир і кістки – тканини з малим вмістом води

Іонна провідність рідких середовищ у біотканинах обумовлює струм провідності – струм провідності, таким чином витрати енергії ВЧ випромінювання виділяється у формі Джоулевої теплоти (втрати провідності).

Діелектрична провідність ϵ , а також питомий опір ρ обернено пропорційний провідності σ для м'язової і жирової тканини і змінюються залежно від частоти.

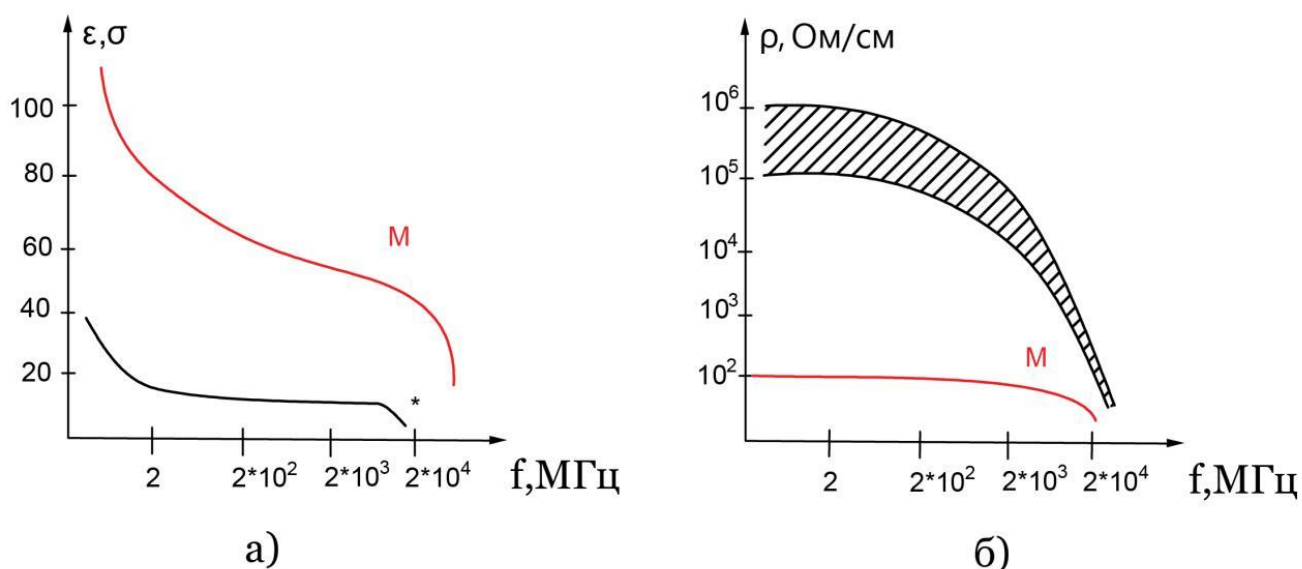


Рис.25. Залежність ϵ і ρ від частоти для м'язової і жирової тканини

При збільшенні частоти ϵ зменшується і збільшується діелектричні втрати біотканини – змінюється ємність мембран і внутрішньоклітинна рідина виходить назовні і збільшує провідність біотканини. Таким чином питомий опір падає, а опір падає.

На нижніх частотах струм протікає тільки через міжклітинне середовище, яке і визначає провідність тканини, а ємності мембран клітини визначають її суттєву діелектричну проникність. На частотах вище 100 МГц мембрани клітин не впливають на електричні властивості тканин.

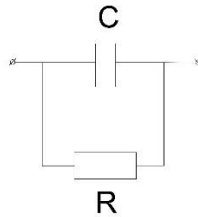
При збільшенні частоти в подальшому на електричні властивості тканини впливає полярні молекули води (електричні диполі) – під впливом зовнішнього поля вони орієнтуються вздовж поля (орієнтацій на поляризація), яка відбувається

за час релаксації і додаткові втрати при таких процесах називають діелектричними.

Якщо частоти невисокі (період коливань більше періоду релаксації), тоді орієнтація молекул відбувається відповідно змінам поля, вони встигають завершити коливання – діелектричні втрати малі, а діелектрична провідність велика.

При збільшенні частоти ϵ падає і діелектричні втрати збільшуються.

Для ідеального діелектрика існує еквівалентна схема, де C – ідеальний конденсатор, R – опір втрат.



Струм через діелектрик визначається: $I_d = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \sqrt{\frac{U^2}{R^2} + (U\omega C)^2}$,

де U – напруга на діелектрику, ω – кутова частота коливань, δ – кут втрат в діелектрику, φ – кут зсуву фаз між струмом і напругою

$$\delta = \arctg \frac{I_a}{I_p} = \arctg \frac{U}{RU\omega C} = \arctg \frac{1}{R\omega C}$$

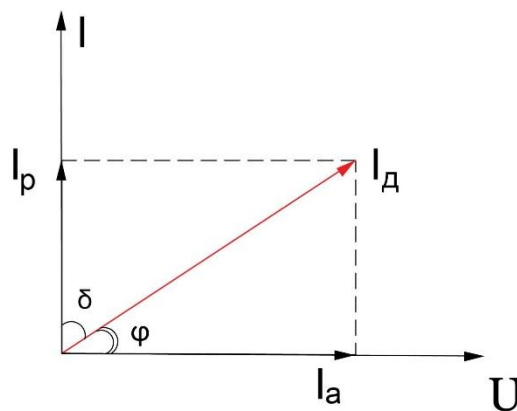


Рис.27. Активний та реактивний струми

Реактивна складова не викликає втрат енергії. Визначає реактивну провідність конденсатора і залежить тільки від діелектричної проникності діелектрика і частоти коливань. Активна складова визначає втрати енергії (нагрівання біотканини) і визначається питомою провідністю діелектрика і визначає всі втрати в діелектрику – коливальний рух іонів і діелектричні втрати внаслідок повороту діелектричних молекул.

Втрати енергії за одиницю часу в одиниці об'єму діелектрика для поля напруженості E визначається:

$$1. \text{ Через питому провідність } P_1 = \sigma \cdot E^2$$

2. Через кут втрат в діелектрику $P_2 = w\varepsilon\varepsilon_0tg\delta$

9.2. Метод діатермії

Суть методу полягає у прогріванні тканин тіла людини ВЧ струмом (1.5-2 МГц) за допомогою двох електродів на поверхні тіла з робочим струмом 2 А. Подразлива дія змінного струму при збільшенні частоти зменшується – так як порушується іонна рівновага між протоплазмою клітини і зовнішнім середовищем – іони зміщуються відносно свого середнього положення. При частоті 100 кГц це зміщення іонів сумісне зі зміщенням під час теплового молекулярного руху, змінний струм подразливої дії на біотканину не спричиняє.

Теплова дія струму при діатермії визначається іонними втратами (тепло, яке виділяється при коливанні іонів).

За законом Джоуля-Ленца кількість теплоти за одиницю часу в одиниці об'єму однорідної біотканини: $q = 0.24 \cdot j^2 \cdot \rho$

де q - калорії (кількість теплоти), j - густина струму, ρ - питомий опір біотканини (для частоти 1-2 МГц ρ для крові, м'язів, тканин внутрішніх органів дорівнює 100-200 Ом*см, а для жиру і кісток – 2-5 кОм*см).

Недоліки методу:

1. Густина струму більша під електродами, вона нагріває поверхневі тканини, глибинні тканини прогриваються менше
2. При поганих контактах на електродах можуть виникати місцеві опіки

Електроди використовуються: плоскі свинцеві, порожнисті з нержавіючої сталі, циліндричні для суглобів рук, плоскі невеликі для простати.

При внутрішніх електродах густина струму визначається гарним контактом з біотканиною і відповідно має величину 0.01-0.03 А/см².

9.3. Електрохірургія при фізіотерапії захворювань шкіри

Використовується для видалення папілом, бородавок, косметичних операцій, зупинки кровотечі і для видалення татуювань.

Метод заснований на виділенні теплоти (великих питомих значень) і внаслідок цього руйнування біотканини. Інтенсивне тепловиділення відбувається при застосуванні активного електрода в 1000–3000 р. менші за інший пасивний електрод – монополярна методика. І при торканні активним електродом поверхня шкіри різко збільшується густина струму на поверхні біотканини.

При електрохірургії відбуваються процеси:

- 1) зварювання тканин – електрокоагуляція. Електрокоагуляція відбувається при активному електроді у формі кулі або диска, який щільно притискується до тканини, вмикається струм t^0 60–80⁰ – незворотне

згортання тканинних білків і тканина біліє навколо електрода. Глибинна дії не більше діаметра електрода і така операція використовується для видалення папілом, косметичні операції тощо.

- 2) розсічення тканини – електротомія. Електротомія – активний електрод у вигляді леза, голки або кільце з дроту. При нагріванні біотканини клітина і міжклітинна рідина миттєво випаровується і розривають біотканину. Глибина розрізу в мм і ступінь коагуляції тканини визначається величина струму і швидкістю руху активного електрода.

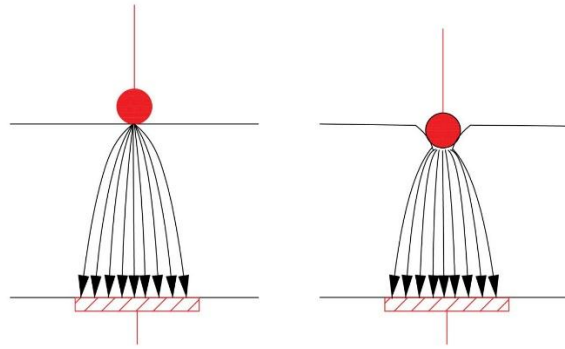


Рис.28.

Переваги:

- 1) безкровний розріз – малі судини заварюються спеціальним зажимом з електродом і відбувається одночасна коагуляція мікрокапілярів, що зменшує кровотечу;
- 2) коагуляція краю рани чи зрізу. Таким чином виключається інфекція, яка може потрапити в кров і лімфатичні шляхи.
- 3) тканина на електроді руйнується, електрод є стерильним;
- 4) відбувається одночасна коагуляція нервових волокон, зменшується біль в післяопераційний період.

9.4. Дарсонвалізація і фізіотерапія струмом надтоальної частоти

1. Дарсонвалізація

Дарсонвалізація – перший метод ВЧ терапії.

На частоті 200 – 500 кГц іскровим генератором формується ВЧ електричне поле, яке діє на людину. Для цього метода є загальна та місцева дія.

- 1) **Загальна дія.** При загальній дії пацієнт розміщується всередині котушки генератора з максимальною індукцією 1-2 мТл – діє електромагнітне поле індукції, яке формується ВЧ електричним полем. Струм і поле мають імпульсний характер. Цей метод не отримав широкого впровадження.
- 2) **Місцева дія.** Коли виникає високочастотний електричний розряд між електродом і поверхнею тіла людини, який змінюється від тихого до

слабкого іскрового розряду. Електрод скляний з повітрям (колба), тиск 0,1–0,5 атм. І формуються імпульси ВЧ коливань 20–30 кВ.

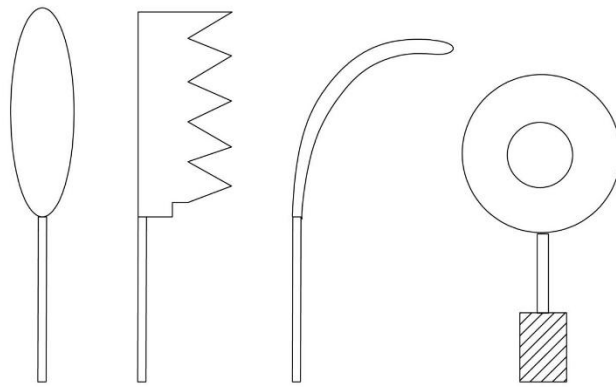


Рис.29. Види електродів

.2. Реабілітація струмом надтонональної частоти

Цей метод багато у чому співпадає з місцевою дарсонвалізацією – ВЧ генератор з частотою 22 кГц за допомогою ВЧ трансформатора формує напругу до 4,5–5 кВ. Ця напруга подається на скляний електрод (порожнистий) з неоном.

Фактори лікувальної дії: ВЧ струм і тихий іскровий розряд.

Переваги:

- 1) Немає подразливої дії струму
- 2) Підсилюється місцевий кровообіг
- 3) Стимулюються обмінні процеси в біотканинах
- 4) Відбувається протизапальна і знеболююча дія

Захворювання: гінекологія, шкіряні місцеві запальні процеси, стоматологія, при захворюванні ясен.

Процедуру треба проводити обережно головне без контакту з емаллю зубів.

9.5. Індуктотермія

Принцип дії полягає в тепловому ефекті під впливом ВЧ магнітного поля, яке формується електромагнітною індукцією.

Індуктотермія використовує магнітне поле, яке сформовано спеціальною котушкою з ВЧ струмом (індуктор).

Під впливом змінного магнітного поля в біотканинах формується електрорушійна сила індукції і з'являються (створюються) вихрові струми, які формують і підсилюють тепловий ефект.

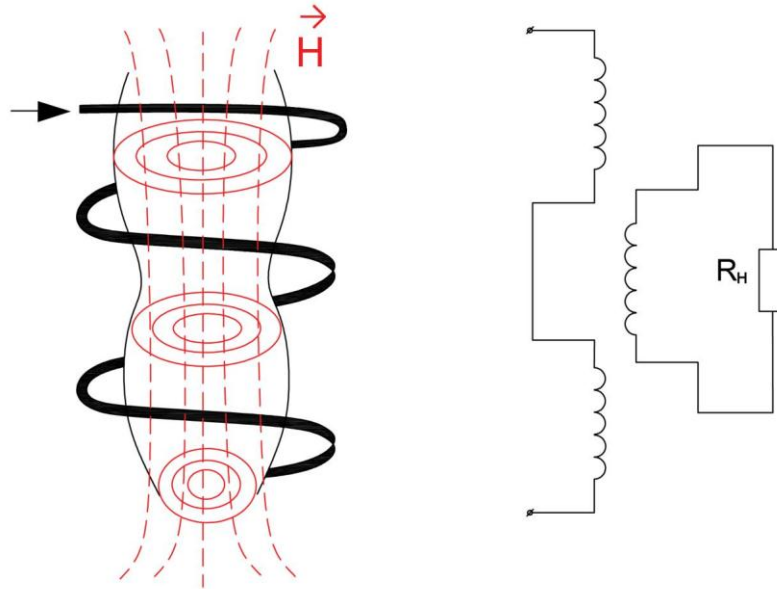


Рис.30. Еквівалентна схема індуктора з об'єктом має вигляд

Кількість теплоти q , яка виділяється ВЧ магнітним полем за одиницю часу в одиниці об'єму біотканини прямопропорційна квадрату частоти f^2 , квадрату напруженості магнітного поля H^2 , питомій провідності σ

$$q \sim f^2 H^2 \sigma$$

Найбільше тепла при індуктотермії буде відтворюватись у біотканинах з більшою провідністю кров, лімфа і м'язи.

Переваги :

- 1) Безконтактна дія і можна діяти через бавовняну тканину або гіпс на кінцівці
- 2) Виділяється тепло у м'язових і глибоких тканинах, а головне поверхні прошки тканини шкіри і жирової тканини не нагрівається

Недоліки:

- 1) Кількість теплоти q , яка виділяється в біотканини пропорційна квадрату магнітного поля, тому при збільшенні відстані від котушки магнітного поля суттєво зменшується, суттєво зменшується виідження теплоти на великих глибинах
- 2) При процедурі можуть виникати ємнісні струми внаслідок ємності поверхні тіла людини, вони погіршують розподіл енергії між частинами тіла і нагрівають поверхні тканини тому використовуються індуктори з кількістю витків меншими 4 і частота коливань 10-40 МГц.

9.6. Метод УВЧ -фізіотерапії (КВЧ)

Це найбільш поширений електролікувальний метод, коли на біотканину від генератора УВЧ коливань діє електричне поле ВЧ.

Використовується частота 25–50 МГц – на цих частотах втрати в тканинах за рахунок іонної провідності і існують діелектричні втрати внаслідок орієнтаційних коливань дипольних білкових молекул.

Всі апарати для УВЧ терапії працюють на частоті $40,68 \text{ МГц} \pm 2\%$, але вони мають різну вихідну потужність. Під впливом УВЧ поля (коливань) одночасно відбувається теплова і специфічна дія у клітинах і молекулярних структурах.

Переваги:

- 1) Розподіл тепла між поверхневими і глибинними тканинами більш сприятливий чим при діатермії так як частота збільшена в десятки разів, ємнісний опір біотканини зменшується, збільшується реактивна складова ВЧ струму, що суттєво підвищує ефективність дії на внутрішні тканини і органи.
- 2) Процедури проводяться з зазорами між електродом і тілом людини на відміну від діатермії, що зменшує небажаний нагрів поверхневих тканин.

Недолік:

Поле між електродами розподіляється нерівномірно – більш рівномірно по центру і на периферії за рахунок краєвого ефекту вони викривляються, але вибором величини електроду, величини зазору, нахилом електродів можна забезпечити лікувальний вплив на необхідну ділянку біотканини.

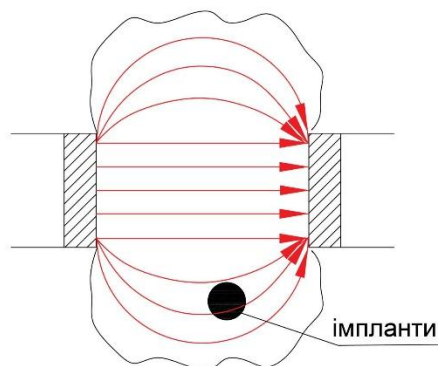


Рис.31.

9.7. Імпульсна УВЧ -фізіотерапія

Імпульсна УВЧ -фізіотерапія використовує надпотужні короткотривалі імпульси високої частоти. Потужність у імпульсі у 40 разів більша ніж для безперервного режиму і складає 15 кВт, а середня потужність на 3 порядки менша ніж для імпульсного режиму (потужність імпульсу). Таким чином середня потужність 15 Вт формує теплові ефекти, але у незначному обсязі, а дуже велика напруженість електричного поля для імпульсного режиму значно посилює специфічний ефект – змінюється структура білкових молекул, концентрація іонів

у клітинних мембранах і відбувається гідратація іонів і молекул – суттєво змінюється функціональна діяльність клітин центральної і вегетативної нервової системи, таким чином змінюється функціонування всього організму в цілому.

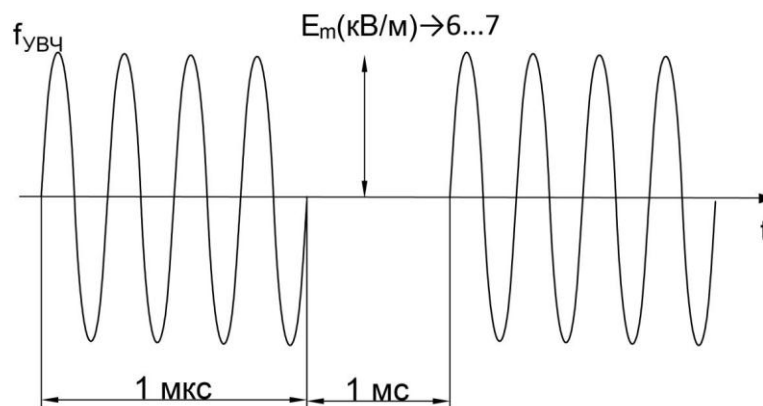


Рис.32.

Перевагами є можливість використовувати інтенсивну специфічну дію електричного поля, але без помічного теплового ефекту. Частота коливань в імпульсах співпадає з частотою роботи безперервних УВЧ – $40-68 \pm 2\%$ МГц.

9.8. Дециметровая (ДМХ) і сантиметровая (СМХ) фізіотерапія

Принцип дії ДМХ і СМХ реабілітації полягає в поглинанні електромагнітної енергії в біотканинах організму. Для СМХ реабілітації використовується частота 2.45 ГГц, що відповідає довжині хвилі 12.25 см. Це робоча частота, але є стандарт для країн СНГ використовується одна частота 2.375 ГГц, що відповідає довжині хвилі 12.6 см. Це діапазон не є оптимальним, існують суттєві обмеження коливань в цьому діапазоні, тому використовують другий робочий діапазон – ДМХ з робочою частотою 460 МГц, що відповідає довжині хвилі 65 см.

При використанні цих методів існують втрати енергії на коливаннях іонів електролітів + релаксаційні втрати коливань молекул води (ці втрати значно збільшуються в діапазоні СМХ – мають приблизно 50% всіх втрат). Таким чином найбільше поглинання енергії на відміну від діатермії і УВЧ терапії відбувається у тканинах з великою кількістю води (кров, м'язи), найменше поглинання у жирових і кісткових тканинах.

Для частота 2.375 ГГц глибина проникнення у м'язові тканини 1 см, для жирових 4 см. При ДМХ реабілітації глибина проникнення у м'язові тканини збільшується у 2 рази і складає 2 см.

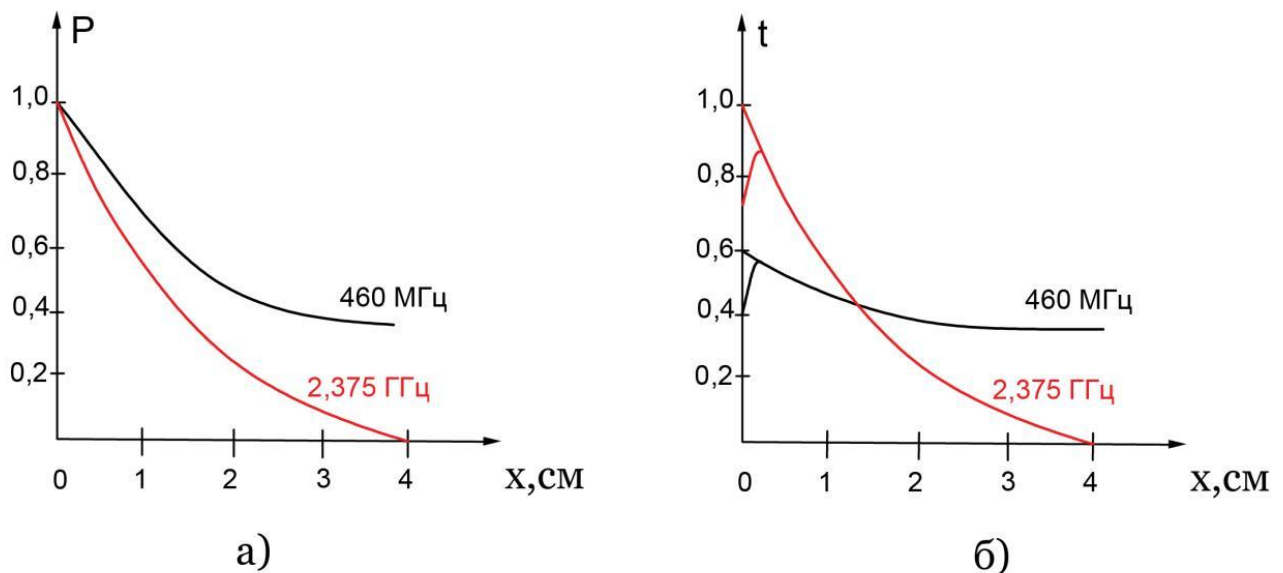


Рис.33. Зміна інтенсивності (потужності) поля (а) і температури (б) для м'язової тканини при СМХ і ДМХ реабілітації

Початкова інтенсивність поля на поверхні біотканини для обох методів однакова, але для СМХ реабілітації поле зменшується приблизно в 2 рази швидше, ніж для ДМХ і для СМХ відбувається більш інтенсивний нагрів ближніх (поверхневих) шарів біотканини. Але при ДМХ більш прогрівається глибинні прошарки.

Переваги ДМХ порівняно з СМХ:

1. При ДМХ є можливість прогрівати внутрішні частини біотканин з меншим нагрівом поверхневих шарів. Для живого організму під впливом кровообігу, теплообміну між біотканиною і оточуючим середовищем зменшується ця поверхнева температура і більше прогріваються внутрішні тканини – у декілька разів більше, ніж для теоретичних розрахунків.
2. Реальні біотканини мають багатшарову структуру (шкіра, жир, м'язи). Відбувається відбиття електромагнітних хвиль на міжшарових неоднорідних структурах, з'являються зворотні хвилі (хвилі відбиття), вони взаємодіють з первинними електромагнітними хвилями і формуються стоячі хвилі. Максимальне значення інтенсивності стоячої хвилі місцево перегріває тканину.

Існує відношення зміни довжини електромагнітної хвилі для вакуума і біотканини $\lambda_{\text{вак}}/\lambda_{\text{б/т}}$. Для частоти 2.375 ГГц довжина хвилі для жиру 6.5 см. Якщо жировий прошарок 2-3 см, то в його товщі укладається більше, ніж $\lambda/4$ жирових λ і формується стояча хвиля з локальним перегрівом. Для ДМХ діапазону довжина хвилі для жиру 30 см. Таким чином стоячі хвилі не утворюються і немає локального перегріву.

Для цих процедур використовуються випромінювачі діаметром 10-30 см, для стоматології і ЛОР використовуються керамічні випромінювачі діаметром 1.5-3 см. Це підвищує критичну лямбду і зменшує його діаметр.

9.9. Апарати для електрохірургії

1) Пересувний ЕН-57М

Призначений апарат для загальної хірургії, коагуляції і різання біотканини.

Характеристики:

- частота ВЧ коливань $1760 \pm 2,5\%$ кГц
- найбільша вихідна потужність 200 Вт
- клас захисту I
- габарити висота 1250 мм, довжина 520 мм, ширина 540 мм
- маса 70 кг

2) Апарат для електрохірургії для операцій на око ДК-3-1 «Очний діатермокоагулятор»

Використовується для коагуляції біотканини при операції на очах.

Характеристики:

- частота ВЧ коливань $1760 \pm 2,5\%$ кГц
- найбільша вихідна потужність 9 Вт
- потужність споживання 170 Вт
- клас захисту 0І
- габарити 400x345x155 мм
- маса не більше 11 кг

9.10. Апарати для дарсонвалізації і фізіотерапії струмами надтональної частоти

Загальні відомості.

Перші апарати дарсонвалізації являли собою іскровими генераторами з сильно загасаючими коливаннями. Для загальної дарсонвалізації робоча частота 100-150 кГц, для місцевої 200-500 кГц. Недолік таких іскрових генераторів – дуже широкий спектр ВЧ коливань, що приводило до інтенсивних завад радіомовлення, телебачення і шкідливого впливу на медичний персонал. Тому при їх модернізації необхідно було реалізувати найбільш суттєві характеристики лікувального фізичного фактору – сильний загасаючий характер імпульсних коливань з великими амплітудами перших коливань при малій середній потужності. Це досягалось модуляцією за допомогою імпульсів незагасаючих безперервних коливань – тривалість ВЧ імпульсу 50-100 мкс, частота повторення 50, 100 Гц, довжина іскри на виході апарату 25 мм.

Апарат для місцевої дарсонвалізації «ИСКРА-1»

Апарат – генератор ВЧ імпульсно-модульованих коливань, огибаюча яких близька до Гаусового розподілу (дзвоноподібна).

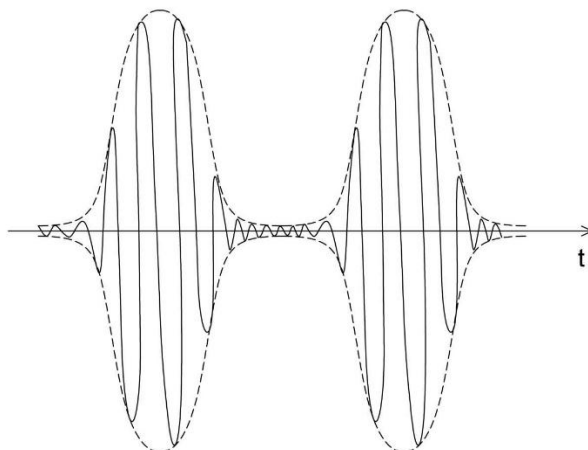


Рис.34. Дзвоноподібна огибаюча імпульсно-модульованих коливань генератора ВЧ

Характеристики:

- частота генератора $110 \pm 7.5\%$ кГц
- тривалість модулюючих імпульсів 100 мкс
- частота повторення 50 Гц
- потужність споживання 50 Вт
- клас захисту 0І
- габарити 430x397x155 мм
- маса не більше 9 кг

Апарат для загальної дарсонвалізації «ВИХРЬ-1»

Характеристики:

- частота $440 \pm 2.5\%$ кГц
- тривалість імпульсів ВЧ коливань 20-30 мкс
- частота слідування 100 Гц
- максимальна вихідна імпульсна напруга 20 кВ
- максимальна індукція у робочому об'ємі котушки для пацієнта 1 мТл
- потужність споживання 500 Вт
- маса апарату 60 кг
- маса ліжка для цього апарату 20 кг

Апарати для реабілітації струмом надтонольної частоти «УЛЬТРАТОН»

Апарат являє собою джерело ВЧ коливань з вихідною напругою 4.5 кВ, яка подається на скляний електрод з неоном.

Характеристики:

- частота ВЧ коливань 22 ± 7.5 кГц
- максимальна вихідна напруга до 10 кВ
- потужність споживання 80 Вт
- клас захисту 0І
- габарити 341x262x142 мм
- маса до 6 кг

9.11. Апарат для індуктотермії «ИКВ-4»

Апарат – ВЧ трьох каскадний генератор, навантаженням якого є змінний індуктор (резонансний), магнітне поле якого використовується для місцевої дії на організм людини.

Характеристики:

- частота ВЧ коливань $13.56 \pm 0.05\%$ МГц
- максимальна вихідна потужність 200 Вт
- потужність споживання 1.5 кВт і менше
- габарити 900x620x520 мм
- маса не більше 75 кг

9.12. Апарати для УВЧ -фізіотерапії

Загальні відомості.

Всі апарати УВЧ терапії мають одну стандартну частоту випромінювання $40,68 \text{ МГц} \pm 2\%$, але вихідна потужність залежить від методики застосування. Існують такі види УВЧ терапевтичних апаратів:

- Переносні апарати – мають малі габарити і масу і портативне виконання діють тільки на невеликій ділянці шкіри людини. Вихідна потужність 30-40 Вт; а настільні конструкції 70-80 Вт
- Пересувні апарати використовуються у фізіореабілітаційному кабінеті. Конструктивні особливості – пересувна тумба з колесами та ручками для пересування. Виконуються всі дії лікувальних процедур, а потужність 300-400 Вт.

Апарати для УВЧ фізіотерапії переносні

1) «УВЧ-30»

Особливості:

- мала маса, габарити
- є можливість лікування хворого біля його ліжка
- для лікування дітей існує режим зменшеної потужності

Характеристики:

- робоча частота $40.68 \pm 2\%$

- вихідна потужність 15, 30 Вт
- потужність споживання 160 Вт
- габарити 425x275x230 мм
- маса менше 12.5 кг

2) «УВЧ-66»

Особливості:

- удосконалена схема захисту від перешкод та завад, які генерує апарат
- покращений «тепловий режим» генераторних ламп
- розширені межі регулювання вихідної потужності
- збільшена комплектація електродами

Характеристики:

- робоча частота $40.68 \pm 2\%$
- максимальна вихідна потужність 70 Вт
- потужність споживання 100 Вт
- клас захисту 0І
- габарити 547x320x315 мм
- маса менше 30 кг

Апарат для УВЧ-фізіотерапії пересувний «ЕКРАН-1»

Особливості:

- на відміну від УВЧ-300 є захист від випромінювання радіоперешкод
- може експлуатуватись без екранованої кабіни (кімнати)
- є пристрій для автоматичного налаштування в резонанс вихідного контуру (залежно фізіологічних від особливостей пацієнта)
- нова конструкція електроутримувачів з автоматичною фіксацією нижнього і верхнього шарніру

- розширений комплект електродів

Характеристики:

- робоча частота $40.68 \pm 2\%$
- максимальна вихідна потужність 350 Вт
- потужність споживання менше 1700 Вт
- клас захисту І
- габарити 900x620x520
- маса менше 120 кг

Основними функціональними частинами апарату «ЕКРАН-1» є автогенератор, контур пацієнта (вихідний контур генератора), блок автоматики і захисту, блок керування і блоки живлення.

Вимірювач потужності КВЧ-апаратів для УВЧ-фізіотерапії

Основні параметри УВЧ апаратів для нормальної роботи є такі:

- величина потужності випромінювання, що діє на пацієнта
- стабільність потужності
- стабільність потужності і її залежність від зазора між електродом і тілом пацієнта
- частота генерації і її стабільність до 2%
- рівень радіоперешкод, які випромінюються апаратом
- при всіх вимірюваннях необхідно навантажити вихід апарату еквівалентним навантаженням реальних пацієнтів (у вихідний контур генератора вноситься комплексний опір, який враховує особливості фізіології пацієнта)
- використовують для навантаження УВЧ апаратів спеціальні лампи з еквівалентним навантаженням аналогічно тілу людини – 30-60 Ом
- яскравість випромінювання цих ламп контролюється фотометром і підраховується вихідна потужність апарату

Характеристики: прилад складається з еквівалентного навантаження і фотометричної вимірювальної схеми.

Еквівалентне навантаження – паралельно під'єднані лампи розжарювання РИ-115-30 (115 В, 30 Вт), лампа ЖТ-54-15 (54 В, 15 Вт). Лампи мають циліндричну колбу і витягнуту нитку розжарювання, тому на відміну від звичайних ламп витягнута нитка розжарювання для КВЧ вимірювань має меншу індуктивність (немає витків), більшу електричну міцність і внаслідок рознесення виводів лампи має менші діелектричні втрати. Опір ламп залежить від кількості потужності, яка в них розсіюється (існує магнітний і ємнісний зв'язок між лампами і апаратом. Вимірювач потужності має діапазон вимірювання 400 Вт, максимально відносна похибка менше $\pm 10\%$ ($\pm 5\%$ для ВЧ коливань), R еквівалентне 30-60 Ом, маса до 10 кг.

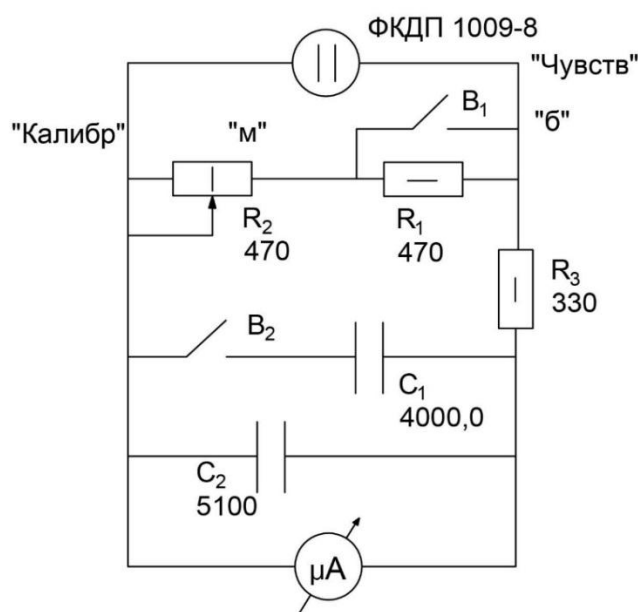


Рис.35. Електрична схема фотометричного вимірювача потужності УВЧ

Світловий потік від ламп направляється на фотоелектричний перетворювач з кремнію, а його струм вимірюється мікроамперметром. Чутливість при градуванні регулюється резисторами R1, R2 при закороченні R1 чутливість різко зменшується. Плавне регулювання відбувається R2.

Чутливість при градуванні регулюється резисторами R₁, R₂. При закороченні R₁ чутливість різко зменшується. Плавне регулювання відбувається резистором R₂.

Апарат для імпульсної УВЧ-фізіотерапії «Імпульс-3»

Особливості: завадоподавляючі фільтри зменшують випромінювання апаратом частот з вищими гармоніками, тому немає необхідності при експлуатації використовувати спеціальну кімнату або кабінку з екраном.

Характеристики:

- робоча частота 40.68 МГц \pm 2% (імпульсно-модульованих коливань)
- форма згинаючої ВЧ коливань дзвоноподібна
- тривалість імпульсу згинаючої 2 мкс на рівні 0,5
- частота слідувань імпульсу 500 Гц
- вихідна потужність імпульсів складає 18 кВт, а середня 18 Вт
- потужність споживання 400 Вт
- клас захисту 0І
- габарити 900х620х520мм
- маса менше 80 кг



Рис.36. Структурна схема апарату для імпульсної УВЧ реабілітації «ІМПУЛЬС-3»

Блок автоматики підлаштовує в резонанс для кожного пацієнта вихідний контур генератора.

Апарат для ДМХ -фізіотерапії «Волна-2»

Характеристики:

- робоча частота 460 МГц $\pm 1\%$
- максимальна вихідна потужність 100 Вт
- вимірювач вихідної потужності з похибкою $\pm(0.3P_x + 3\text{Вт})$, P_x - потужність, яка вимірюється
- потужність споживання 600 Вт
- клас захисту I
- габарити 900x620x520мм
- маса менше 90 кг

Електрична частина складається: з автогенератора, вимірювача вихідної потужності, випромінювачів, блок живлення, система автоматики.

Апарати для СМХ -фізіотерапії

Загальні відомості.

Всі апарати працюють на магнітронах з робочою частотою 2,375 ГГц $\pm 2\%$ - звичайні ланки в цьому діапазоні не працюють – вони мають низький ККД.

Магнітрон є потужним КВЧ генератором, який має складну конструкцію з замкнутим циклом руху електронів, виконує функцію підсилювача на електронній машині, але дуже високої частоти і коливального контуру.

Є два режими роботи цих апаратів:

- 1) Режим великої потужності (150 Вт, індукція магнітного поля 180 мТл, анодна напруга магнетрона 1800-2100 В)
- 2) Режим малої потужності (20 Вт, індукція 100 мТл, напруга живлення 800-1200 В)

Особливістю роботи магнітрона в режимі великої потужності є інтенсивне бомбардування електронами його катода. Відбувається додатковий розігрів катода, що знижує його довго тривалість (час роботи). Для того щоб температура катода була на одному рівні напруга розжарювання повинна зменшуватись при зростанні анодного струму. Вихідна потужність магнітрону вимірюється за його струмом – залежність майже лінійна.

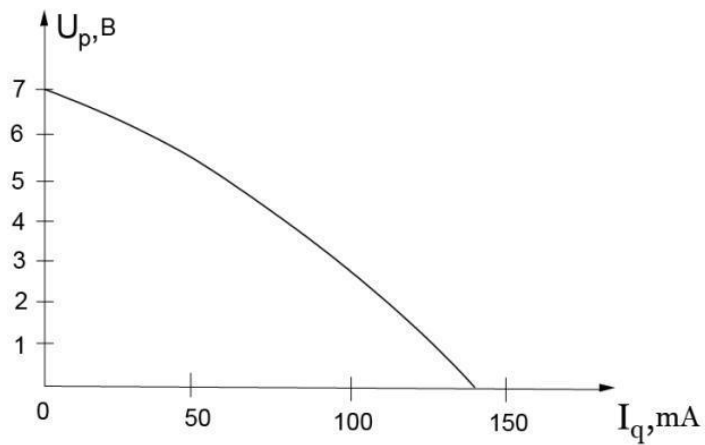


Рис.37. Залежність напруги розжарювання катоду від анодного струму

Апарат для СМХ-реабілітації переносний «Луч-2»

Особливості конструкції.

Має малу масу і габарити, є можливість впливати на невеликі ділянки тіла пацієнта за контактною методикою біля ліжка хворого в умовах стаціонару або в домашніх умовах.

Характеристики:

- робоча частота 2,375 ГГц $\pm 2\%$ ($\lambda=12,6$ см)
- вихідна потужність 2,5-20 Вт
- потужність споживання менше 170 Вт
- клас захисту 0І
- габарити 405x304x298 мм
- маса 13 кг

Апарат для СМХ-фізіотерапії пересувний «Луч-58-1»

- робоча частота 2,375 ГГц $\pm 2\%$ ($\lambda=12,6$ см)
- максимальна вихідна потужність 150 Вт
- потужність споживання 650 Вт
- клас захисту 0І
- габарити 520x620x1680 мм
- маса менше 60 кг

10. Ультразвукова (УЗ) апаратура для фізіотерапії

10.1. Фізичне обґрунтування та методи проведення процедур УЗ-фізіотерапії

Під впливом УЗ хвиль в тканинах організму виникають механічні (пружні) коливання та хвилі.

Якщо частота менша 16 Гц — інфразвукові коливання; знаходиться в діапазоні 16...20 000 Гц — звукові коливання; якщо більше 20 кГц — ультразвук (верхня межа частот — 200...300 МГц).

Звукові та УЗ хвилі, на відміну від електромагнітних, є поздовжніми хвилями, що мають вигляд рідини стиснутої та розрідженої в напрямку розповсюдження – відбувається коливання частинок у тому ж напрямку у якому і розповсюджуються хвилі. Для твердих тіл виникають поздовжні та поперечні УЗ хвилі. Довжина хвилі залежить від частоти випромінювання і швидкості розповсюдження хвилі у даному середовищі (чим більша густина тим швидше поширення) $\lambda = \frac{c_v}{f}$, де c_v – швидкість хвилі у середовищі :

- Для повітря 330 м/с
- М'які тканини організму 1445-1600 м/с
- Вода – 1500 м/с
- Кістки 3370 м/с

Найбільш поширеною є частота 880 кГц, це довжина хвилі для води та м'яких тканин 1,6...1,8 мм.

Зовнішня енергія викликає УЗ хвилю і відбувається коливання частинок навколо положення рівноваги. Таким чином, відбувається передавання енергії УЗ хвилі без розповсюдження самої речовини. Інтенсивність УЗ хвиль відповідає кількості енергії, що передається за 1 с через площу 1 см². Таким чином, інтенсивність визначається потужністю коливань на 1 см².

Характерним для УЗ хвилі є надзвичайно мала амплітуда зміщення частинок, надзвичайно велике прискорення.

Для робочої частоти 880 кГц максимальна інтенсивність при УЗ терапії та реабілітації буде 2 Вт/см². Коливання частинок біотканини мають амплітуду $3,5 \cdot 10^{-8}$ м, а максимальне прискорення $9 \cdot 10^7$ см/с². Амплітуда змінного чи акустичного тиску складає 2,7 атмосфери.

Лікувальна дія УЗ пов'язана з величезним прискоренням та значним механічним тиском на частинки біотканини. Коли розповсюджується УЗ хвиля біотканиною, інтенсивність коливань зменшується за експоненціальним законом і всі втрати енергії перетворюються у нагрівання навколишнього середовища. Глибина проникнення УЗ хвиль визначається зменшенням інтенсивності в e -раз. При збільшенні частоти УЗ хвиль збільшується поглинання енергії, але

зменшується глибина проникнення: для частоти 880 кГц глибина проникнення у м'язи становить 5 см, жирові тканини — 10 см, у кістки — 0,3 см.

Перевагою застосування УЗ реабілітації є дуже малі втрати УЗ в жирових тканинах (а якщо немає втрат то відбувається незначне прогрівання достатнє розповсюдження у м'язах формують гарні умови для реабілітації захворювань суглобів і кісток. Таким чином характерною особливістю звукових хвиль на відміну від електромагнітних є інтенсивне нагрівання кісткової тканини.

Для генерації і формування УЗ хвиль використовується:

- магнітострикційний стрижень з феромагнітного матеріалу;
- зворотній п'єзоелектричний ефект в кристалах титанату барію, кварцу, сегнетової солі

Під впливом електричного поля відбувається зміщення полярних груп атомів, які є основою речовини, це викликає відповідні зміни розмірів кристалів. До кварцової подається змінна електрична напруга, при цьому товщина пластинки зменшується та збільшується в залежності від частоти напруги — відбувається механічна модуляція густини середовища. УЗ хвиля яка розповсюджується у напрямку перпендикулярному поверхні пластини п'єзоелектричного перетворювача і як правило робоча частота цих випромінювачів знаходиться в діапазоні 800 кГц–3 МГц.

Апарати для УЗ реабілітації працюють відповідно з законом розповсюдження звукових хвиль, але вони мають більш високу частоту (меншу довжину хвилі тому її легше фокусувати і вони краще поглинаються середовищем ніж звукові хвилі.

Апарати для УЗ реабілітації як правило складається з блока живлення, генератора електричних коливань до вихідного коливального контура якого підключається п'єзоелектричний перетворювач, який конструктивно виконується у вигляді окремого випромінювача.

Цей випромінювач завжди має повітряний прошарок у напрямку протилежному біотканині, щоб зменшити розповсюдження УЗ в сторону ручки або лікаря.

Обов'язково при генерації УЗ необхідно реалізовувати резонанс амплітуди пластини – при цьому резонансні її коливання будуть максимальними.

Умова резонансу виконується якщо товщина пластини перетворювача дорівнює непарному числу напівхвиль для робочої частоти 880 кГц, ця товщина дорівнює одній напівхвилі та має значення 3,26 мм.

Матеріалом для п'єзоелектричного перетворювача використовують кераміку титанату барію це малі кристали які спікаються при високій температурі і мають полікристалічну структуру.

Звичайні п'єзоультразвукові перетворювачі виробляють з кварцу. Кераміку порівняно з кварцом має переваги:

- 1) менша вартість
- 2) менша напруга для збудження УЗ хвиль $\text{SiO}_2 \rightarrow$ для інтенсивності 2 Вт/см^2 і робочі частоти 880 кГц необхідна напруга живлення 1500 Вт, для титанат барія напруга $< 100 \text{ В}$
- 3) низька робоча напруга спрощує конструкцію апарату, зменшуються масогабаритні показники і для живлення перетворювача непотрібні спеціальні високонапружні кабелі і дроти. Можна використовувати гнучкий низьковольтний кабель.

Конструктивна схема типового випромінювача апарату УЗ-терапії представлена на рис. 38.



Рис.38. Конструктивна схема типового випромінювача апарату УЗ-терапії

Електричний контакт перетворювача відбувається через втулку 5 і фіксатора п'єзоелектричного випромінювача, а другий контакт підключається до корпусу випромінювача.

Корпус випромінювача буває двох типів:

- 1) з пластичного матеріалу (пластмаси) але має внутрішнє металеве наплення для електричного контакту і для захисту медичного персоналу
- 2) металевий корпус, але з зовнішнім покриттям з пластмаси

Лікувальна дія УЗ на біотканину

Є дві методики УЗ реабілітації при використанні УЗ:

- 1) нерухоме, стабільне положення випромінювача відносно біотканини БАТ

2) лабільна (рухома) дія, коли УЗ випромінювач повільно переміщується по поверхні біотканини.

Для підвищення ефективності процедур обов'язково потрібно покращити акустичний контакт між випромінювачем і пацієнтом – для ліквідації повітряних прошарків використовуються вазелинові олії чи гелі.

Для реабілітації складних поверхонь (наприклад суглобів) використовують спеціальні ванночки з рідиною через яку і діє УЗ випромінювач.

При дії УЗ коливань на біотканину спостерігається складний характер взаємодії і виділяють три основні складові лікувальної дії:

- 1) механічна дія на тканину. Відбувається коливання біочастинок або мікромасаж на клітинному рівні, змінюється просторове розташування клітинних структур, змінюється функціональний стан.
- 2) теплова дія. Відбувається поглинання УЗ енергії і нагрівання під час тертя частинок м'язових тканин та тканин кісток.
- 3) хімічна дія. Під впливом механічних та теплових ефектів відбуваються зміни на біохімічному рівні. Змінюються інтенсивності окислювальних процесів, відбувається підсилення дифузних процесів.

Обов'язково при проведенні процедур необхідно проводити вимірювання (дозиметрія) характеристик УЗ хвиль, а потім по результатам вимірювань встановлення інтенсивності ультразвуку та тривалості дії (експозицію).

При УЗ реабілітації інтенсивності УЗ хвиль складає:

- 1) рухома методика (лабільна), інтенсивність встановлюється на рівні $0,5 \dots 1,5 \text{ Вт/см}^2$
- 2) стабільне положення (нерухоме), інтенсивність $0,05 \dots 0,3 \text{ Вт/см}^2$.

Одночасно з безперервним режимом випромінювання використовується імпульсний режим з тривалістю імпульсів $4 \dots 10 \text{ мс}$ з частотою слідування 50 Гц . В цьому випадку середня інтенсивність коливань менша безперервної у стільки разів, на скільки тривалість імпульсів менше періоду їх слідування (шпаруватість, «скважность»).

Інтенсивність коливань ультразвуку визначається потужністю и робочою площею випромінювача. Тиск УЗ хвиль при повному відбитті від поверхні тіла пропорційний інтенсивності і зворотно пропорційний швидкості поширення УЗ хвиль. Максимальний тиск для інтенсивностей при реабілітації складає $10^{-3} \dots 10^{-4}$ атмосфери і може змінюватись.

10.2. Апарати для УЗ -фізіотерапії

Апарати УЗ фізіотерапії конструктивно виконуються у стаціонарному або лабораторному вигляді, а також у портативному мініатюрному для домашнього використання.

Для стаціонарного використання використовуються апарати:

- 1) «Ультразвук–Т5»
- 2) «УЗТ-34»
- 3) «УЗТ-101-104»
- 4) «ЛОР-1-3»

Для домашнього використання найбільш поширений апарат Vitaфон і його модифікації.

1) Апарат для УЗ-фізіотерапії «Ультразвук–Т5».

Характеристики:

- Частота УЗ хвиль — $880 \text{ кГц} \pm 1\%$.
- Максимальна потужність для різних випромінювачів:
 - 4 см^2 — 8 Вт;
 - 1 см^2 — 2 Вт;
 - $0,5 \text{ см}^2$ — 1 Вт.
- Режим роботи: безперервний та імпульсний (тривалість імпульсів становить $4 \dots 10 \text{ мс}$, з частотою слідування 50 Гц).
- Потужність, що споживається менше 130 Вт.
- Клас виконання — 01.
- Габарити — $335 \times 325 \times 160 \text{ мм}$.
- Маса менше 8 кг.

2) Апарат «УЗТ–31»

Застосовується для лікування акушерсько-гінекологічних та ЛОР захворювань, а також в стоматології та дерматології.

Характеристики:

- Частота УЗ хвиль становить $2,64 \text{ МГц} \pm 1\%$.
- Інтенсивність коливань — $0,05 \dots 1 \text{ Вт/ см}^2$.
- Площа випромінювачів — 2 см^2 ; $0,5 \text{ см}^2$.
- Імпульсний режим з тривалістю імпульсів 2; 4; 10 мс та частотою слідування 50 Гц .
- Потужність, що споживається менше 50 Вт.
- Клас виконання — 01.
- Габарити — $342 \times 274 \times 142 \text{ мм}$.
- Маса менше 10 кг.

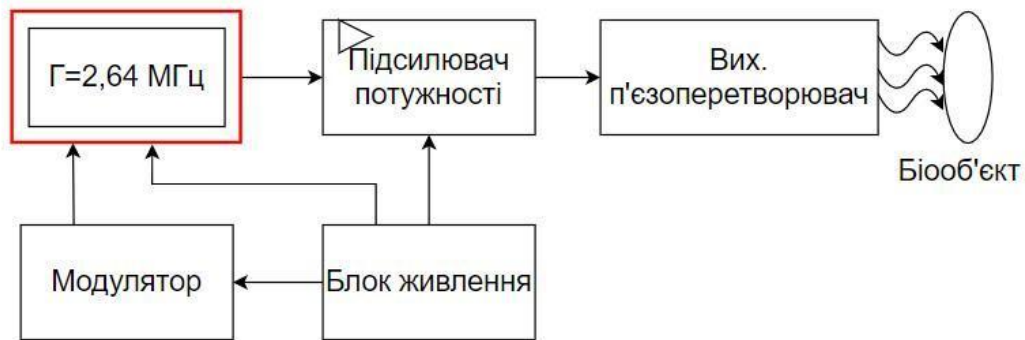


Рис.39. Структурна схема апарату «УЗТ–31» представлена на рис

Генератор ВЧ коливань модулюється імпульсами 2,4,10 мс, вони підсилюються підсилювачем потужності і через п'єзоелектричний перетворювач направляються на біоб'єкт.

3) Апарат «ЛОР–3»

Реабілітація та лікування ЛОР-захворювань (хронічні тонзиліти, гайморити, реніти).

Характеристики:

- Частота ультразвукових коливань 880 кГц $\pm 1\%$.
- Інтенсивність ультразвукових коливань регулюється чотирма кроками 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 Вт/см².
- Ефективна площа випромінювача загального — 2 см², кожного випромінювача — 0,4 см².
- Присутній імпульсний режим коливань при тривалості імпульсів 10 мс і частоті слідування 50 Гц.
- Тривалість процедури (експозиція) постійна 6 \pm 1 мин..
- За захистом від ураження електричним струмом апарат виконаний за класом 01.
- Габаритні розміри 320x208x104 мм.
- Маса не більше 5 кг.

Випромінювач УЗ потужності.

Визначає тиск на поверхню, який прямо пропорційний потужності УЗ. Вимірювальний пристрій — високочутливі важільні терези. Один кінець — випромінювач УЗ хвиль, що розташований в закритій камері з дегазованою дистильованою водою.

Характеристики:

- Вимірює потужність 0,2...25 Вт.
- Частота — 400 кГц...3 МГц.

- Похибка вимірювань — $\pm(0,05P + 0,2 \text{ Вт})$, де P — потужність, що вимірюється у Вт.
- Габарити — 385х175х230.
- Маса становить 4 кг без води.

Ультразвук використовується для реабілітації таких захворювань: опорно-рухового апарату (артрити, артрози, ревматоїдні болі); травми і захворювання периферичної нервової системи; захворювання травної системи (виразка шлунку, 12-ти палої кишки); захворювання очей; ЛОР-захворювання; урологічні (простатити); гінекологічні; стоматологічні (парадонтоз); виразки шкіри.

Не можна використовувати ультразвукову реабілітацію при ішемічній хворобі серця (стенокардія, аритмія); гіпертонічній хворобі другого ступеня; тромбофлебії.

Для УЗ реабілітації використовують також апарати: «УЗТ–101–104», «ЛОР–1–3».

Біофізіологічний вплив на людину при УЗ реабілітації наступний:

- мікромасаж клітин і тканин;
- зміна характеристик мембран клітин;
- зміна кислотно-лужного балансу;
- перехід золів в гелі;
- розширення кровоносних судин;
- прискорення кровотоку;
- прискорення лімфоутворення;
- покращення мікроциркуляції;
- стимуляція процесів обміну в тканинах;
- утворення біоактивних речовин;
- прискорення окисно-відновлювальних процесів;
- збільшення метаболічної активності клітин;
- підвищення змісту ДНК;
- підсилення тканинного дихання.

11. Фізіотерапія за допомогою оптичного випромінювання (ІЧ, видимого, УФ діапазону)

Особливості світлореабілітації зображено на рис. 40.

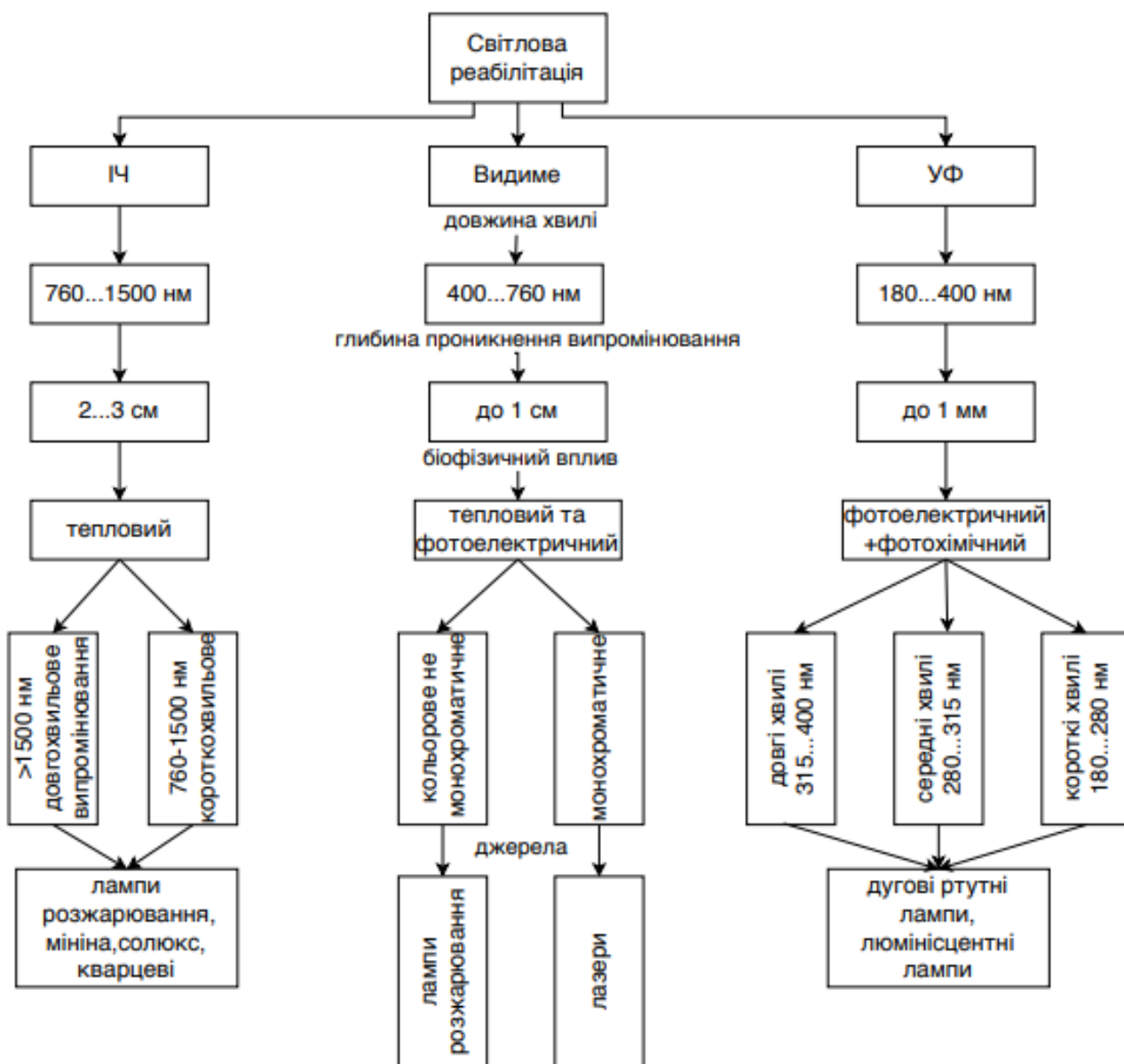


Рис.40. Особливості світлореабілітації.

11.1. Інфрачервоне світло

Фізіологічна дія.

Подразнення терморецепторів, підсилення мікроциркуляції, утворення еритеми, загальна рефлекторна нейрогуморальна дія.

Лікувальна дія:

- саногенна — зменшення запальних змін, болів, підсилення регенерації і потовиділення;
- патогенна — термічні опіки, загальний перегрів, перевантаження гемодинаміки.

Показання: хронічні запальні процеси (внутрішніх органів також), опіки, виразки, спайки, захворювання і травми опорно-рухового апарату.

Протипоказання: злаякісні новоутворення, кровотечі, гострі гнійні захворювання.

11.2. Видиме світло

Кольорове не монохроматичне випромінювання.

Фізіологічна дія.

Вплив на процеси збудження та гальмування в центральній нервовій системі.

Лікувальна дія.

Нормалізація психологічних захворювань.

Показання: неврози.

Когерентне монохроматичне.

Фізіологічна дія.

Регенерація, фагоцитоз, стимуляція функцій органів.

Лікувальна дія.

Прискорення регенерації шкіри та слизових оболонок, знеболювальна та протизапальна дія.

Показання: рани та виразки, що не заживляються, артрити, артрози, парадантоз, геморой.

11.3. Ультрафіолетове світло

Фізіологічна дія.

Пігментація, утворення еритеми, вплив на ДНК, мікроциркуляція, нормалізація процесів в центральній та вегетативній нервових системах, вплив на обмін речовин, синтез вітаміну Д, регенерація, вплив ендокринні органи.

Лікувальна дія.

– саногенна — загальнозміцнююча, імуностимуляція, бактерицидна дія, протизапальна, проти рахітична;

– патогенна — екзема, опіки, захворювання сухоти (туберкульозу), фотодерматози.

Показання: хронічні захворювання легенів, ревматизм, артрити, наслідки травм, рожа, світлове глодування, травми кінцівок, бронхіальна астма, грип, гостре респіраторне захворювання, ЛОР-захворювання.

Протипоказання: активна сухота легенів, новоутворення, кровотечі, вовчанка.

12. ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Волков И.В., Теоретические основы метода спекл-голографии в экспериментальной механике / Волков И.В., Вышинский В.В., Кисловский А.О. // Труды Московского физико-технического института. – 2017. – №2. – С. 13–22.
2. Памфілов Н. І. Лазерний лабораторний пристрій системи спекл-інтерферометрії: 172 / Памфілов Нікіта Ігорович – Київ, 2018. – 94 с.
3. Adam W. Biomedical Applications of Light Scattering / W. Adam, B. Vadim., 2010. – 350 с. – (The McGraw-Hill Companies, Inc.).
4. Docplayers [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <https://docplayer.ru/> (дата звернення 01.04.2020) – Оптика спеклов Понятие спекл, объективная и субъективная спекл-картины. Основные свойства спекл-картины, условия формирования.
5. Щербаков А. В. Лазерные спекл-интерферометрические системы и способы для мобильных устройств. – 2016. – 25 с.
6. Михайлова Ю.А. Развитие динамической спекл-интерферометрии для изучения свойств культивированных клеток как материала биомолекулярной электроники / Ю.А. Михайлова. – 2015. – 84 с.
7. Применение спекл-визуализации в оценке микроциркуляции поверхностных биотканей / ТВ Калилец,, ММ Меженная, СК Дик та ін. – Минск, 2018. – 7 с. – (Big Data and Advanced Analytics).
8. Исследование реакции клеточной культуры на измерение температуры методом динамической спекл-интерферометрии / Ю. А. Михайлова, А. П. Владимиров, А. А. Бахарев та ін. // Русский журнал биомеханики. – 2017. – С. 9
9. Yevgeny Beiderman. Remote estimation of blood pulse pressure via temporal tracking of reflected secondary speckles pattern / Yevgeny Beiderman, Israel Horovitz, Natanel Burshtein. // J. of Biomedical Optics. – 2010. – №15.
10. Зимняков Д.А. Исследование статистических свойств частично-развитых спекл-полей применительно к диагностике структурных изменений кожи человека / Д.А. Зимняков, В.В. Тучин, С.Р. Утц // Оптика и спектроскопия. – 1994. – №5. – С. 13-16.

11. Zaman R. T. Enhancement of light in tissue using hyper-osmotic agents / R. T. Zaman, B. Chen, A. B. Parthasarathy, A. D. Estrada, A. Ponticorvo, H. G. Rylander III, A. J. Welch // *Biomedical Optics (BiOS)*. – 2008. – С. 68541- 68541.
12. Шебалин А. Лазерная медицинская диагностика состояния организма по биспеклам кожи / Шебалин А.. // *Фотоника*. – 2008. – №1. – С. 64–73.
13. Шмидт Р., Физиология человека./ Шмидт Р., Тевс Г. // *Мир* – 2005.
14. Марри Р., Биохимия человека. // *Мир* – 2003.
15. Wasilewska M., Adamczyk Z., Jachimska B. Structure of fibrinogen in electrolyte solutions derived from dynamic light scattering (DLS) and viscosity measurements. // *Langmuir*. American Chemical Society, 2009. Vol. 25, № 6. P. 3698–3704.
16. Hoover-Plow J. Does plasmin have anticoagulant activity? // *Vasc. Health Risk Manag.* – 2010. – 6. С. 199–205.
17. Yi J. et al. Intrinsic Peptidase Activity Causes a Sequential Multi-Step Reaction (SMSR) in Digestion of Human Plasma Peptides research articles // *J. Proteome Res.* – 2017. – № 12. С. 5112–5118.
18. Kita R., Takahashi A., Kaibara M. Formation of Fibrin Gel in Fibrinogen - Thrombin System: Static and Dynamic Light Scattering Study // *Biomacromolecules*. – 2002. – С. 1013–1020.
19. Fluhr H. The molecular charge and size of heparins determine their impact on the decidualization of human endometrial stromal cells. // *Mol. Hum. Reprod.* – 2011. – № 6. С. 354–359.
20. Чайков Л.Л. Динамика размеров и концентраций белков и их комплексов в плазме крови in vitro по данным светорассеяния. // *Москва*, 2015. – С. 127.
21. Sure Lock [Электронный ресурс]: [Веб-сайт]. – Электронні дані. – [Ondax – 2011]. – Режим доступу: <https://www.laserdiodesource.com/laser-diode-product-page/780nm-80mW-TO-can-wavelength-stabilized-narrow-linewidth-Ondax> (дата звернення 14.05.2020). – 780.25nm, 80mW, Wavelength Stabilized Lasers.
22. Uborg [Электронный ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://www.uborg.ru/infrared/history.htm> (дата звернення 14.05.2020). – Длина волны глубокого проникновения ИК излучения в ткани человека.
23. В.И. Букатый Взаимодействие низкоинтенсивного лазерного излучения с кровью человека. // *Математика и механика. Физика*. – 2007. – Т. 310. №2. – С. 121–125.

24. Life augmented [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – [STMicroelectronics – 2019]. – Режим доступу: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lm217.pdf> (дата звернення 01.04.2020) – LM217, LM317 Datasheet.
25. Joyta [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: http://www.joyta.ru/4390-stabilizator-toka-dlya-svetodioda-led-na-mikroscheme-lm317/#k_lm317_t (дата звернення 02.04.2020) – Стабілізатор тока для светодиода (LED) на микросхеме LM317.
26. Elektronik info [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Режим доступу: <http://elektrik.info/main/school/1106-polyarnye-i-nepolyarnye-kondensatory-v-chem-otlichie.html> (дата звернення 01.04.2020) – Polar and non-polar capacitors - what is the difference.
28. ДСТУ EN 60825-1:2019 Безпека лазерних виробів. Частина 1. Класифікація обладнання та вимоги, 2019.
27. ДСТУ EN 61140:2015 / Зміна №1:2015 Захист проти ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання, 2015.