

## Діагностичні ультразвукові апарати

### Основні положення

Ультразвукова діагностика – розпізнавання паталогічних змін окремих органів та систем за допомогою методу дистанційного УЗ дослідження. УЗ діагностика заснована на принципі ехолокації – випромінювання зондуючого імпульсу та прийняття сигналів відбитих від поверхні розподілу тканин, що мають різні акустичні властивості.

Вперше УЗ діагностику провів австрійський невропатолог Дусік в 1942 р. для розпізнавання пухлини мозку.

З діагностичною метою застосовують УЗ-хвилі малої інтенсивності, які не викликають біологічних ефектів в тканинах, - до 0,1 Вт на кв.см. Усереднена швидкість розповсюдження ультразвуку в тканинах тіла складає 1540 м/с, але дещо різна в різних органах.

Ткань	c (м/с)
Мозг	1510
Печень	1550
Почки	1565
Мышцы	1580
Жировая ткань	1450
Кости	4080
Кровь	1570
<b>Мягкие ткани (усредненно)</b>	<b>1540</b>
Воздух	330

Чим вище частота (відповідно менша довжина хвилі) УЗ, тим вище роздільна здатність ультразвукового апарату, тобто здатність побачити більш дрібні деталі на зображенні. З іншого боку – чим вище частота, тим менше проникаюча здатність або глибинна сканування. В ультразвуковій діагностиці використовують діапазон 2 – 15 МГц. Даний діапазон зумовлений фізичними особливостями ультразвуку (залежністю глибини сканування від частоти) та діагностичними завданнями УЗД (отриманням зображення по можливості з великим дозволом).

Співвідношення частоти і глибини проникнення ультразвуку в м'яких тканинах організму приблизно становлять:

1 МГц – до 50 см

3,5 МГц - 30 см

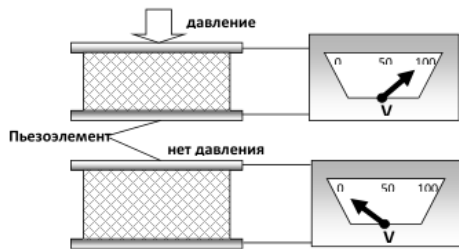
5 МГц – 15 см

7,5 МГц – 7 см

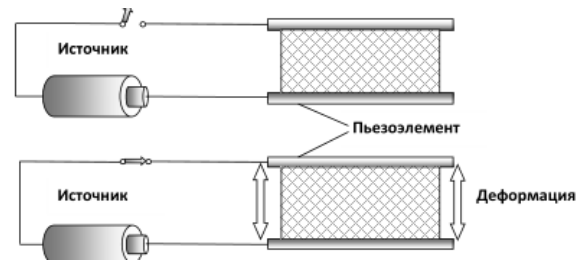
10 МГц – 5 см

Для отримання ультразвукових хвиль в діагностичних апаратах використовують як прямий так і зворотній п'єзоелектричний ефект.

За допомогою УЗ-датчика на основі зворотного п'єзоелектричного ефекту отримують УЗ зондуючий сигнал і приймають ехосигнал. Останній в датчику в результаті прямого п'єзоелектричного ефекту перетворюється на змінне електричне поле, що дозволяє зареєструвати, посилити і візуалізувати ехосигнали за допомогою електронної апаратури.



Прямий п'єзоелектричний ефект



Зворотний п'єзоелектричний ефект

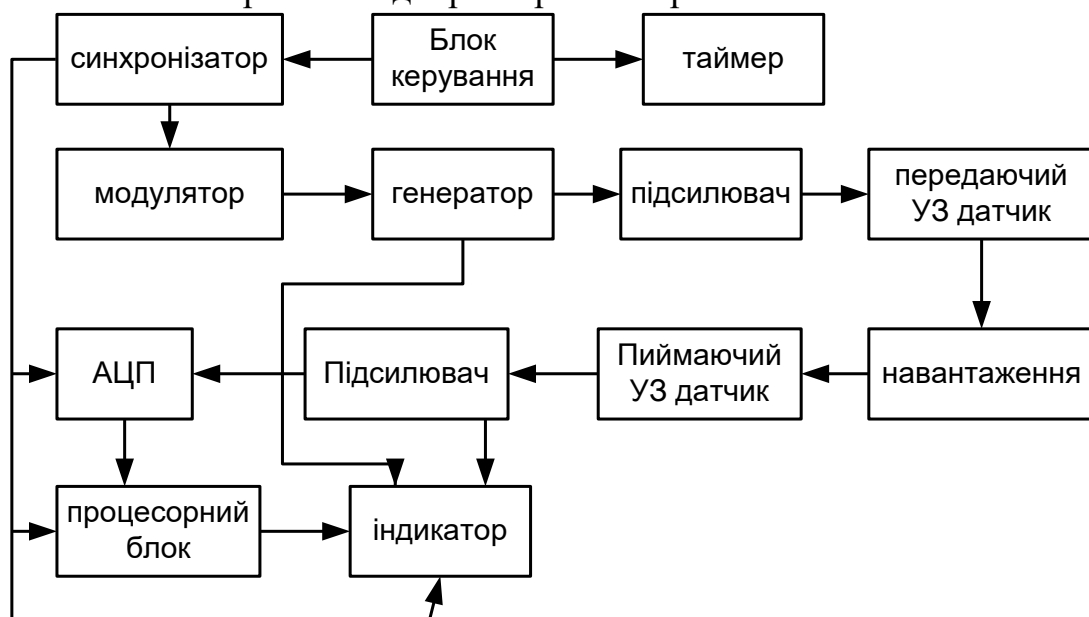
Ці властивості п'єзоелементів знайшли застосування в ультразвукових апаратах, оскільки один і той же п'єзокристал може бути поперемінно як приймачем, так і джерелом ультразвукових хвиль. Дана частина ультразвукового апарату називається акустичним перетворювачем або трансдюсером (англ. transducer - перетворювач), найчастіше мають назву – ультразвуковий датчик.

Для отримання зображення в ультразвуковій діагностиці використовується ультразвукове випромінювання у вигляді коротких імпульсів (імпульсне).

Тривалість імпульсу складає 1 мкс. Цей же датчик у перерві між генерацією хвиль сприймає відбиті сигнали і трансформує їх назад в електричні. Тобто за час роботи датчик тільки 0,001 частину часу генерує УЗ-хвилі (1мкс), а решту 0,999 (999 мкс) – сприймає відбиті хвилі (працює як приймач).

Отже, весь процес ультразвукового сканування можна розділити на наступні етапи:

- генерація ультразвукових хвиль (зворотний п'єзоелектричний ефект);
- проникнення ультразвукових хвиль у тканини;
- взаємодія ультразвуку з тканинами, відбиття від границь розділу середовищ у вигляді різної сили «луни»;
- перетворення відбитих сигналів в електричний сигнал (прямий п'єзоелектричний ефект);
- реєстрація електричного сигналу з допомогою різних видів реєстрації відбитих сигналів або різних видів розгортки зображення.



Структурна схема приладу УЗ діагностики

## Робота апарата УЗД:

Генератор виробляє УЗ коливання з частотою 200-600 кГц. Роботою генератора керує модулятор, за допомогою якого задаються імпульси різної тривалості. Імпульси, що пройшли крізь ділянку, яка діагностується приймаються датчиком та виділяються за допомогою часової селекції, підсилюється та оцифровується та проходить обробку в процесорному блоці, що забезпечує отримання АЧХ сигналу. отримана АЧХ порівнюється з АЧХ сигналу отриманого при відсутності об'єкту. Відлік часу проведення обстеження задається таймером (лічильник). Вся апаратура має вбудовану систему якості виміру. Для вибору режиму роботи, інтенсивності та частоти випромінювання передбачено блок керування.

## Основні режими ультразвукового сканування

За способом реєстрації та відображення на екрані електронних приладів ехосигналів розрізняють такі режими УЗ-сканування:

- А - режим;
- В - режим;
- М - режим;
- доплерівські режими;
- комбіновані режими (одночасне використання двох і більше режимів)
- режими з побудовою об'ємного зображення (3D і 4D)
- еластографія

- А-режим (amplitude mode). Найпростішим і історично найпершим одновимірним режимом є відображення відбитого луни – так званий дисплей з А - режимом (амплітудний режим). В даному форматі відлуння з різної глибини відображаються у вигляді вертикальних піків на горизонтальній лінії, що відображає глибину (або реальний час). Сила відлуння визначає висоту або амплітуду кожного з показаних піків, звідси і термін: амплітудний режим, або А - режим. А - режимний формат дає тільки одномірне зображення акустичного опору вздовж лінії проходження ультразвукового променя і в даний час рідко використовується для діагностики, так як точність методу невисока.м

Прикладом використання А-режиму в медицині є ехоенцефалоскопія - методика УЗ-сканування, використовувана в неврології та нейрохірургії для діагностики об'ємних уражень головного мозку (гематом, пухлинних процесів і т.і.). Основні ехосигнали (максимальні по амплітуді) формуються при відбитті від черепної коробки в місці розташування датчика, серединних структур, черепної коробки протилежної сторони. Зсув центрального піку в праву або ліву сторону може вказувати на наявність патології відповідно лівого чи правого півкуль мозку.



- В-режим (brightness mode). Ехосигнали, перетворені в датчику в електричне поле, викликають на екрані світіння точок різної яскравості: чим більше

коливання напруженості електричного поля (що, в свою чергу, залежить від інтенсивності ехосигналу), тим більш яскрава і об'ємна пляма утворюється на екрані вимірювального приладу. Для реалізації режиму використовують датчики складних пристроїв УЗ-хвиль, які містять безліч елементів, випромінюючих зондувальні стимули і перетворюючих ехосигнали. Напрямок зондуючих сигналів також змінюється. Електронна апаратура накопичує дані дослідження однієї і тієї ж ділянки тіла, отриманих за допомогою всіх елементів датчика і в різних напрямках, і, інтегруючи їх, формує зображення досліджуваного органу в реальному режимі часу в масштабі вимірювального пристрою. Таким чином можна отримати двовимірні ехотомографи.



Формування зображення визначається тим, що різні тканини по-різному проводять УЗ-хвилі: деякі тканини повністю відображають їх, інші – розсіюють. Якщо УЗ-хвиля вільно проходить через тканину, не відбиваючись від неї, на екрані це місце буде чорним, «ехопрозорим». Якщо тканина помірно поглинає УЗ-хвилі, а частина їх відображає, то ця тканина «середньої ехогенності», на екрані вона виглядає сірою. Якщо ж тканина повністю відображає УЗ-хвилі, то на екрані візуалізується тільки межа такого об'єкта у вигляді лінії «високої ехогенності» білого кольору, глибше розташовані органи і тканини розглянути не можна.

Відповідно тканини, що відображають УЗ-хвилі називаються ехоцільними, тканини, що пропускають – ехопрозорими, або анехогенними.

Чим більш світлим виглядає об'єкт, тим вище його ехогенність – здатність відображати ультразвуковий сигнал. Сучасні ультразвукові апарати можуть реєструвати до 1024 відтінків сірого кольору, що дозволяє отримати дуже реалістичне зображення органів.

Основні терміни, використовувані при описі дослідження в В-режимі:

- ехонегативна (анехогенна, гіпоехогенна) структура – структура добре проводить УЗ – хвилі, на екрані монітора виглядає чорною або темною (будь-яка рідина – кров, сеча, піт, набряк, а також хрящова тканина);

- ехопозитивна структура (ехогенна, гіперехогенна) – структура, володіє високим акустичним опором, на екрані монітора виглядає світлою або білою (конкремент);

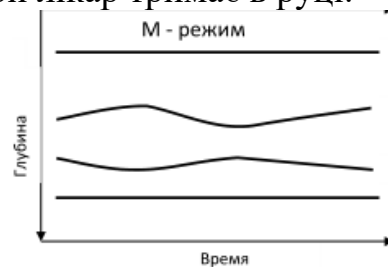
- акустична тінь – простір позаду гіперехогенного об'єкта, в яке УЗ-промені проникають і оцінити вміст якого неможливо, на екрані має вигляд чорної смуги (наприклад, ділянка позаду конкременту або область позаду кісткової структури).

- М-режим (motion mode). Дозволяє отримувати ехограми рухомих структур організму. Як і при здійсненні А- режиму, напрямок зондуючих сигналів залишається незмінним протягом усього часу дослідження, однак зондування

здійснюється багаторазово так, щоб період формування М-ехограми перевищував період руху досліджуваних структур і період формування А-ехограми.

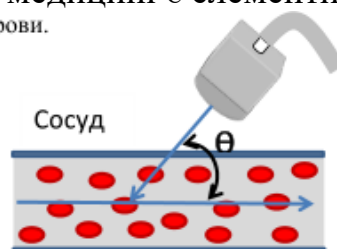
Це також одновимірний режим, він широко використовується в даний час. На такому зображенні вісь глибини на моніторі орієнтується вертикально, а часова розгортка – в горизонтальному напрямку. Таким чином отримують криві, які надають детальну інформацію про переміщення розташованих уздовж ультразвукового променя відображають структур. Широко застосовується даний режим при дослідженні серця, коли можна простежити переміщення стулок клапанів серця, оцінити зміна розмірів порожнин серця при його скорочення, вивчати особливості скорочення великих судин і ін. Найчастіше в клініці використовується ехокардіографія.

Напевно кожен хоча б раз у житті записувався на процедуру ультразвукової діагностики і навіть самостійно бачив на кранах апарату якісь смужки, шари, круги... Але мало хто замислювався про те, звідки приходить і як оброблюється і відображається ця інформація - її точно не надсилає і не передає організм людини. Дані відправляє і збирає спеціальний датчик для УЗД, який, як ви могли бачити самі, при проведенні процедури лікар тримає в руці.



Ультразвуковий метод дослідження дозволяє отримувати не тільки інформацію про структурний стан органів і тканин, а й характеризувати потоки в судинах. В основі цієї здатності лежить ефект Допплера - зміна частоти прийнятого звуку при русі щодо середовища джерела або приймача звуку або тіла, розсіює звук. Він спостерігається через те, що швидкість поширення звуку (ультразвуку) в будь-який однорідному середовищі є постійною. Отже, якщо джерело звуку рухається з постійною швидкістю, звукові хвилі, які випромінює в напрямку руху, як би «Наздоганяють» попередні, збільшуючи частоту звуку. Хвилі, що випромінюються в зворотному напрямку, відповідно, як би «відстають», викликаючи зниження частоти звуку. З цим ефектом ми зустрічаємося постійно, спостерігаючи зміну частоти від машин, поїздів і т.д. Шляхом зіставлення вихідної частоти ультразвуку зі зміненою можна визначити доплеровській зсув частот і розрахувати швидкість. При цьому об'єкт повинен віддалятися або наближатися до джерела. Якщо об'єкт рухається уздовж датчика, тобто не наближається і не видаляється, то він залишається нерухомим або «Невидимим» для доплерівського дослідження. Прикладом руху об'єкта при використанні ефекту Допплера в медицині є елементи крові.

рови.



Допплеровські режими дозволяють оцінювати основні параметри кровотоку – швидкість, напрямок, ламінарного, а також ступінь васкуляризації досліджуваної області. В даний час у клінічній практиці використовуються наступні види доплерівського дослідження: безперервна і імпульсна потокова спектральна доплерографія (ПСД), кольірне доплерівське картування, енергетичний доплер, конвергентний кольоровий доплер.

Безперервна ПСД, Continuous Wave Doppler (CWD або CW) - методика заснована на постійному випромінюванні і постійному прийомі відбитих ультразвукових хвиль. Застосовується для кількісної оцінки кровотоку в судинах с високошвидкісними потоками. Недолік: неможливість ізольованого аналізу потоків в строго визначеному місці. У ехокардіографії з допомогою постійно-хвильового доплера можна провести розрахунки тиску в порожнинах серця та магістральних судинах у ту чи іншу фазу серцевого циклу, розрахувати ступінь значущості стенозу і т. д

Імпульсна ПСД або імпульсний доплер PW - Pulsed Wave - методика базується на періодичному випромінюванні серій імпульсів ультразвукових хвиль, які, відбившись від еритроцитів, послідовно сприймаються тим же датчиком. Застосовується для кількісної оцінки кровотоку в судинах. На часовій розгортці за вертикалі відображається швидкість потоку в досліджуваній точці. Потоки, які рухаються до датчика, відображається вище базової лінії, зворотний кровотік (від датчика) — нижче. Максимальна швидкість потоку залежить від глибини сканування, частоти імпульсів і має обмеження (близько 2,5 м/с при діагностиці захворювань серця). Місце дослідження кровотоку називають контрольним об'ємом. Переваги: можливість оцінки кровотоку в будь-якій заданій точці.

Кольорове доплерівське картування (КДК), інші назви - кольоровий доплер (Color Doppler), color flow mapping (CFM), color flow angiography (CFA). Заснована на кодуванні в кольорі значення доплерівського зсуву випромінюваної частоти. Методика забезпечує пряму візуалізацію потоків крові в серці і великих судинах, дозволяє отримувати двовимірну інформацію про кровотоки в реальному часі в додаток до звичайної сірошкальної двовимірної візуалізації.

Сигнали, відбиті від нерухомих структур, розпізнаються і представляються в серошкальному вигляді. Якщо відбитий сигнал має частоту, відмінну від випроміненого, то це означає, що він відбився від рухомого об'єкта. Зазвичай напрямок потоку до датчика кодується червоним, а від датчика – синім кольором. Яскравість кольору визначається швидкістю потоку. Темні відтінки цих кольорів відповідають низьким швидкостям, світлі відтінки — високим. Недолік: неможливість отримання зображення дрібних кровоносних судин з маленькою швидкістю кровотоку. Переваги: дозволяє оцінювати як морфологічне стан судин, так і стан кровотоку по ним.

Існує також різновид доплерівського дослідження, так звана енергетична доплерографія (ЕД) або енергетичний доплер - power doppler (PD), коли рухомі об'єкти фарбуються не в залежно від напрямку потоку, а тільки в залежності від його енергії. Методика заснована на аналізі амплітуд всіх ехосигналів доплерівського спектру, що відображають щільність еритроцитів в заданому обсязі – відтінки кольору (від темно-оранжевого до жовтого) несуть відомості про

інтенсивності ехосигналу. Судинний малюнок при цьому забарвлюється одним кольором, диференціювати артерії і вени по зображенню неможливо, однак цей режим є більш чутливим для виявлення низько швидкісних потоків. Діагностичне значення енергетичної доплерографії полягає в можливості оцінки васкуляризації органів і патологічних ділянок. Застосовується при дослідженні дрібних мережі судин (щитовидна залоза, нирки, яєчників), вен (печінка, яєчка) і ін. Більше чутливий до наявності кровотоку, ніж кольоровий доплер. На ехограмі зазвичай відображається у помаранчевій панелі, більш яскраві відтінки свідчать про більшої швидкості кровотоку. Недолік: неможливо судити про напрямок, характер і швидкості кровотоку. Переваги: відображення отримують всі судини, незалежно від їх ходу щодо ультразвукового променя, в тому числі кровоносні судини дуже невеликого діаметра і з незначною швидкістю кровотоку.

Існує і комбінований варіант доплерівського дослідження – поєднання ЦДК та ЕД – конвергентна кольорова доплерографія. Методика дозволяє оцінювати одночасно як високошвидкісні потоки крові, так і низькошвидкісні.

Тканинний доплер (Tissue Velocity Imaging або тканинна кольорова доплерографія) — кольорове картування руху тканин, застосовується спільно з імпульсним доплером в ехокардіографії для оцінки скорочувальної здатності міокарда. Вивчаючи напрямки руху стінок лівого і правого шлуночків у систолу і діастолу тканинного доплера, можна виявити приховані зони порушення локальної скоротливості. Останнім часом відбувається бурхливий розвиток ультразвукової діагностики, постійне вдосконалення ультразвукових діагностичних приладів – що призводить до появи нових методів ультразвукових досліджень, зокрема, зовсім нещодавно з'явився ще один метод УЗД – еластографія.

Еластографія (соноеластографія) - метод ультразвукових досліджень, в основі якого лежить диференціальна діагностика злякисних новоутворень на підставі зміни їх щільності і жорсткості.

Соноеластографія дозволяє проводити оцінку тканинної жорсткості в режимі реального часу за допомогою м'якого тиску, здійснюваного стандартним ультразвуковим датчиком. Еластичність тканини визначається і відображається визначеними кольорами на екрані (синій колір - жорсткі структури,

червоний і зелений - м'які тканини). Коефіцієнт жорсткості (strain ratio)

визначається за допомогою порівняльного аналізу еластичності вузла і еластичності прилеглої жирової тканини. Параметри еластографії: ступінь стисливості тканин, наявність стабільних при скануванні в режимі реального часу ділянок високою або низької щільності.

Карти, що визначають основні типи жорсткості:

Перший тип: триколірні карти при простих кістах.

Другий тип – всі еластичні структури, (переважно зеленим кольором).

Третій – мозаїчна картина утворень

Четвертий – структури, в яких в рівній мірі зустрічалися і щільні, і еластичні ділянки, (синій і зелений колір).

П'ятий – структури високої щільності або жорсткі – синього кольору.

Основними досліджуваними органами є: передміхурова залоза, сечовий міхур, матка, яєчники, печінка, молочна залоза, лімфатичні вузли, м'які тканини

## Види ультразвукових апаратів

Природно систематизувати УЗД апарати по функціональним можливостям і призначенням, а також за технічним рівнем і якістю виконуваних функцій.

Маючи на увазі функціональні можливості та призначення, можна виділити універсальні і спеціалізовані УЗ сканери.

Універсальні прилади можна розділити на три основних типи в залежності від використовуваних в них режимів роботи.

**1. Ультразвукові сканери.** Прилади, призначені перш за все для отримання двомірного чорно-білого акустичного зображення.

Основні режими роботи (modes):

- В (або 2D) - двомірне зображення;
- М (або ТМ) - одновимірна яскравості ехограма з розгорткою у часі.

Додаткові режими: В + В, В + М.

Приклад УЗ сканера:



*Mindray DP-50*



*SonoScape A6*

**2. УЗД апарати зі спектральним доплером.** Іноді вони називаються дуплексними приладами. Відрізняються від звичайних ультразвукових сканерів тим, що додатково мають можливість оцінювати спектр швидкостей кровотоку доплерівським методом.

Основні режими роботи:

- В (2D);
- М (ТМ);
- D - спектральний аналіз швидкостей кровотоку з використанням нimpульсоволнового доплера (PW) і в ряді випадків непереривноволнового доплера (CW).

Додаткові режими: В + В, В + М, В + D (дуплексний).

Приклад УЗ сканера:



*Mindray M5*



*Mindray DC-30*



*SonoScape S11*



*SonoScape S2N*



**3. Ультразвукові системи з кольоровим доплерівським картуванням.** Іноді вони називаються приладами з кольоровим доплером. Це прилади з максимальною кількістю функцій. Крім режимів, які є в сканерах зі спектральним доплером, цей клас приладів має можливість відображення двовимірного розподілу швидкостей кровотоку, що виділяються кольором на двовимірному сірошкальному зображенні тканин.

Основні режими роботи:

- B (2D);
- M (TM);
- D (PW і CW);
- CFM - кольорове доплерівське картування кровотоку.

Додаткові режими: B+B, B+M, B+D (дуплексний), B+D + CFM (тріплексний).

Крім перелічених можуть використовуватися спеціальні режими:

- PD - енергетичний доплер;
- TD - тканинний доплер;
- 3D - тривимірне зображення;
- тканинна (нативна) гармоніка.

До групи спеціалізованих ультразвукових діагностичних приладів відносяться прилади досить обмеженого медичного застосування.

Приклад УЗ сканера:



*Mindray DC-70   Mindray DC-8   SonoScape S30   SonoScape S40Exp*

**4. Офтальмологічні ультразвукові прилади (ехоофтальмометри).** Це діагностичні прилади для візуалізації структур ока, що використовують двовимірне і (або) одномірне зображення.

Основні режими роботи:

- B(2D);
- A - одновимірна ехограма з відображенням амплітуд сигналів на різних глибинах.
- D (PW і CW).

**5. Фетальні монітори.** Ультразвукові прилади, призначені для вимірювання частоти серцевих скорочень (ЧСС) плода доплерівським методом.

Основний режим роботи: вимірювання ЧСС плода та статистична оцінка параметрів зміни ЧСС.

**6. УЗД апарати для внутрішньосудинних досліджень.** Рідко випускаються прилади, в яких використовуються спеціальні датчики для інвазивного

обстеження судин, аналогічні тим, які входять до складу універсальних ультразвукових сканерів.

Основний режим роботи: (2D).

#### **7. Прилади для транскраніальних обстежень (ехоенцефалоскопи).**

Застосовуються для обстеження мозку (зазвичай через скроневу область черепа).

Основні режими роботи АЛОКА:

- А - одновимірна амплітудна ехограма;
- D (PW) - додатково до режиму А.

#### **8. Прилади для обстеження носових і лобних пазух (синускопи).**

Основний режим роботи: А - одновимірна амплітудна ехограма.

**9. Прилади для ветеринарії.** Спеціально для ветеринарії прилади випускаються рідко. Зазвичай використовуються універсальні прилади зі спеціалізованими датчиками для ветеринарії.

Основні режими роботи:

- B(2D);
- M (TM).

Іноді можуть використовуватися режими D і CFM.

**10. Прилади для літотрипсії.** Це прилади, що входять до складу екстракорпоральних літотрипторів і забезпечують наведення фокуса ударного впливу на конкременти, а також контроль за процесом руйнування конкрементів.

Основні режими роботи:

- B(2D);
- B+B (B/B).

Функціональні можливості перерахованих вище універсальних і спеціалізованих приладів визначаються не тільки наявними в них режимами роботи, але і набором датчиків і додаткових пристроїв, які можуть бути підключені до апарату УЗД, обчислювальними програмами, пристроями запам'ятовування, архівування та реєстрації діагностичної інформації.

Галузі медичного застосування в основному визначаються типом датчиків, що працюють з ультразвуковим приладом і наявністю спеціалізованих режимів роботи.

Якість одержуваної інформації залежить від технічного рівня приладу – чим складніше і досконаліше прилад, тим вище якість діагностичної інформації. Як правило, за технічним рівнем прилади ділять на чотири групи:

- 1) прості прилади;
- 2) прилади середнього класу;
- 3) прилади підвищеного класу;
- 4) прилади високого класу (іноді званого high-end) АЛОКА.

Серед виробників і користувачів ультразвукової діагностичної техніки відсутні узгоджені критерії оцінки класу приладів, так як є дуже велика кількість характеристик і параметрів, за якими можна порівнювати прилади між собою. Проте, можна оцінити рівень складності апаратури, від якої значною мірою залежить якість одержуваної інформації. Одним з основних технічних параметрів, що визначають рівень складності ультразвукового сканера, є максимальне число прийомних і передавальних каналів в електронному блоці приладу, тому що чим більше число каналів, тим краще чутливість і роздільна здатність – основні характеристики якості ультразвукового зображення.

У простих (як правило, переносних) УЗД апаратах число каналів передачі-прийому не більше 16, в приладах середнього і підвищеного класу 32, 48 і 64. У приладах високого класу число каналів може бути більше 64, наприклад 128, 256, 512 і навіть більше. Як правило, ультразвукові сканери високого і підвищеного класу є приладами з кольоровим доплерівського картування.

УЗ апарати високого класу зазвичай використовують в максимальній мірі сучасні можливості цифрової обробки сигналів, починаючи практично з виходу датчиків. З цієї причини такі прилади називають цифровими системами або платформами (digital system).

### **Типи ультразвукових датчиків**

Типи датчиків та їх назви визначаються використанням в них різних ультразвукових перетворювачів і способів сканування. В залежності від виду перетворювачів можна виділити:

**секторні механічні датчики** (sector mechanical probe) – з одноелементними або багатоелементними кільцевими решітками;

приклад: ASU-35CWD-2; ASU-35-3; ASU-35WL-7,5; ASU-35WL-10

**лінійні датчики** (linear probe) АЛОКА – з багатоелементними лінійними решітками;

приклад: UST-5512U-7,5 ; UST-5710-7,5 ; UST-5545

**конвексні і мікроконвексні датчики** (convex або microconvex probe) – з конвексними і мікроконвексними ґратами відповідно;

приклад: UST-934N-3,5 ; UST-979-3,5 ; UST-9123; UST-9126; UST-9111-5; UST-974-5

**фазовані секторні датчики** (phased array probe) – з багатоелементними лінійними решітками;

приклад: UST-5299 ; UST-5297

**датчики з двомірними ґратами, лінійні, конвексні і секторні.**

Робоча частота є найважливішою характеристикою датчика. Бажано прагнути використовувати датчики з більшою частотою, оскільки вони забезпечують більш високу якість зображення, однак слід пам'ятати, що при цьому зменшується глибина дослідження. Тому вибір частоти датчика обумовлений максимальною глибиною розташування органів і структур, що представляють інтерес для лікаря-діагноста. У ряді випадків при обстеженні здорових пацієнтів доводиться застосовувати датчики з частотою 2,5 МГц, у яких максимальна робоча глибина 240 мм, однак роздільна здатність при використанні таких датчиків і, отже, якість зображення гірше, ніж при частоті 3,5 МГц. З іншого боку, для обстеження структур, розташованих на малих глибинах, застосовуються датчики з частотою 10 МГц.

На рис. 1 показані основні типи датчиків для зовнішнього обстеження та їх характерний вигляд. Робоча поверхня датчиків, яка контактує з тілом пацієнта, на малюнку зображена більш темною.

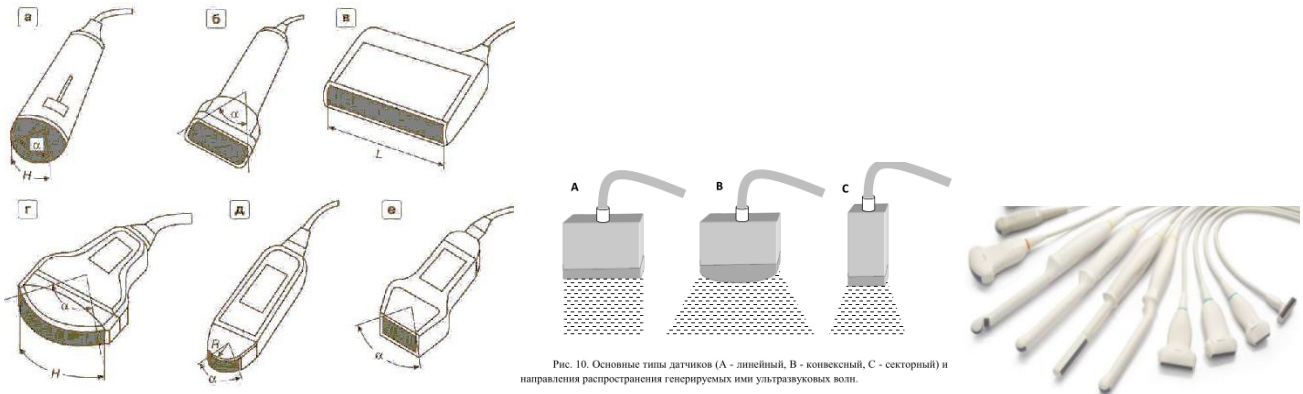


Рис. 10. Основные типы датчиков (А - линейный, В - конвексный, С - секторный) и направления распространения генерируемых ими ультразвуковых волн.

Рис. 1. Основні типи датчиків для зовнішнього обстеження, а, б - секторні механічні (а - кардіологічний, б - з водної насадкою); в - лінійний електронний; р - конвексний; д - мікроконвексний; е - фазований секторний.

В секторних датчиках механічних (рис.1а,1б) робоча поверхня (захисний ковпачок) закриває об'єм, в якому знаходиться і переміщається по куту однелементний або кільцевий УЗ перетворювач. Об'єм під ковпачком заповнений акустично прозорою рідиною для зменшення втрат при проходженні УЗ сигналів. Основною характеристикою секторних механічних датчиків крім робочої частоти є кутовий розмір сектора сканування, який зазначається в маркуванні датчика (іноді додатково дається довжина відповідної дуги Н робочої поверхні). Приклад маркування: 3,5 МГц/90°.

У лінійних, конвексних, мікроконвексних і фазованих (секторних) датчиках електронного сканування робоча поверхня збігається з випромінюючою поверхнею УЗ перетворювача, яка називається апертурою, і дорівнює їй за розмірами. Характерні розміри апертури використовуються у маркуванні датчиків і допомагають визначитися при виборі датчика.

В лінійних датчиках характерною є довжина апертури L (рис. 1в), так як саме вона визначає ширину прямокутної зони огляду. Приклад маркування лінійного датчика: 7,5 МГц/42 мм.

Слід мати на увазі, що ширина зони огляду в лінійному датчику завжди менше на 20-40% довжини апертури. Таким чином, якщо вказано розмір апертури 42 мм, ширина зони огляду - не більше 34 мм.

У конвексних датчиках зона огляду визначається двома характерними розмірами – довжиною дуги Н (іноді її хорди), відповідної опуклої робочої частини, і кутовим розміром сектора сканування а в градусах (рис. 1г). Приклад маркування конвексного датчика: 3,5 МГц/60°/60 мм. Рідше для маркування використовується радіус R кривизни робочої поверхні, наприклад: 3,5 МГц/ 60R (радіус - 60 мм).

У мікроконвексних датчиках характерним є R – радіус кривизни робочої поверхні (апертури), іноді додатково дається кут дуги а, що визначає кутовий розмір сектора огляду (рис. 1д). Приклад маркування: 3,5 МГц/20 R (радіус - 20 мм).

Для фазованого секторного датчика дається кутовий розмір сектора електронного сканування в градусах. Приклад маркування: 3,5 МГц/90°.

Зображені на рис. 1 датчики використовуються для зовнішнього обстеження. Крім них існує велика кількість внутрішньопорожнинних і вузькоспеціалізованих датчиків, в яких використовуються ті ж види УЗ перетворювачів.

Доцільно запровадити класифікацію датчиків по областях медичного застосування.

1. Універсальні датчики для зовнішнього обстеження [abdominal probe). Універсальні датчики застосовуються для обстеження абдомінальної області і органів малого тазу у дорослих і дітей.

В основному в якості універсальних використовуються конвексні датчики з робочою частотою 3,5 МГц (для дорослих) або 5 МГц (для педіатрії), рідше 2,5 МГц (для глибоко розташованих органів). Кутовий розмір сектора сканування: 40°-90° (рідше - до 115°), довжина дуги робочої поверхні - 36-72 мм.

До недавнього часу в якості універсальних широко використовувались лінійні датчики з робочою частотою 3,5 (рідше 5) МГц і довжиною робочої частини від 64 до 125 мм (великі розміри були особливо популярні в акушерстві для спостереження плоду). Зараз віддається перевага конвексним датчикам. У базовій комплектації практично будь-якого приладу найчастіше вказується конвексний датчик 3,5 МГц/60°/60 мм або близький йому за характеристиками.

Приклад: UST-934N-3,5 ; UST-979-3,5 ; UST-9123; UST-9126.

2. Датчики для поверхнево розташованих органів (small parts probe). Застосовуються для дослідження неглибоко розташованих малих органів і структур (наприклад, щитовидної залози, периферичних судин, суглобів і т. д.).

Робоча частота - 7,5 МГц, іноді 5 або 10 МГц. Тип датчика – лінійний розміром 29-50 мм, рідше конвексний, мікроконвексний або секторний механічний з водної насадкою (рис. 1б) з довжиною дуги 25-48 мм.

Приклад: UST-5512U-7,5 ; UST-5710-7,5 ; UST-5545.

3. Кардіологічні датчики (cardiac probe). Для дослідження серця використовуються датчики секторного типу, що пов'язано з особливістю спостереження через міжреберну щілину. Застосовуються датчики механічного сканування (одноелементні або з кільцевими ґратами) і фазовані електронні. Робоча частота - 3,5 і 5 МГц.

Іноді для кардіології використовуються мікроконвексні датчики з частотою 3,5 (5) МГц і радіусом кривизни від 10 до 20 мм.

Останнім часом для спостереження серця в приладах високого класу з кольоровим доплерівським картуванням застосовується трансезофагальний датчик.

Приклад: UST-944B-3,5 ; UST-978-3,5 ; UST-5266-3,5; UST-5299; UST-5293; UST-5297; UST-5280-5; UST-52101; UST-5280-5.

4. Датчики для педіатрії (pediatric probes). Для педіатрії використовуються ті ж датчики, що і для дорослих, але тільки з більшою частотою (5 або 7,5 МГц), що дозволяє одержати більш високу якість зображення. Це можливо завдяки малим розмірам пацієнтів. У педіатрії застосовуються і спеціальні датчики. Наприклад, для обстеження головного мозку новонароджених через джерельце використовується секторний чи мікроконвексний датчик з частотою 5 або 6 МГц (neonatal probe).

Приклад: UST-935N-5 ; UST-9103-5 ; UST-992-5; UST-5294-5.

5. Внутріполостні датчики (intracavitary probes). Існує велика різноманітність внутрішньопорожнинних датчиків, які відрізняються між собою по областях медичного застосування.

Трансвагінальні (інтравагінальні) датчики (transvaginal or endovaginal probe). Як правило, секторного механічного або мікроконвексного типу з кутом огляду від 90° до 270°. Вісь сектора зазвичай розташована під деяким кутом відносно осі датчика. Робоча частота 5, 6 або 7,5 МГц.

Приклад: UST-945B-5; UST-981-5 ; UST-9112-5; UST-984-5; UST-9124; UST-9118.

Трансректальні датчики (transrectal or endorectal probe). Датчики в основному застосовуються для діагностики простатиту. Є кілька типів таких датчиків. В одних використовується секторне механічне сканування в круговому (360°) секторі, при цьому площина сканування перпендикулярна осі датчика. В інших використовується лінійний УЗ перетворювач, конструктивно розташовується уздовж осі датчика. У третіх застосовується конвексний УЗ перетворювач з площиною огляду, що проходить через вісь датчика.

Іноді використовуються біпланові ректальні датчики. Робоча частота трансректальних датчиків - 7,5 МГц (рідше 4 і 5 МГц). Специфічна особливість цих датчиків – наявність каналу підведення води для заповнення одягаємого на робочу частину гумового мішечка. Заповнення його водою здійснюється після введення датчика в область дослідження і необхідно для того, щоб забезпечити акустичний контакт зі стінками прямої кишки.

Приклад: UST-657-5; UST-670P-5 ; UST-657-5; UST-660-7,5; UST-675P; UST-676P; UST-672-5/7,5.

Інтраопераційні датчики (intraoperative probe). Датчики вводяться в операційне поле, тому виконуються дуже компактними. Як правило, в датчиках застосовуються лінійні перетворювачі довжиною від 38 до 64 мм. Іноді застосовуються конвексні УЗ перетворювачі з великим радіусом кривизни. Робоча частота 5 або 7,5 МГц. До інтраопераційних відносяться конвексні, надягають на палець датчики (finger type probes), нейрохірургічні датчики і лапароскопічні датчики (жорсткі або гнучкі). Робоча частота цих датчиків зазвичай 7,5 МГц.

Приклад: UST-995-7,5; UST-9124; UST-9118; UST-9104-5; UST-9116P-5; UST-5526L-7,5; UST-5531.

Трансуретральні датчики (transurethral probes). Датчики малого діаметра, що вводяться через уретру в сечовий міхур, що використовують механічне секторне або кругове (360°) сканування. Робоча частота 7,5 МГц.

Приклад: ASU-65B.

Черезстравохідні датчики (transesophageal probes). Цей вид датчика використовується для спостереження серця з боку стравоходу. Сконструйований за тим же принципом, що і гнучкий ендоскоп, з аналогічною системою управління ракурсом спостереження. Застосовується секторне механічне, конвексне або фазоване секторне сканування. Робоча частота 5 МГц.

Приклад: UST-5293; UST-5280-5.

Внутрішньосудинні датчики (intravascular probes). Використовуються для інвазивного обстеження судин. Сканування – секторне механічне (зазвичай кругове - 360°). Робоча частота 10 МГц і більше.

6. Біопсійні або пункційні датчики (biopsy or puncture probes). Використовуються для точного наведення біопсійних або пункційних голок. З цією метою спеціально сконструйовані датчики, в яких голка може проходити через отвір (або щілину) в робочій поверхні (апертурі). Треба сказати, що

трансвагінальні і трансректальні датчики дуже часто конструктивно виконуються так, щоб забезпечувати біопсію, і тому теж можуть вважатися біопсійними.

Внаслідок технологічної складності виконання спеціалізованих біопсійних датчиків і, отже, їх більш високою вартістю більшість фірм використовує так звані біопсійні адаптери – пристосування для наведення біопсійних голок. Адаптер може жорстко кріпитися на корпусі звичайного датчика і є знімним.

Приклад: UST-9113P-3,5; UST-5045P-3,5.

7. Вузькоспеціалізовані датчики. Більшість датчиків, про які йшлося вище, мають досить широкий спектр застосування. У той же час можна виділити групу датчиків вузького застосування, і про них слід сказати окремо.

Офтальмологічні датчики (ophthalmology probes). Датчики використовуються в спеціальних УЗ діагностичних приладах для офтальмології і дозволяють отримувати зображення внутрішніх структур ока. Сканування найчастіше механічне секторне або конвексне. Робоча частота 10 МГц і більше. Сектор сканування 30°-45°.

Датчики для транскраніальних досліджень (transcranial probes). Застосовуються для обстеження мозку через кістки черепа (в скроневій або потиличній області). Зазвичай це датчики з одноелементні УЗ перетворювачем і без просторового сканування. Робоча частота 2 МГц (іноді 1 МГц). У сучасних складних системах зараз почали застосовуватися скануючі транскраніальні датчики.

Датчики для діагностики синуситів, фронтитів і гайморитів. Використовуються у відповідних вузькоспеціалізованих УЗ приладах (типу "Синускан") для обстеження носових і лобних пазух. Датчики без просторового сканування. Робоча частота 3 МГц.

Датчики для ветеринарії (veterinary probes). Використовуються в спеціальних УЗ приладах для ветеринарії або в універсальних УЗ діагностичних приладах.

8. Ширококутові та багаточастотні датчики. У сучасних складних приладах все більше застосування знаходять ширококутові датчики. Ці датчики конструктивно оформлені аналогічно звичайним датчикам, розглянутих вище, і відрізняються від них тим, що використовують ширококутовий УЗ перетворювач, тобто датчик з широкою смугою робочих частот.

У ширококутових датчиках відносна ширина смуги може перевищувати 1, що призводить до істотного поліпшення роздільної здатності, особливо в ближній і середній зонах по глибині. На великих глибинах розширення смуги позначається менше через більш сильне поглинання з глибиною високочастотних складових сигналу.

У деяких приладах застосовується перемикання частот роботи ширококутового датчика - тоді датчик працює на різних перемикаються центральних частотах в залежності від того, яка глибина цікавить дослідника. Датчик в цьому випадку називається багаточастотним, а відносна ширина смуги на кожній з частот така ж, як в звичайному датчику. Найчастіше застосовуються двочастотні і трьохчастотні датчики. Типові приклади комбінацій частот в двочастотних датчиках: 3-5, 4-7 або 5-10 МГц.

9. Допплерівські датчики. Датчики застосовуються тільки для отримання інформації про швидкість або спектрі швидкостей кровотоку в судинах.

10. Датчики для отримання тривимірних зображень. Спеціальні датчики для отримання 3D (тривимірних) зображень використовуються рідко. Найчастіше застосовуються звичайні датчики двомірного зображення разом зі спеціальними пристосуваннями, що забезпечують сканування по третій координаті.

## НОВІ НАПРЯМКИ В УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ДІАГНОСТИЦІ

Відбувається бурхливий розвиток ультразвукової діагностики, постійне вдосконалення ультразвукових діагностичних приладів. Можна припустити кілька основних напрямів майбутнього розвитку цього діагностичного методу.

Можливо подальше вдосконалення доплерівських методик, особливо таких, як енергетичний доплер, доплерівська кольорова візуалізація тканин.

Тривимірна ехографія в майбутньому може стати досить важливим напрямком ультразвукової діагностики. Зараз існують декілька комерційно доступних ультразвукових діагностичних установок, що дозволяють здійснювати тривимірну реконструкцію зображень, однак, поки клінічне значення цього напрямку залишається неясним.

Концепція застосування ультразвукових контрастів була вперше висунута R. Gramiak і P. M. Shah наприкінці шістдесятих при ехокардіографічному дослідженні. В даний час існує комерційно доступний контраст "Еховист" (Шерінг), що застосовується для візуалізації правих відділів серця. Нещодавно він був модифікований із зменшенням розмірів частинок контрасту і може рециркулювати в кровоносній системі людини ("Левовист", Шерінг). Цей препарат істотно покращує доплерівський сигнал, як спектральний, так і кольоровий, що може бути важливим для оцінки пухлинного кровотоку.

Внутрішньопорожнинна ехографія з використанням ультратонких датчиків відкриває нові можливості для дослідження порожнистих органів і структур. Проте в даний час широке застосування цієї методики обмежується високою вартістю спеціалізованих датчиків, які до того ж можуть застосовуватися для дослідження обмежену кількість разів (1÷40).

Комп'ютерна обробка зображень з метою об'єктивізації одержуваної інформації є перспективним напрямком, який може в майбутньому покращити точність діагностики незначних структурних змін в паренхіматозних органах. На жаль, отримані до теперішнього часу результати істотного клінічного значення не мають.