

Медична електроніка.
Основні групи медичних електронних приладів і апаратів.
Електробезпека медичної апаратури.
Система отримання медико-біологічної інформації.

Медична електроніка – науковий напрям у технічній електроніці, метою якого є розробка електронних приладів для експериментальних, профілактичних та клінічних досліджень і лікування людини.

Медичні електронні прилади та пристрої застосовують для збирання, підсилення, реєстрації, індикації, відображення та аналізу медичної інформації; лікарського впливу на людину; керування деякими функціями людського організму; заміни функцій окремих органів і систем людини; електронного моделювання процесів діяльності деяких систем і органів людини та біоелектричного керування ними.

Людський організм значною мірою складається з біологічних рідин, що містять велику кількість іонів, які беруть участь у різних обмінних процесах.

Під впливом електричного поля іони рухаються з різною швидкістю і накопичуються близько клітинних мембран, утворюючи зустрічне електричне поле, назване поляризаційним. Таким чином, первинна дія постійного струму пов'язана з рухом іонів, їх поділом і зміною їхньої концентрації у різних елементах тканин. Вплив постійного струму на організм залежить від його сили, тому досить важливий електричний опір тканин і, насамперед, шкіри. Волога, піт значно зменшують опір, що навіть при невеликій напрузі може викликати проходження значного струму через організм.

Часто фізіотерапевтичну електронну апаратуру низькою і звукової частоти називають низькочастотною. Електронну апаратуру всіх інших частот називають узагальнюючим поняттям – високочастотна. Широкий розвиток отримали генератори радіохвиль. Генератори високих частот (ВЧ) застосовують для термічної обробки, сушки, нагріву, у радіозв'язку, медицині, зокрема у фізіотерапії. Ультрависокочастотні (УВЧ) генератори використовують у радіозв'язку, телебаченні. Генератори надвисоких частот застосовують в радіолокації.

Безперервний постійний струм напругою 60 – 80В використовують як лікувальний метод фізіотерапії – гальванізація. Дозують силу постійного струму за показаннями міліамперметра, при цьому обов'язково враховують гранично допустиму щільність струму – $0,1 \text{ mA/cm}^2$ (апарати « АГП-33 », « ГР- 2 », « Поток-1 »).

Постійний струм використовують в лікувальній практиці також і для введення



лікарських речовин через шкіру і слизові оболонки. Цей метод отримав назву електрофорезу лікарських речовин (апарат «Поток-1»).

Так як специфічне фізіологічна дія електричного струму залежить від форми імпульсів, то в медицині для впливу на ЦНС (електросон, електронаркоз), нервово-м'язову, серцево-судинну систему (кардіостимулятори, дефібрилятори) і т.д. використовують струми з різною тимчасовою залежністю. Струм з імпульсами прямокутної форми з тривалістю імпульсів $t=0,1-1\text{мс}$ і діапазоном частот $5-150\text{Гц}$, малої сили (до $2-3\text{А}$) використовують для лікування електросном (апарати «ЕС-ЧТ», «ЕС-10-5»), струми з $T=0,8-3\text{мс}$ і діапазоном частот $1-1,2\text{Гц}$ застосовують в кардіостимуляторах, що імплантуються. Струм з імпульсами трикутної форми $T=1-1,5\text{мс}$, частота 100 Гц , а також струм експоненційної форми, імпульси якого повільно нарастають і порівняно швидко спадають ($T = 3-60\text{мс}$, частоти $8-80\text{Гц}$) застосовують для збудження м'язів, зокрема при електрогімнастиці. Ампліпульстерапія – метод електротерапії, при якому впливають імпульси синусоїдальної модульованого струму малої сили (апарати «Ампліпульс 1-2-3-4-5»).

Широкими можливостями для електротерапії володіє апарат «БТЛ – 06» (Чехія), що дозволяє створювати гальванічний, діадинамічний, фарадічний, неофарадічний струми, струм Траберта, Котца, прямокутні імпульси, TENS, чотирьохполюсну і двополюсну інтерференцію.



Магнітотерапія. Слабке магнітне поле є постійним фактором навколишнього середовища на Землі. Штучно створюється слабке магнітне поле сприятливо впливає на організм людини. У найбільшій мірі на нього реагують нервова, ендокринна і кровоносна системи. Центральна нервова система та вищі центри вегетативної регуляції більш чутливі, ніж периферійна нервова система. Для магнітотерапії застосовуються: феромагнітні диски (напруженість магнітного поля $20-400\text{Е}$, густина магнітного потоку $5-50\text{мТл}$), магнітофори (напруженість магнітного поля 300Е , густина магнітного потоку 30мТл), магнітні таблетки для Магнітопунктури, магнітні кліпси, Магнітотрон М10-40 (воронка для намагнічування води), Магнітотрон-Р (ректальний). В Італії експлуатується апарат «Ронсфор», що складається з індуктора з програмним управлінням, кушетки для хворого і індуктора – соленоїда, що пересувається уздовж кушетки, індукція МП $2,8\text{мТл}$.

Також для проведення апаратної магнітотерапії застосовуються серійно випускаються прилади «Полюс- 1, -2, -3, -101», «АЛИМП-1», «АВИМП-1», «Градiєнт-1», «МАГ-30» та інші.

Різновиди **рефлексотерапії**, при яких здійснюється вплив електричним струмом на біологічно активні точки акупунктури, отримали назву електропунктури (поверхнева черезшкірна електростимуляція) і електроакупунктури (глибока електростимуляція за допомогою введеної голки). Ці способи рефлексотерапії отримали широке розповсюдження завдяки успішному застосуванню електроакупунктури в цілях знеболювання при хірургічних втручаннях. У апаратах «Еліта -4М», «Рефлекс», «Рампа» та ін. напруга на виході не перевищує $10-12\text{В}$. Подібні апарати «ЕЛАП-1», «ЕЛАП-

5», «ПЕП-1», «Елітеріс-5», «УМ-003» служать одночасно як для діагностики, пошуку та індикації точок акупунктури, так і для впливу на них струмами різних характеристик з лікувальною метою. Регуляція інтенсивності стимуляції здійснюється не за напругою, а за силою струму: від 0 до 500 мкА (в деяких випадках до 1–2мА). Використовується постійний (гальванічний) і змінний струми. Орієнтовні величини частоти струму від 7 до 500 Гц. Для методики Р.Фолля використовуються апарати «Svesa-1010» (Німеччина), EAV Dermatron 50600 (Німеччина), «Біомед-010», «INTA-Voll» (Україна), «Імедіс-Фолль», «Пересвет», «Благовіст-Фолль» (Росія), «Монада-М» (Україна). Апарат «Електроакупунктура» (Цептер, Швейцарія) дозволяє автоматично здійснити пошук точки акупунктури та її стимуляцію для досягнення анагетичного ефекту.



При частотах більше 500 кГц почастищення зсувів іонів виходить за межі фізіологічного температурного діапазону – виникає молекулярно-тепловий (що нагріває) ефект. Початкові стадії цього процесу використовуються в медицині для **лікувального прогрівання тканин**. Високочастотне прогрівання відбувається за рахунок утворення теплоти у внутрішніх частинах організму, тобто його можна створити там, де воно потрібно. Виділення теплоти залежить від діелектричної проникності тканин, їх питомого опору і частоти електромагнітних коливань. Пропускання струму високої частоти через тканину використовують у фізіотерапевтичних процедурах, званих діатермією та місцевою дарсонвалізацією. При діатермії застосовують струм частотою близько 1МГц зі слабозатухаючими коливаннями, напруга 100–150В, сила струму – кілька ампер. При дарсонвалізації на організм людини впливають імпульсним швидкозатухаючим струмом високої частоти (110кГц), високої напруги (10–100кВ) і малої сили (до 10–15 мА) (апарат «Іскра-1»). Токи високої частоти використовуються також і для хірургічних цілей (електрохірургія – діатермокоагуляція і діатермотомія). Ультратонотерапія – використання високочастотного (22 кГц) змінного синусоїдального струму високої напруги (3–5кВ) потужністю 1–10 Вт. Дія іскрового розряду в комплексі з ендогенним теплом надає місцеву вазодилатацію, покращує мікроциркуляцію і знімає гіпертонус, наприклад сфінктерів.



У масивних провідниках, що знаходяться в змінному магнітному полі, виникають вихрові струми. Вони можуть використовуватися для прогрівання біологічних тканин і органів (індуктотермія). Цей метод заснований на принципі магнітної індукції, при якому на тіло хворого впливають

високочастотним (13,56МГц) або ультрависокочастотних (40,68МГц) електромагнітним, але переважно магнітним полем. Використовуються апарати «ІКВ-4» (13,56ГГц), «ДКВ-1,2,2м».

У тканинах, що знаходяться у змінному електричному полі, виникають струми зміщення і струми провідності. Зазвичай для цього використовують електричні поля ультрависокої частоти, тому відповідний фізіотерапевтичний метод отримав назву УВЧ-терапії. Апарати для УВЧ-терапії діляться на стаціонарні вихідною потужністю 300-400Вт і переносні, потужністю 5–80Вт. До стаціонарних апаратів відносять «Екран-1», «Екран-2», «УВЧ-300». Стаціонарними апаратами для імпульсної УВЧ-терапії типу «Імпульс», а також зарубіжні їх аналоги, які можуть бути встановлені в кабіні з тканини з мікроприводом. Переносні апарати («УВЧ-30», «УВЧ-66», «УВЧ-80-3 Ундатерм» (частота 27,12МГц), «УВЧ-50-01Устя», «УВЧ-5-1 мінітерм» (частота 40,68МГц) та інші.

Фізіотерапевтичні методи, засновані на застосуванні електромагнітних хвиль НВЧ-діапазону, в залежності від довжини хвилі отримали дві назви: мікрохвильова резонансна терапія (наприклад, частота 2375МГц, довжина хвилі 12,6см) і ДЦВ-терапія (частота 460 МГц, довжина хвилі 65,2 см). В основі мікрохвильової резонансної терапії МРТ (синоніми: вкрай висока частота ВВЧ, інформаційно-хвильова терапія ІХТ, хвильова енергостабілізуюча терапія ХЕСТ) лежить вплив нетепловим (перепад температури не більше 0,1°C) електромагнітним випромінюванням міліметрового діапазону на точки акупунктури. При цьому ЕМІ певної резонансної частоти імітує сигнали, що виробляються живими організмами, і при їх впливі сприяє відновленню порушених функцій організму. У лікувальних цілях найчастіше використовуються струми з частотами 42,2ГГц (7,1 мм), 53,6ГГц (5,6 мм) і 61,5ГГц (4,9мм). Для лікування хворих методом ЕМІ ВВЧ НІ (низької інтенсивності, потужність струму нижче 1мВт/см²) нині використовують понад 100 апаратів різних найменувань. Існує ряд методичних підходів при терапії МРТ: вузький частотний діапазон (ВВЧ) – наприклад, «Електроніка-КВЧ-101» з частотним діапазоном 51,5–55,5 ГГц; широкий шумовий діапазон (МРТ) – наприклад «Поріг-3»виробництва «Відгук», Київ (54–75ГГц), «Поріг-ІХТ» виробництва «Біополіс», Київ (30–300ГГц); постійно мінливий діапазон в межах 54–76ГГц – наприклад «ТКМ-2102» виробництва «Техноком», Київ. Потужність випромінювання має також ряд діапазонів – 10–1мВт/см² (гальмуючий ефект, «Яв-1»), 0,1 мВт/см²–1 пВт/см² (гальмуючу і тонізуючу дію, «ARIA-SC») і нижче 1пВт/см² («Мінітаг», Москва). Апаратура також має відмінності за режимам модуляції випромінювання, типам випромінювачів і функціональними можливостями. Останні відрізняються суміщенням різних видів впливу – лазерне, постійні і змінні магнітні поля, теплове і світлове випромінювання, які можуть подаватися одночасно або чергуватися. («МІТ1.2», Київ). До цього ж класу можна віднести комп'ютеризовані лікувально-діагностичні комплекси. Зазвичай вони здійснюють діагностику по Накатані, Фоллю або тесту Акабане. На підставі результатів



призначається цілеспрямована корекція і потім оцінюється якість такої корекції («ТКМ 1302»).

До інших застосовуваних апаратів відповідного напрямку відносяться промислові генератори «Г4-142 «МАВИ», «Луч- 58», апарати «Поріг-1», «АМРТ-02», «Лад», «Коверт-04-02», «Рамед-експерт 02» та ін. Діапазон частот струмів зазвичай знаходиться в межах 57–67 ГГц, найчастіше $61 \text{ ГГц} \pm 2,1 \text{ ГГц}$.

Апаратура для терапії електромагнітними хвилями сонячного спектра

Використання з лікувальною метою повного діапазону сонячної радіації має назву фототерапія або геліотерапія, а його фрагментів – відповідно до їх назвами: ультрафіолетовий, видимий, інфрачервоний. Лазерна терапія також відноситься до фототерапії, хоча в даному випадку використовується надзвичайно вузький хвильовий діапазон.

Діапазон ЕМІ у вигляді дозованої природної сонячної радіації (сонцелікування), відомий як засіб загартування і підвищення резистентності організму. Тепловий компонент сонячного випромінювання (інфрачервоний – ІЧ) – електромагнітні хвилі, що займають спектральну частину між червоним кордоном видимого світла (760 нм) і короткохвильовим радіовипромінюванням (1 – 2 мм). Для лікувальних цілей використовують штучні джерела теплового випромінювання: лампи розжарювання (солюкс) та інфрачервоні випромінювачі (780–1400 нм), укріплені в спеціальному рефлекторі на штативі (лампа Мініна, апарат «Угольок»). Апарат «Філіпс» забезпечує потік неполяризованого світла, що має промені ультрафіолетового та інфрачервоного діапазонів. Лікувальне застосування ІЧ-випромінювання ґрунтується на його тепловій дії. Найбільший ефект досягається короткохвильовим ІЧ-випромінюванням, близьким до видимого світла. ІЧ-випромінювання проникає в тканини на глибину близько 20 мм, тому в більшій мірі прогріваються поверхневі шари. Терапевтичний ефект саме й обумовлений температурним градієнтом, який підсилює кровопостачання і мікроциркуляцію в опроміненій ділянці, що визначає сприятливі лікувальні наслідки.

Електромагнітне випромінювання, що займає спектральну область між фіолетовим кордоном видимого світла (400 нм) і довгохвильової частиною рентгенівського випромінювання (10 нм) називають ультрафіолетовим (УФ). Це випромінювання, в свою чергу, розділяється по біологічній дії на УФ-А (400–315 нм), УФ-В (315–280 нм), УФ-С (280–100 нм). Використовуються апарати «ОУШ-1», «ОЕП», «ОПУ», «ЗМЗ», «Філіпс», різні модифікації апаратів «Кварц»). Основне застосування УФ-випромінювання в медицині пов'язане з його специфічним біологічним впливом, який обумовлений фотохімічними процесами, переважно бактерицидною, цитотоксичною і меланостимулюючою спрямованістю. При його використанні необхідно враховувати близькість лікувальних і руйнуючих впливів, що передбачає необхідність правильного дозування для виключення негативних віддалених наслідків. Залежно від



індивідуальної фоточутливості пацієнта УФ-випромінювання передозування можливе навіть при застосуванні терапевтичних доз.

Поляризація світла. Термін «поляризація світла» має два значення. По-перше, – це властивість світла, що характеризується просторово-часовою впорядкованістю орієнтації електричного і магнітного векторів (поляризоване світло). По-друге, поляризацією світла називають процес отримання поляризованого світла. Застосування поляризованого світла в медицині почалося наприкінці ХХ століття. У середині 80-х років з'явилися фізіотерапевтичні апарати, що випромінюють видиме поляризоване некогерентне низькоенергетичне (Пайлер) світло. Найбільш ефективними серед них, завдяки своїм фізико-технічним характеристикам, виявилися апарати Біоптрон (ЕВОЛАЙТ, біоніки, Біоптрон-1-компакт, БІОПТРОН-3, Біоптрон-про, Біоптрон-2). Вони випромінюють лінійно-поляризоване (95 %) світло з довжиною хвилі 80–3400нм (видимий спектр). Перетворений поляризацією світловий потік не містить ультрафіолетових і значної частини інфрачервоних променів. Важливою особливістю поляризованого світла є його десинхронізація в часі і просторі (некогерентність), а також дуже низька інтенсивність потоку енергії (40мВт/см^2). Такий потік електромагнітних хвиль (Пайлер/PILER-Polarized Polychromatic Incoherent Low – Energy Radiation) не порушує складних біохімічних процесів усередині клітин, органів і тканин і не викликає збоїв в роботі нервової, ендокринної та імунної систем. Забезпечується пряма доставка квантів енергії безпосередньо до органел клітини, розташованої на шкірі або слизових, а також до формених елементів крові, що проходять в шкірних капілярах. Розвивається комплекс біофізичних реакцій у відповідь, загальним підсумком яких є багаторівнева оптимізація клітинної функції. Відсутність побічних несприятливих ефектів зводить до мінімуму протипоказань і небезпеки передозування. За допомогою Пайлер-світла лікують пошкодження покривних тканин (травми, опіки, алергії, запалення) і порушення функцій імунної системи опосередковано через неінвазивного відновлення функції формених елементів крові. Є обнадійливі клінічні результати застосування Пайлер-світла в лікуванні пацієнтів з неврологічними, стоматологічними, урологічними, гінекологічними та іншими захворюваннями. Останнім часом доведено можливість активації точок акупунктури і накопичений досвід успішного лікування больових синдромів шляхом впливу на протибольові точки акупунктури.



Можливості методу Пайлер-світлотерапії істотно розширюються при застосуванні колор фільтрів, виготовлених методом Antic glass (БІОПТРОН КОЛОРО терапія). Особливості методики полягають у впливі на біологічно активні зони поляризованого монохромного світла (шість кольорів) у поєднанні із сумішами ефірних масел і рослинних екстрактів (три комплекси).

Термін лазер–світло (прийнятий для умовного позначення оптичних квантових генераторів окремих секторів видимого діапазону випромінювання) являє абревіатуру, утворену з початкових букв англійського словосполучення

LASER – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (посилений світ шляхом стимуляції емісії випромінювання). За видами активної речовини розрізняють такі основні типи лазерів: на твердому тілі (рубіновий, неодимовий) , газові (гелієво-неоновий, аргоновий, вуглекислотний, лазери на азоті, парах міді, окису вуглецю), рідинні (як активна речовина в них використовуються розчини хелатів-органічних комплексів з рідкоземельними металами: гадолінієм, неодимом, самарієм, тербієм, європієм), напівпровідникові (активною речовиною служать напівпровідникові матеріали – кадмію сульфід, кадмію теллурид, галія арсенід, свинцю селенід та ін.). Розроблено змінні за частотою лазерні установки з оптичними приставками на органічних барвниках, а також ексімерні лазери, що генерують випромінювання ультрафіолетової частини спектра, яке має низьку проникаючу здатність і добре поглинається тканинами організму.



За характером дії лазери поділяються на імпульсні і безперервної дії. Довжина хвиль випромінювання лазера виражається в мікрометрах (мкм), а потужність випромінювання – в кіловатах (кВт), ватах (Вт), міліватах (мВт). Вуглекислотний лазер генерує випромінювання в інфрачервоному спектрі з довжиною хвилі 10,6мкм. Аргоновий – у видимій зеленій частини спектра, довжина хвилі випромінювання складає 0,4579–0,5145мкм. Неодимовий АІГ-лазер – у близькому інфрачервоному спектрі з довжиною хвилі 1,06мкм. Всі лазерні апарати мають невеликий (кілька мм) діаметр променя, що визначає особливості їх терапевтичних властивостей.

При впливі лазерним випромінюванням на шкіру тільки та частина енергії, яка поглинається тканиною, бере участь у біологічних процесах. Інша частина лазерного випромінювання відбивається від тканини, і його енергія розсіюється в навколишньому просторі. Якщо інфрачервоне випромінювання вуглекислотного лазера (довжина хвилі 10,6 мкм) поглинається тканиною на 95% і лише 5% розсіюється , то для неодимового АІГ-лазера (довжина хвилі 1,06мкм) ці показники становлять 80 і 20% , а для аргонного – 60 і 40% відповідно. Зі збільшенням довжини хвилі випромінювання зменшуються ступінь відображення і глибина проникнення в тканину, а абсорбція випромінювання тканиною збільшується. Таким чином, випромінювання вуглекислотного лазера викликає в основному поверхневе прогрівання тканини при високій локальній ступеня концентрації лазерної енергії, в той час, як випромінювання аргонного і неодимового АІГ-лазера – об'ємне.

Під впливом лазерного випромінювання (поляризованого, когерентного) відбувається зміна енергетичної активності клітинних мембран, активація ядерного апарату, системи ДНК-РНК-білок, біосинтетичних процесів та основних ферментних систем, окислювально-відновних процесів, збільшення поглинання тканинами кисню, утворення АТФ. На тлі стимуляції функцій ядерного апарату підвищується мітотична активність клітини, активуються процеси розмноження, а також внутрішньої позаклітинної фізіологічної та репаративної регенерації. Лазерне випромінювання та продукти, що виникли в

результаті його застосування, надають вплив на нервові закінчення і опосередковано на нервову систему в цілому. В організмі виникають відповідні нервово-рефлекторні та нервово-гуморальні реакції, активуються симпатико-адреналова та імунна системи, збільшується концентрація адаптивних гормонів, тобто виникає комплекс адаптаційних і компенсаторних реакцій в цілісному організмі, спрямований на відновлення гомеостазу.

Для лікувального впливу лазерним випромінюванням на точки акупунктури серійно випускаються апарати (типу АПЛ-1 «Електроніка» і УФЛ «Ягода»), створені на базі гелієво-неонових лазерів ЛГ-75, ЛГ-38, ОКГ-13 (довжина хвилі 632,8нм). Як джерело інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі 1060нм, мкм використовуються неодимові АГ-лазери, з яких найбільш широке застосування отримали такі моделі, як Sharplan, Optimas, Medilas. У лазерному апараті «Саяни-МТ» використовується гелієво-неоновий газовий лазер «ЛГ-78» потужністю 2мВт і довжиною хвилі випромінювання 632,8нм (червоне світло). Апарати «Витязь», «РІКТА-01» генерують лазерне випромінювання з довжиною хвилі 890нм.

Створена серія багатоточкових лазерних апаратів Коробова: лазерний масажер «Барва-ЛМК» (5 лазерів по 5мВт з довжиною хвилі 650нм), лазерно-вакуумний масажер «Барва-Пневмо» (4–8 лазерів по 5мВт з довжинами хвиль 470, 540, 565, 585, 630, 660, 890нм), фотонні матриці «Барва-Флекс/К» (24 світлодіода по 5мВт, довжини хвиль 630, 650, 660нм), «Барва-Флекс/ІК» (теж 630–660, 840нм), «Барва-Флекс/ж» (595нм), «Барва-Флекс/З» (540нм), «Барва-Флекс/С» (440, 470 нм), лазерний зонд «Барва-ГПУ» (630, 650 і 660нм), магнітна матриця «Барва-Флекс/М» (24 магніти).

Використання люмінесцентного монохроматичного некогерентного випромінювання (LUMIR – Luminescence Monochromatic Incoherent Radiation) полягає у введенні в матеріал лазерних світловодів органічних барвників. При опроміненні світлом зовнішнього джерела вони починають люмінесцирувати у вузькому діапазоні частот (50–80нм). У даному випадку ми маємо справу зі спробою використання близькості хвильових діапазонів природної і штучної біоломінесценції для отримання позитивних біологічних ефектів.

Принцип монохроматичного впливу, характерний для лазерної терапії втілюється також у звичайних світлових джерелах. Апарат «Біо-Бім-660» використовує некогерентне випромінювання з довжиною хвилі 660нм (червоний колір), а «Біо-Бім-940» – 940 нм (інфрачервона область).

Комбінований вплив вузьких діапазонів ІЧ-випромінювання, червоного випромінювання і магнітного поля здійснюється в апаратах «Геска-1маг» (червоний – 660нм, ІК – 870нм, індукція магнітного поля – не менше 50мТл) і «Геска – 2маг» (червоний – 645–675нм, ІЧ – 840–950нм, індукція магнітного поля – не менше 50мТл), «Витязь» (червоний – 650–950нм, світлодіодне випромінювання – 890–950нм, лазерне випромінювання – 890нм, індукція постійного магнітного поля – 40–60 мТл). Одночасний (комплексний) вплив на одну і ту ж ділянку тіла світлодіодного випромінювання та магнітного поля сприяє підвищенню їх біологічної ефективності, що відбувається за рахунок сумування фізико-хімічних процесів і біологічних реакцій.

Апарати «АРЦАХ» поєднують ВВЧ, магніто-інфрачервоно-лазерну і кольоротерапію (частоти 60ГГц і 118ГГц, 42–95 і 90–140ГГц). Апарати «Сінхростар-ЕМ» та «РЕМАТЕРП» використовуються для екзогенної магнітної біорезонансної терапії, комплекс «АРМ-ПЕРЕСВЕТ» – для електротерапії, «МІНІ-ЕКСПЕРТ-ДТ» – для електро-, магніто-, кольорово- і інфрачервоної терапії, «ІМЕДІС-БРТ» – для ендогенної, «ІМЕДІС-БРТ-ПК» – для ендогенної і екзогенної біорезонансної терапії.



Опромінювач «Іволга» має діапазон впливу від ультрафіолетового А, В, С до видимого та інфрачервоного з потужністю на виході світловоду 1–50мВт.

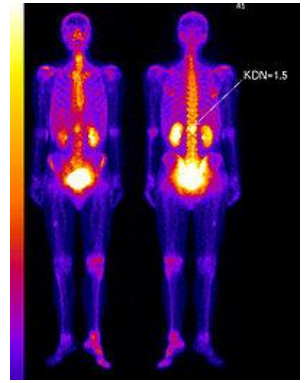
Використання руйнівних видів електромагнітного випромінювання

Рентгенівським випромінюванням називають електромагнітні хвилі з довжиною приблизно від 80 до 10–5нм. Найбільш довгохвильове рентгенівське випромінювання перекривається короткохвильовим ультрафіолетовим, короткохвильове – довгохвильовим гамма-випромінюванням. Одне з найбільш важливих медичних застосувань рентгенівського випромінювання – просвічування внутрішніх органів з діагностичною метою – рентгенодіагностика (рентгенографія, рентгеноскопія і томографія). З лікувальною метою рентгенівське випромінювання застосовують головним чином для руйнування злоякісних новоутворень – рентгенотерапія.

Радіація відноситься до іонізуючої частини спектра ЕМІ. Важливим компонентом природного радіаційного фону є космічні промені. Космічні промені – потоки елементарних частинок високих енергій галактичного і сонячного походження (сонячний вітер). Космічні промені в приземних умовах завдяки атмосфері, магнітним полях Землі, що зменшують щільність і жорсткість потоку елементарних часток, на відміну від відкритого космосу не викликають променевої хвороби, однак це не виключає інших реакцій в тканинах організму. Доза космічної радіації на всі органи тіла людини складає всього 2,5–3,5мкГр (25–35мбер) на рік – у 100 разів менше дози одного рентгенологічного обстеження. Річна доза від природних джерел радіації становить у мілібер: космічні промені – 28, атмосфера – 2, ґрунт – 47. В окремих регіонах радіоактивний земних порід може бути значною. Космічні промені над рівнем моря дають в середніх широтах 33 мбер на рік, на висоті 1500м – 70мбер на рік. У приміщеннях космічна реакція значно зменшена, але підвищено випромінювання від будівельних матеріалів (граніт – 20–60мр/год). Доза природної іонізуючої радіації в приземних умовах, навіть під час посиленої сонячної активності, нижча порогу шкідливої дії. Давно помічено, що виключно малі дози рентгенівського опромінення стимулюють ріст клітин і тривалість життя, але тривале опромінення сприяє прискоренню процесу старіння.

Одним з поширених джерел іонізуючого випромінювання є радіоактивний розпад атомних ядер. Розглядаючи первинні фізико-хімічні процеси в організмі при дії іонізуючих випромінювань, слід враховувати дві принципово різні

можливості взаємодії: з молекулами води і з молекулами органічних сполук. Під дією іонізуючих випромінювань відбуваються хімічні перетворення речовини, що отримали назву радіолізу. Іонізуюче випромінювання діє не тільки на біологічний об'єкт, підданий опроміненню, але й на наступні його покоління, через спадковий апарат клітин. Медичний додаток радіонуклідів можна представити двома видами, що використовують радіоактивні індикатори (мічені атоми) з діагностичними (сцинтиграфія, авторадіографія) і лікувальними (променева терапія) цілями.



Патологічна дія електромагнітного випромінювання

Виявлено термічну і специфічну біологічну дію більшості видів електромагнітного випромінювання за винятком його видимого діапазону. Негативна реакція зростає із збільшенням потужності електромагнітного поля і тривалості його впливу. Виразність реакції пов'язана з діапазоном радіочастот і з індивідуальними особливостями організму. Мікрохвильове випромінювання (радіотелефони, мобільні телефони, мікрохвильові печі), наприклад, надає нагрівні руйнівні дії на рівні нервових структур та їх взаємозв'язків. Описано негативну дію випромінювання дисплеїв на гостроту зору і вегетативний баланс.

Всесвітньою Організацією Охорони Здоров'я (ВООЗ) введено термін «Електромагнітне забруднення середовища», поряд з майже загальновживаним в різних країнах терміном – «електромагнітний смог». Найбільшу негативну біологічну активність мають СВЧ хвилі.

Хронічне дія на організм людини полів ВЧ і УВЧ, ультразвуку та інфразвуку призводить до порушення функціонального стану центральної нервової системи, яке характеризується гіпореактивністю її вегетативних відділів. Порушення вегетативної іннервації проявляється в малій вираженості шкірно-судинних і серцево-судинних рефлексів, а також в гіпергідрозі кисті рук, зниженні температури тіла на кистях, підвищенні порогу больової чутливості в дистальних відділах кінцівок. Внаслідок тривалого впливу полів СВЧ з'являються деякі порушення біоелектричної активності мозку. Разом з відносним збереженням альфа-ритму відзначається повільнохвильова активність. Підвищуються також пороги збудливості зорового і нюхового аналізаторів. Однією з причин, що сприяють розвитку несприятливих факторів у людини при контакті з ЕМП, є дезінтеграція організації інформації в системі мозку з наступними порушеннями в інших функціональних системах. Всі порушення супроводжуються скаргами на підвищену стомлюваність, головний біль, біль в області серця. З боку серцево-судинної системи відзначають брадикардію, нерідко з синусовою аритмією, в деяких випадках передсердну і шлуночкову екстрасистолію. Вегетативні порушення, зокрема брадикардія і артеріальна гіпотензія, носять зазвичай оборотний характер і зникають незабаром після закінчення впливу. У крові відзначають коливання показань лейкопоезу з тенденцією до лейкопенії і тромбоцитопенії. Під дією полів СВЧ може розвинути специфічна катаракта. Періодичний вплив ЕМП може привести до стійких змін гормонального статусу. Є вказівки на негативний

вплив ЕМП на генетичні структури. Встановлено, що вельми чутливі до ЕМП також ендокринна, імунна і репродуктивна системи людини.

Збільшується зв'язок між ЕМП 50–60 Гц, особливо в поєднанні з хімічними канцерогенами, і деякими видами ракових захворювань. Є труднощі у визначенні метрики тканинної кумулятивної дози через вплив зовнішніх ЕМП, оскільки, крім напруженості його і часу впливу, необхідно враховувати ефекти включення і виключення, коли біологічна реакція незначна або відсутня.

Будь-яке медико-біологічне дослідження пов'язане з отриманням та реєстрацією відповідної інформації. Незважаючи на різноманітність пристроїв і методів, вживаних для цієї мети, можна вказати їх загальні схеми та принципи дії.

Структурна схема знімання, передачі та реєстрації медико-біологічної інформації

Для того щоб отримати і зафіксувати інформацію про стан і параметри медико-біологічної системи, необхідно мати цілу сукупність пристроїв.

Первинний елемент цієї сукупності – чутливий елемент, званий *пристроєм знімання* неодмінно контактує або взаємодіє з самою системою, інші елементи знаходяться зазвичай відокремлено від медико-біологічної системи, в деяких випадках частини вимірювальної системи можуть бути навіть віднесені на значні відстані від об'єкта вимірювань

Пристрій знімання (електрод або датчик) → Вихідний вимірювальний (реєструючий) прилад → підсилювач → передавач → засіб вимірювань.

Ця схема є загальною і відображає всілякі реальні системи, що використовуються у медицині для діагностики і дослідження. У пристроях медичної електроніки чутливий елемент або прямо видає електричний сигнал, або змінює такий сигнал під впливом біологічної системи. Таким чином, пристрій знімання перетворює інформацію медико-біологічного і фізіологічного вмісту в сигнал електронного пристрою. У медичній електроніці використовуються два види пристроїв знімання: електроди та датчики.

Завершальним елементом вимірювального ланцюга в медичній електроніці є *засіб вимірювань*, яке відображає або реєструє інформацію про біологічну систему у формі, доступній для безпосереднього сприйняття спостерігачем.

У багатьох випадках між пристроєм знімання і засобом вимірювань є елементи, що підсилюють початковий сигнал і передають його на відстань.

Електроди для знімання біоелектричного сигналу

Електроди для знімання біоелектричного сигналу – це провідники спеціальної форми, що з'єднують вимірювальну ланцюг з біологічною системою.

При діагностиці електроди використовуються не тільки для знімання електричного сигналу, але і для підбиття зовнішнього електромагнітного впливу, наприклад в реографії. У медицині електроди використовуються також для надання електромагнітного впливу з метою лікування і при електростимуляції.

До електродів пред'являються певні вимоги: вони повинні швидко фіксуватися і зніматися, мати високу стабільність електричних параметрів, бути міцними, щоб не створювати перешкод, не дратувати біологічну тканину і т. п. Важлива фізична проблема, що відноситься до електродів для знімання

біоелектричного сигналу, полягає в мінімізації втрат корисної інформації, особливо на перехідному опорі електрод – шкіра.

Для зменшення перехідного опору електрод – шкіра намагаються збільшити провідність середовища між електродом і шкірою, використовують марлеві серветки, змочені фізіологічним розчином, або електропровідні пасти. Можна зменшити цей опір, збільшивши площу контакту електрод – шкіра, тобто збільшивши розмір електрода, але при цьому електрод буде захоплювати кілька еквіпотенційних поверхонь і справжня картина електричного поля буде спотворена.

За призначенням електроди для знімання біоелектричного сигналу поділяють на такі групи:

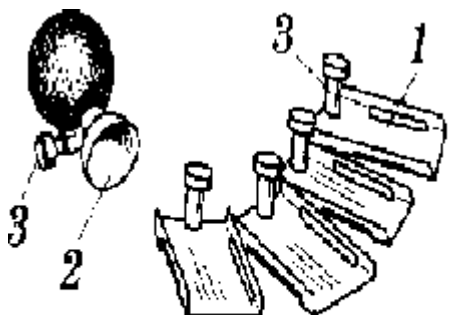
- 1) для короткочасного застосування в кабінетах функціональної діагностики, наприклад для разового зняття електрокардіограми;
- 2) для тривалого використання, наприклад при постійному спостереженні за важкохворими в умовах палат інтенсивної терапії;
- 3) для використання на рухомих обстежуваних, наприклад у спортивній або космічній медицині;
- 4) для екстреного застосування, наприклад в умовах швидкої допомоги.

Ясно, що у всіх випадках проявиться своя специфіка застосування електродів: фізіологічний розчин може висохнути і опір зміниться, якщо спостереження біоелектричних сигналів тривалий, при несвідомому стані пацієнта надійніше використовувати голчасті електроди і т. п.

При користуванні електродами в електрофізіологічних дослідженнях виникають дві специфічні проблеми. Одна з них – виникнення гальванічної ЕРС при контакті електродів з біологічною тканиною. Інша – електролітична поляризація електродів, що проявляється у виділенні на електродах продуктів реакцій при проходженні струму. В результаті виникає зустрічна по відношенню до основної ЕРС.

В обох випадках ЕРС що виникають, спотворюють корисний біоелектричний сигнал що знімається електродами. Існують способи, що дозволяють знизити або усунути подібні впливи, проте ці прийоми відносяться до електрохімії і в цьому курсі не розглядаються.

На закінчення розглянемо пристрій деяких електродів. Для зняття електрокардіограм до кінцівок спеціальними гумовими стрічками прикріплюють електроди – металеві пластинки з клемами 1, в які вставляють і закріплюють штирі кабелів відведень. Кабелі з'єднують електроди з електрокардіографом. На грудях пацієнта встановлюють грудної електрод 2. Він утримується гумової присоскою. Цей електрод також має клему для штиря кабелю відведень.



У мікроелектродній практиці використовують скляні мікроелектроди. Профіль такого електрода зображений на рис., кінчик його має діаметр 0,5 мкм. Корпус електрода є ізолятором, всередині знаходиться провідник у вигляді електроліту. Виготовлення мікроелектродів і робота з ними представляють певні труднощі, однак такий мікроелектрод дозволяє проколювати мембрану клітини і проводити внутрішньоклітинні дослідження.

Датчики медико-біологічної інформації

Багато медико-біологічні характеристики не можна безпосередньо «зняти» електродами, так як ці характеристики не відображаються біоелектричним сигналом: тиск крові, температура, звуки серця та багато інших. У деяких випадках медико-біологічна інформація пов'язана з електричним сигналом, однак до неї зручніше підійти як до неелектричної величини (наприклад, пульс). У цих випадках використовують датчики (вимірювальні перетворювачі).

Датчиком називають пристрій, що перетворює вимірювану або контрольовану величину в сигнал, зручний для передачі, подальшого перетворення або реєстрації. Датчик, до якого підведена вимірювана величина, тобто перший в вимірювальній ланцюга, називається *первинним*.

У рамках медичної електроніки розглядаються тільки такі датчики, які перетворюють вимірювану або контрольовану неелектричну величину в електричний сигнал.

Датчики поділяються на *генераторні* і *параметричні*.

Генераторні датчики під впливом вимірюваного сигналу безпосередньо генерують напругу або струм. Вкажемо деякі типи цих датчиків та явища, на яких вони засновані:

- 1) *п'єзоелектричні, п'єзоелектричний ефект;*
- 2) *термоелектричні, термоелектрика* – явище виникнення ЕРС в електричному ланцюзі, що складається з послідовно з'єднаних різнорідних провідників, що мають різну температуру спаїв,
- 3) *індукційні, електромагнітна індукція;*
- 4) *фотоелектричні, фотоефект.*

Параметричні датчики під впливом вимірюваного сигналу змінюють свій параметр. Вкажемо деякі типи цих датчиків і вимірюваний з їх допомогою параметр:

- 1) *ємнісні, ємність;*
- 2) *реостатні, омний опір;*
- 3) *індуктивні, індуктивність або взаємна індуктивність.*

Залежно від виду енергії, яка є носієм інформації, розрізняють *механічні, акустичні* (звукові), *температурні, електричні, оптичні* й інші датчики.

У деяких випадках датчики називають по вимірюваній величині; так, наприклад, датчик тиску, тензометричний датчик (тензодатчик) – для вимірювання переміщення або деформації і т. д.

Наведемо можливі медико-біологічні застосування зазначених типів датчиків. Датчик характеризується *функцією перетворення* – функціональною залежністю вихідної величини y від вхідних x , яка описується аналітичним виразом $y = f(x)$ або графіком. Найбільш простим і зручним випадком є прямо пропорційна залежність $y = kx$.

Таблиця 26

Датчик	Механічний	Акустичний	Оптичний	Температурний
П'єзоелектричний	АД	ФКГ	-	-
Термоелектричний	-	-	-	Т
Індукційний	БКГ	ФКГ	-	-
Фотоелектричний	-	-	ОГГ	-
Ємнісний	ФКГ	-	-	-
Реостатний	АД, БКГ	-	-	Т
Індуктивний	ДЖ	-	-	-

Позначення: АД – артеріальний тиск крові, БКГ – балістокардіограма, ФКГ – Фонокардіограма, ОГГ – оксигемографія, Т – температура, ДЖ – тиск у шлунково-кишковому тракті.

Чутливість датчика показує, якою мірою вихідна величина реагує на зміну вхідної:

$$z = \Delta y / \Delta x.$$

Вона залежно від виду датчика виражається, наприклад, в *Омах на міліметр* (Ом / мм), в *мілівольтах на кельвін* (мВ / К) і т. д.

Істотні тимчасові характеристики датчиків. Справа в тому, що фізичні процеси в датчиках не відбуваються миттєво, це призводить до запізнювання зміни вихідної величини в порівнянні зі зміною вхідної.

Аналітично така особливість призводить до залежності чутливості датчика від швидкості зміни вхідної величини dx/dt або від частоти при зміні x по гармонічному закону.

При роботі з датчиками слід враховувати можливі, специфічні для них, похибки. Причинами похибок можуть бути наступні фактори:

- 1) температурна залежність функції перетворення;
- 2) гістерезис – запізнювання y від x навіть при повільному зміні вхідної величини, що відбувається в результаті необоротних процесів в датчику;
- 3) непостійність функції перетворення в часі;
- 4) зворотний вплив датчика на біологічну систему, що приводить до зміни показань;
- 5) інерційність датчика (нехтування його тимчасовими характеристиками) та ін.

Конструкція датчиків, що використовуються в медицині, досить різноманітна: від найпростіших (типу термопари) до складних доплерівських датчиків.



На закінчення відзначимо, що датчики є технічними аналогами рецепторів біологічних систем.

Передача сигналу. Радіотелеметрія

Знятий і посилений електричний сигнал необхідно передати до реєструючого (вимірювального) приладу.

У багатьох випадках електроди або датчики, підсилювач і прилад, конструктивно оформлені як єдиний пристрій. У цьому випадку передача інформації не є складною проблемою. Однак вимірювальна частина може знаходитися і на відстані від біологічної системи, такі вимірювання відносять до *телеметрії* або, можливо, до *біотелеметрії*. Зв'язок між пристроєм знімання і реєструючим приладом при цьому здійснюється або по проводах, або по радіо. Останній варіант телеметрії називають *радіотелеметрією*. Цей вид зв'язку широко використовують у космічних дослідженнях для отримання інформації про стан космічного корабля і його екіпажу, у спортивній медицині – про фізіологічний стан спортсмена під час вправ. Наприклад, за допомогою антени передавача на шоломі спортсмена, випромінюючої радіохвилі, на відстані 300 – 500 м (тобто в межах стадіону) можна фіксувати дані про його стан.

Радіотелеметрія застосовується також для ендорадіозондування травного тракту. Розглянемо це питання докладніше. Мініатюрна капсула з радіопередавачем (ендорадіо-зонд) заковтується хворим. По зміні частоти передавача приймачем, розташованим поблизу пацієнта, можна вимірювати тиск, ступінь кислотності або лужності, температуру та інші параметри в місці розташування капсули.

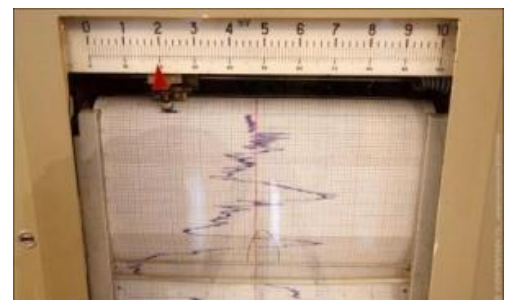
Аналогові реєструючі пристрої

Кінцевим елементом технічної схеми є вимірювальний (контролюючий) пристрій, що відображає або реєструє медико-біологічну інформацію.

Під *пристроєм відображення* розуміють пристрій, який тимчасово представляє інформацію, при появі нової інформації колишня інформація безслідно зникає. Такими є, зокрема, стрілочні прилади: амперметр, вольтметр та ін. Стрілочний амперметр, наприклад, показує силу струму в даний момент і не фіксує її. При зміні сили струму в ланцюзі інформація про колишньому значенні безповоротно втрачається. Для запам'ятовування інформації, яка відображається такими пристроями, необхідно спеціально її фіксувати, що, наприклад, і роблять студенти у фізичній лабораторії, знімаючи показання приладів. Медико-біологічне застосування пристроїв відображення досить невелике: Електротермометрія опору, частотомір пульсу та ін.

Значно більшого поширення в медичній електроніці отримали *реєструючі прилади*, які фіксують інформацію на будь-якому носії. Це дозволяє документувати, зберігати, багаторазово використовувати, обробляти і аналізувати отриману медико-біологічну інформацію.

Відображаючі та реєструючі прилади підрозділяють на *аналогові* – безперервні, *дискретні* і *комбіновані*, що поєднують можливості аналогових і дискретних.



Розглянемо докладніше найбільш поширені в практиці медико-біологічних досліджень аналогові реєструючі пристрої. Деякі з них називають також *самописними приладами* або *самописами*.

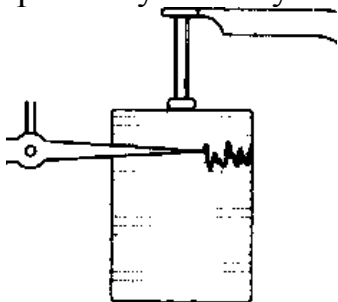
У медицині, біології і фізіології в основному використовуються наступні способи реєстрації інформації на носії:

- а) нанесення шару речовини (барвника): чорнильно-пир'яна і струєписна системи;
- б) зміна стану речовини носія: фотореєстрація, електрохімічна, електрофотографічна (ксерографія) і магнітний запис;
- в) зняття шару речовини з носія: закопчена поверхня, тепла запис.

Найпростіші самописці знаходять і сьогодні застосування в фізіологічному експерименті. Є *кімограф*, що працює від заведеної пружини, або *Електрокімографія*, рівномірне обертання барабана, що здійснюється електродвигуном.

Ідея кімографа – рівномірне обертання або переміщення поверхні носія – зберігається в переважній більшості сучасних аналогових реєструючих приладів, що фіксують тимчасову залежність досліджуваної величини. Зсув у писця або світлової плями, пропорційне реєстрованій величині, є ординатою отриманого графіка. Рівномірне переміщення носія (папір, фотоплівка) означає, що абсциса прямо пропорційна часу t . У результаті отримана крива відображає залежність $y = f(t)$.

Самописні прилади, що використовують в медичній апаратурі, перетворюють електричний сигнал в механічне переміщення. Фізично вони є гальванометрами – високочутливими електровимірювальними приладами, що реагують на досить малу силу струму. У цих приладах струм, що проходить по котушці, дротяній рамці або по петлі, взаємодіє з магнітним полем постійного магніту. В результаті цієї взаємодії рухома частина (магніт, дротова рамка або частини петлі) відхиляється пропорційно силі струму, тобто пропорційно електричному сигналу.



З рухомою частиною з'єднаний пишучий елемент, що залишає слід на рухомому носії запису: спеціальне капілярний перо, або скляний капіляр із соплом в струменевому самописці, або дзеркальце, що відбиває промінь світла, або щось інше.

Важливою характеристикою самописця є діапазон частот коливань, які вони встигають реєструвати. Чим більше інерція рухомої частини самописця, тим більше запізнювання реєстрації щодо справжнього зміни реєстрованої величини і тим гірше характеристика приладу.

У самописних пристроях поряд зі звичайними похибками вимірювальних приладів виникають також похибки, зумовлені записом.

Причинами похибки записи можуть бути неточність роботи механізму переміщення паперу або фотоплівки, запізнювання, викликане інерцією друкарської системи приладу, зміна розмірів паперу під впливом вологості повітря, неточність позначки часу та ін.

Крім однокоординатних самописців, фіксуючих тимчасову залежність, в дослідницькій практиці набули поширення двокоординатні самописці. При реєстрації поперечна рейка переміщається поступально, її зсув пропорційно одному з подаваних сигналів – параметрів x . Уздовж рейки пропорційно зміні другого параметра y переміщається каретка з писцем. В результаті писець здійснює складний рух і залишає на папері графік функції $y = f(x)$.

Поряд з аналоговими реєструючими пристроями в медичній практиці для фіксування інформації використовуються і безінерційні комбіновані пристрої – *електронно-променеві трубки*.

Так, наприклад, в портативному *вектор-Кардіоскопі* електронно-променева трубка є основним елементом, який відображає, а при додатковому фотографуванні і реєструє електронні вектор-кардіограми.

Електронно-променева трубка відноситься до групи комбінованих пристроїв, так як може відображати (при додатковому фотографуванні – реєструвати) вихідну інформацію не тільки в аналоговій, а й в дискретній формі (цифри, букви).

Техніка електробезпеки при роботі з медичною апаратурою

Сучасний лікувально-профілактичний заклад, лікарня, поліклініка володіють великим набором медичних приладів, апаратів і допоміжних пристроїв, в яких в тому чи іншому вигляді використовується електрична енергія. Тому існує ймовірність бути пораженим електричним струмом як для хворого так і для обслуговуючого персоналу.

Електричний струм діє на людину тоді, коли вона стає частиною електричного кола, тобто тоді, коли через людину або через якісь органи або тканини, буде проходити електричний струм. Величина цього струму залежить від прикладеної зовнішньої напруги, електричного опору ділянки тіла, через який проходить струм. При певній величині струму виникають незворотні процеси в організмі зв'язані з паралічем органів дихання чи фібриляцією шлуночків серця.

Електричний струм може діяти на тканини людського організму шляхом:

- розсіювання електричної енергії на опорах тканин;
- збудження тканин живого організму.

Реакція організму на дію електричного струму залежить від величини струму (таблиця 1).

Таблиця 1 – Дія струму на організм людини.

Сила струму на частоті 50 Гц	Ефект дії струму
0-0,5 Ма	Відсутній
0,5-2 Ма	Втрата чутливості
2-10 мА	Біль, м'язове скорочення
10-20 Ма	Фізичні пошкодження шкіри. При $I \sim 16$ мА людина не може звільнитись від електродів

20-100 Ма	Параліч органів дихання
100 мА-3 А	Смертельна фібриляція шлуночків серця, якщо швидко не відбудеться реанімація
Більше від 3 А	Зупинка серця. Якщо шок був короткочасний, то серце ще можна реанімувати

Внаслідок збудження тканини людського організму електричним струмом може відбуватися:

- короткочасне скорочення м'язів;
- тривале скорочення м'язів;
- параліч органів дихання;
- фібриляція шлуночків серця.

Ступінь стимуляції певного нерва чи м'язів залежить від різниці потенціалів, яка прикладена до клітини тканини, локальної густини струму, що протікає через тканину.

Збудження тканини людського організму викликає біологічну дію. Розсіювання електричної енергії на опорах тканини людського організму приведе до підвищення температури на даній ділянці чи в цілому організмі, опіку малої частини тканини чи великої в залежності від величини розсіювання енергії. Виникає термічна дія струму, яка проявляється в опіках окремих ділянок тіла, нагріванні кровоносних судин, крові, виникнення електротравми чи електричного удару.

До електротравм слід віднести:

- електричні опіки;
- електричні знаки;
- металізація шкіри;
- електрофтальмію

Електричні знаки представляють собою чітко округлені плями сірого чи блідо-жовтого кольору на поверхні шкіри.

Металізація шкіри – це проникнення у верхні шари шкіри дрібненьких частинок металу.

Електрофтальмія – запалення рогової оболонки очей під дією ультрафіолетового випромінювання.

- Механічні пошкодження проявляються при різних недовільних і судомлених скорочень м'язів під дією великої сили струму (>100 мА). В цьому випадку може проявитись і електричний удар.

Таким чином, згубна дія електричного струму на живий організм визначається:

- характеристиками електричного струму, що протікає в електричному колі;
- електрофізичними характеристиками ділянки живого організму, що знаходиться між двома точками дотику;
- фізіологічним і психічним станом організму в момент дії струму на організм;
- факторами зовнішнього середовища;

- часом дії електричного струму на живий організм.

Електричний струм, що протікає через ділянку тіла між двома точками дотику, можна рахувати небезпечним чи смертельним, якщо він створює в життєво важливих органах (мозок, серце, органи дихання) локальні густини струмів, які достатні для порушення нормального функціонування цих органів.

Згідно з дослідженнями дії електричного струму на організм дорослої людини розрізняють:

- безпечні струми;
- відчутні струми;
- порогово-невідпускаючі;
- порогово-утримуючі.

Безпечний струм – це величина струму, яка може проходити досить довго через ділянку тіла людини і не викликати при цьому ніякого відчуття.

Точні значення не встановлені, оскільки вони залежать від багатьох причин, але ця величина струму не перевищує 50 мкА при частоті 50 Гц і 100 мкА для постійного струму.

Порогово-відчутний струм – це мінімальна величина струму, подразнююча дія якої відчувається людиною. Величина порогово-відчутного струму залежить від місця дотику, площі контакту, виду тканини. Порогово-відчутний струм – це (0,6...1,5) мА при частоті 50 Гц і 5-7 мА для постійного струму.

При 3-5 мА змінного струму подразнююча дія струму відчувається всією рукою; при 10-15 мА і вище біль стає нестерпним, виникають корчі м'язів рук.

Порогово-невідпускаючі струми – це величина струмів 10-15 мА змінного струму і 50-80 мА постійного струму, які викликають тривале скорочення м'язів (корчі). Значення порогово-невідпускаючих струмів у різних людей неоднакове. Середні значення їх складають:

Для дітей – 5-8 мА змінного струму (40 мА для постійного струму);

Для жінок – 8-11 мА при 50 Гц (50 мА для постійного струму);

Для чоловіків – 12-16 мА змінного струму (80 мА для постійного струму).

Стать і вік суттєво впливають на величину порогово-відчутного струму. Для жінок він зменшується в середньому на 30%, для дітей – на 50%.

При величині струму більше 100 мА може виникнути шлункова фібриляція, а при величині струму 2 А і більше – тривале скорочення серця, що часто супроводжується паралічем органів дихання.

Змінний струм промислової частоти в 4-5 разів небезпечніший ніж постійний. Отже, згубна дія електричного струму на людину визначається величиною струму, частотою, видом струму.

Особливим фактором дії електричного струму на організм є час дії. Коротко тривала дія (10^{-1} – 10^{-2} с) навіть значного електричного струму і напруги не приводить до згубних наслідків (фібриляція), а навпаки до корисної дії.

Отже, для електробезпеки людини, зокрема пацієнта, здійснюють певні засоби захисту від згубної дії електричного струму, а саме:

1. Частина приладу чи апарату, які знаходяться під напругою, ізолюють від корпусу і людини за допомогою одинарної чи подвійної ізоляції, яка повинна бути розрахована на напругу змінного струму не нижче 500 В. В медичному устаткуванні з подвійною ізоляцією кожух виготовляється з матеріалу, який дуже погано проводить електричний струм, а

виступаючі металеві частини кріпляться до кожуха за допомогою окремої захисної ізоляції. Прилади з подвійною ізоляцією мають обмежене застосування, так як при попаданні рідини на прилад чи великій вологості в приміщенні вони можуть знаходитись під напругою.

2. Медичне устаткування конструюють так, щоб воно працювало від джерел з низькою напругою (наприклад, через батареї або проміжні трансформатори).
3. Найбільш часто медичні прилади і апарати заземлюють – під'єднують корпус приладу до заземлювача.

Заземлення – це навмисне з'єднання корпусу приладу чи апарату із заземлюючим пристроєм.

Заземлюючий пристрій – це сукупність заземлювача і заземлюючих провідників.

Заземлювач – провідник або група з'єднаних провідників які дотикаються до землі

Головною характеристикою заземлюючого пристрою є опір, величина якого не повинна бути більше 4 Ом при напрузі до 1000 В.

Зустрічається ще один метод захисту при роботі з медичним устаткуванням. Як відомо, згубна дія електричного струму пов'язана з тим, що пацієнт контактує з землею, але ця дія можлива тому, що нейтральний провід електромережі заземлений. Отже, якщо обидва проводи системи розподілу потужності будуть ізольовані від землі, то тоді можна позбутися згубної дії електричного струму. Їх використовують в операційних і палатах інтенсивної терапії.

Отже для захисту хворого від згубної дії електричного струму при лікуванні або діагностиці необхідно:

- ознайомитись (вивчити) всі медичні прилади і апарати в палаті, операційній чи медичній установі, вивчити інструкції з їх застосування і попросити спеціаліста пояснити методи їх правильного використання;
- завжди дотримуватись правил роботи з мед приладами чи апаратами;
- терміново повідомляти про мед устаткування, у якого з'явилися будь-які відхилення від нормальної роботи, наприклад удар струмом оператора;
- додержуватись всіх спеціальних інструкцій чи правил, які встановлені для певного мед устаткування і процедур, які проводяться в даній медичній установі.