Понятие о звуке

Звуковые волны могут служить примером **колебательного процесса.** Всякое колебание связано с нарушением равновесного состояния системы и выражается в отклонении ее характеристик от равновесных значений.

Звуком называются механические колебания упругой (твердой, жидкой или газообразной) среды, влекущие за собой возникновение в ней последовательно чередующихся участков сжатия и разряжения. Если произвести резкое смещение частиц упругой среды в одном месте, например, с помощью поршня, то в этом месте увеличится давление. Благодаря упругим связям частиц давление передается на соседние частицы, которые, в свою очередь, воздействуют на следующие. Таким образом, область повышенного давления как бы перемещается в упругой среде. За областью повышенного давления следует область пониженного давления. Если же производить непрерывные смещения частиц упругой среды с какой-то частотой, то образуется ряд чередующихся областей сжатия и разряжения, распространяющихся в среде в виде волны. Каждая частица упругой среды в этом случае будет совершать колебательные движения, смещаясь, то в одну, то в другую сторону от первоначального положения.

В жидких и газообразных средах, где отсутствуют значительные колебания плотности, акустические волны имеют продольный характер, то есть в них совпадают направления колебания частиц и перемещения волны. В твердых телах и плотных биотканях помимо продольных деформаций, возникают также и упругие деформации сдвига, обусловливающие возбуждение поперечных (сдвиговых) волн, в этом случае частицы совершают колебания перпендикулярно направлению распространения волны. Скорость распространения продольных волн значительно больше скорости распространения сдвиговых волн.

Профиль акустической волны, как правило, имеет знакопеременный характер, причем давление считается положительным, если участок среды в данный момент времени испытывает сжатие, и отрицательный при разряжении.

Если колебания могут быть выражены математически в виде функции, значение которой через равные промежутки времени повторяются, то они называются периодическими. Наименьший интервал времени повторения колебательного процесса соответствует периоду (Т). Величина, обратная периоду колебаний, называется частотой.

f = 1/T

Она показывает число полных колебаний в секунду. Частота колебаний измеряется в герцах (Гц) или в более крупных кратных единицах - **килогерцах** (Кгц) и **мегагерцах** (МГц).

**Частота колебаний** связана с длиной волны  соотношением:

= c/f

где с - скорость распространения звуковых волн (м/с).

В соответствии с частотой, звуковые волны принято разделять на следующие диапазоны:  
**инфразвук** - до 16 Гц  
**слышимый звук** - 16 Гц - 20000 Гц  
**ультразвук** - 20 Кгц - 1000 МГц  
**гиперзвук** - выше 109 Гц.

Физические параметры ультразвука

В физиотерапии обычно применяют ультразвуковые волны с частотой 0,8 - 3 МГц. Большинство серийных ультразвуковых терапевтических аппаратов работают на одной из фиксированных частот этого диапазона, чаще всего - на 0,88 МГц.

Важной физической характеристикой звуковых колебаний является **амплитуда волны**, или **амплитуда смещения**. Амплитудой волны называется максимальное смещение колеблющихся частиц среды от положения равновесия. Мощность звука при одной и той же частоте зависит от амплитуды колебания звучащего тела. Тело, совершающее колебания с большей амплитудой, будет вызывать более резкое изменение давления среды, и звук будет сильнее.

Скорость, с которой частицы среды колеблются около среднего положения, называется колебательной. **Колебательная скорость** определяется выражением  
Acos(t - x/c),

где = 2f - круговая частота  
А - амплитуда смещения частиц среды  
t - время  
x - расстояние от колеблющейся частицы до источника колебаний  
с - скорость распространения колебаний в среде  
(t - x/c)- фаза колебаний.

Колебательная скорость измеряется в м/с или см/с.

В энергетическом отношении реальные колебательные системы характеризуются изменением энергии вследствие частичной ее затраты на работу против сил трения и излучение в окружающее пространство. В упругой среде колебания постепенно затухают. Для характеристики затухающих колебаний используются **коэффициент затухания** (S), логарифмический декремент  и **добротность** (Q).

Коэффициент затухания отражает быстроту убывания амплитуды с течением времени. Если обозначить время, в течение которого амплитуда уменьшается в е = 2,718 раза, через , то

S = 1/.

Уменьшение амплитуды за один цикл характеризуется **логарифмическим декрементом**. Логарифмический декремент равен отношению периода колебаний ко времени затухания :

 = T/

**Добротность системы** - это величина, равная числу полных колебаний, соответствующих уменьшению амплитуды в е раз. Время, необходимое для такого уменьшения амплитуды, определяется произведением . Отсюда число периодов, укладывающихся в этот промежуток времени, или добротность Q, выражается формулой:

Q = /T.

Анализ этой формулы показывает, что при добротности, превышающей несколько десятков, частота затухающих колебаний приближается к собственной частоте колебаний без потерь. Добротность кварцевой пластинки, употребляемой в качестве излучателя ультразвуковых колебаний, равна 100000.

Если колебания совершаются с потерями, то убыль энергии системы равна той энергии, которую поглощает активное сопротивление в единицу времени. При этом надо иметь в виду, что активное сопротивление обусловлено трением, излучением акустических волн и другими потерями. Соотношение полной энергии (Wп) колебания и потери энергии (Wд) за период (энергия диссипации за период) выражается следующим уравнением:

Wп/Wд= Q/2

Если на колебательную систему с потерями действовать периодической силой, то возникают вынужденные колебания, характер которых в той или иной мере повторяет изменения внешней силы. Частота вынужденных колебаний не зависит от параметров колебательной системы. Напротив, амплитуда зависит от массы, механического сопротивления и гибкости системы. Такое явление, когда амплитуда колебательной скорости достигает максимального значения, называется **механическим резонансом**. При этом частота вынужденных колебаний совпадает с частотой собственных незатухающих колебаний механической системы.

При частотах воздействия, значительно меньших резонансных, внешняя гармоническая сила уравновешивается практически только силой упругости. При частотах возбуждения, близких к резонансной, главную роль играют силы трения. При условии, когда частота внешнего воздействия значительно больше резонансной, поведение колебательной системы зависит от силы инерции или массы.

Важным параметром является **скорость распространения ультразвуковой энергии** в среде. Колебательное движение передается от одной частицы к другой не мгновенно, а с некоторой скоростью. Таким образом, ультразвуковые волны в тканях организма распространяются с конечной скоростью, определяющейся упругими свойствами среды и ее плотностью. Скорость ультразвука в жидких и твердых телах значительно выше, чем в воздухе, где она приблизительно равна 330 м/с. В воде скорость ультразвука при 20оС примерно равна 1500 м/с, в сыворотке крови - 1520 м/с, в мягких тканях организма с плотностью среды около 1060 кг/м3 - 1540 м/с, в костных тканях - 3350 м/с.

Свойство среды проводить акустическую энергию, в том числе и ультразвуковую, характеризуется **акустическим сопротивлением**. Акустическое сопротивление среды выражается отношением звуковой плотности к объемной скорости ультразвуковых волн. Удельное акустическое сопротивление среды устанавливается соотношением амплитуды звукового давления в среде к амплитуде колебательной скорости ее частиц. Чем больше акустическое сопротивление, тем выше степень сжатия и разряжения среды при данной амплитуде колебания частиц среды. Численно, удельное акустическое сопротивление среды (Z) находится как произведение плотности среды  на скорость (с) распространения в ней ультразвуковых волн.

Z = ·c

**Удельное акустическое сопротивление** измеряется в Па·с/м (см) или дин·с/см3 (СГС); 1 Па·с/м = 10-1 дин · с/см3.

Значение удельного акустического сопротивления среды часто выражается в г/с·см2, причем 1 г/с·см2 = 1 дин·с/см3. Акустическое сопротивление среды определяется поглощением, преломлением и отражением ультразвуковых волн.

**Звуковое или акустическое давление** в среде представляет собой разность между мгновенным значением давления в данной точке среды при наличии звуковых колебаний и статического давления в той же точке при их отсутствии. Иными словами, звуковое давление есть переменное давление в среде, обусловленное акустическими колебаниями. Максимальное значение переменного акустического давления (амплитуда давления) может быть рассчитано через амплитуду колебания частиц:

P = 2fcA.

где Р - максимальное акустическое давление (амплитуда давления);  
f - частота;  
с - скорость распространения ультразвука;  
 - плотность среды;  
А - амплитуда колебания частиц среды.   
На расстоянии в половину длины волны (/2) амплитудное значение давления из положительного становится отрицательным, то есть разница давлений в двух точках, отстоящих друг от друга на /2 пути распространения волны, равна 2Р.

Для выражения звукового давления в единицах СИ используется Паскаль (Па), равный давлению в один ньютон на метр квадратный (Н/м2). Звуковое давление в системе СГС измеряется в дин/см2; 1 дин/см2 = 10-1Па = 10-1Н/м2. Наряду с указанными единицами часто пользуются внесистемными единицами давления - атмосфера (атм) и техническая атмосфера (ат), при этом 1 ат = 0,98o106 дин/см2 = 0,98o105 Н/м2. Иногда применяется единица, называемая баром или микробаром (акустическим баром); 1 бар = 106 дин/см2.  
Давление, оказываемое на частицы среды при распространении волны, является результатом действия упругих и инерционных сил. Последние вызываются ускорениями, величина которых также растет в течение периода от нуля до максимума (амплитудное значение ускорения). Кроме того, в течение периода ускорение меняет свой знак.  
Максимальные значения величин ускорения и давления, возникающие в среде при прохождении в ней ультразвуковых волн, для данной частицы не совпадают во времени. В момент, когда перепад ускорения достигает своего максимума, перепад давления становится равным нулю. Амплитудное значение ускорения (а) определяется выражением:

a = 2A = (2f)2 A

Если бегущие ультразвуковые волны наталкиваются на препятствие, оно испытывает не только переменное давление, но и постоянное. Возникающие при прохождении ультразвуковых волн участки сгущения и разряжения среды создают добавочные изменения давления в среде по отношению к окружающему ее внешнему давлению. Такое добавочное внешнее давление носит название давления излучения (радиационного давления). Оно служит причиной того, что при переходе ультразвуковых волн через границу жидкости с воздухом образуются фонтанчики жидкости и происходит отрыв отдельных капелек от поверхности. Этот механизм нашел применение в образовании аэрозолей лекарственных веществ. Радиационное давление часто используется при измерении мощности ультразвуковых колебаний в специальных измерителях - ультразвуковых весах.

Распространение ультразвука

**Распространение ультразвука** - это процесс перемещения в пространстве и во времени возмущений, имеющих место в звуковой волне.

**Звуковая волна** распространяется в веществе, находящемся в газообразном, жидком или твердом состоянии, в том же направлении, в котором происходит смещение частиц этого вещества, то есть она вызывает деформацию среды. Деформация заключается в том, что происходит последовательное разряжение и сжатие определенных объемов среды, причем расстояние между двумя соседними областями соответствует длине ультразвуковой волны. Чем больше удельное акустическое сопротивление среды, тем больше степень сжатия и разряжения среды при данной амплитуде колебаний.

Частицы среды, участвующие в передаче энергии волны, колеблются около положения своего равновесия. Скорость, с которой частицы колеблются около среднего положения равновесия называется **колебательной скоростью.** Колебательная скорость частиц изменяется согласно уравнению:

V = U sin (2ft + G),

где V - величина колебательной скорости;  
U - амплитуда колебательной скорости;  
f - частота ультразвука;  
t - время;  
G - разность фаз между колебательной скоростью частиц и переменным акустическим давлением.

**Амплитуда колебательной скорости** характеризует максимальную скорость, с которой частицы среды движутся в процессе колебаний, и определяется частотой колебаний и амплитудой смещения частиц среды.

U = 2fA,

где А - амплитуда смещения частиц среды.

Скорость распространения ультразвуковых волн

Ультразвуковые волны в тканях организма распространяются с некоторой конечной скоростью, которая определяется упругими свойствами среды и ее плотностью. Скорость звука в жидкостях и твердых средах значительно выше, чем в воздухе, где она приблизительно равна 330 м/с. Для воды она будет равна 1482 м/с при 20о С. Скорость распространения ультразвука в твердых средах, например, в костной ткани, составляет примерно 4000 м/с.

Дифракция, интерференция

При распространении ультразвуковых волн возможны явления дифракции, интерференции и отражения.

**Дифракция** (огибание волнами препятствий) имеет место тогда, когда длина ультразвуковой волны сравнима (или больше) с размерами находящегося на пути препятствия. Если препятствие по сравнению с длиной акустической волны велико, то явления дифракции нет.

При одновременном движении в ткани нескольких ультразвуковых волн в определенной точке среды может происходить **суперпозиция** этих волн. Такое наложение волн друг на друга носит общее название **интерференции.** Если в процессе прохождения через биологический объект ультразвуковые волны пересекаются, то в определенной точке биологической среды наблюдается усиление или ослабление колебаний. Результат интерференции будет зависеть от пространственного соотношения фаз ультразвуковых колебаний в данной точке среды. Если ультразвуковые волны достигают определенного участка среды в одинаковых фазах (синфазно), то смещения частиц имеют одинаковые знаки и интерференция в таких условиях способствует увеличению амплитуды ультразвуковых колебаний. Если же ультразвуковые волны приходят к конкретному участку в противофазе, то смещение частиц будет сопровождаться разными знаками, что приводит к уменьшению амплитуды ультразвуковых колебаний.

Интерференция играет важную роль при оценке явлений, возникающих в тканях вокруг ультразвукового излучателя. Особенно большое значение имеет интерференция при распространении ультразвуковых волн в противоположных направлениях после отражения их от препятствия.

Поглощение ультразвуковых волн

Если среда, в которой происходит распространение ультразвука, обладает вязкостью и теплопроводностью или в ней имеются другие процессы внутреннего трения, то при распространении волны происходит **поглощение звука,** то есть по мере удаления от источника амплитуда ультразвуковых колебаний становится меньше, так же как и энергия, которую они несут. Среда, в которой распространяется ультразвук, вступает во взаимодействие с проходящей через него энергией и часть ее поглощает. Преобладающая часть поглощенной энергии преобразуется в тепло, меньшая часть вызывает в передающем веществе необратимые структурные изменения. Поглощение является результатом трения частиц друг об друга, в различных средах оно различно. Поглощение зависит также от частоты ультразвуковых колебаний. Теоретически, поглощение пропорционально квадрату частоты.

Величину поглощения можно характеризовать **коэффициентом поглощения,** который показывает, как изменяется интенсивность ультразвука в облучаемой среде. С ростом частоты он увеличивается. Интенсивность ультразвуковых колебаний в среде уменьшается по экспоненциальному закону. Этот процесс обусловлен внутренним трением, теплопроводностью поглощающей среды и ее структурой. Его ориентировочно характеризует величина полупоглощающего слоя, которая показывает на какой глубине интенсивность колебаний уменьшается в два раза (точнее в 2,718 раза или на 37%). По Пальману при частоте, равной 0,8 МГц средние величины полупоглощающего слоя для некоторых тканей таковы: жировая ткань - 6,8 см; мышечная - 3,6 см; жировая и мышечная ткани вместе - 4,9 см. С увеличением частоты ультразвука величина полупоглощающего слоя уменьшается. Так при частоте, равной 2,4 МГц, интенсивность ультразвука, проходящего через жировую и мышечную ткани, уменьшается в два раза на глубине 1,5 см.

Кроме того, возможно аномальное поглощение энергии ультразвуковых колебаний в некоторых диапазонах частот - это зависит от особенностей молекулярного строения данной ткани. Известно, что 2/3 энергии ультразвука затухает на молекулярном уровне и 1/3 на уровне микроскопических тканевых структур.

Глубина проникновения ультразвуковых волн

Под глубиной проникновения ультразвука понимают глубину, при которой интенсивность уменьшается на половину. Эта величина обратно пропорциональна поглощению: чем сильнее среда поглощает ультразвук, тем меньше расстояние, на котором интенсивность ультразвука ослабляется наполовину.

Рассеяние ультразвуковых волн

Если в среде имеются неоднородности, то происходит рассеяние звука, которое может существенно изменить простую картину распространения ультразвука и, в конечном счете, также вызвать затухание волны в первоначальном направлении распространения.

Преломление ультразвуковых волн

Так как акустическое сопротивление мягких тканей человека ненамного отличается от сопротивления воды, можно предполагать, что на границе раздела сред (эпидермис - дерма - фасция - мышца) будет наблюдаться преломление ультразвуковых лучей.

Отражение ультразвуковых волн

На явлении отражения основана **ультразвуковая диагностика.** Отражение происходит в приграничных областях кожи и жира, жира и мышц, мышц и костей. Если ультразвук при распространении наталкивается на препятствие, то происходит отражение, если препятствие мало, то ультразвук его как бы обтекает. Неоднородности организма не вызывают значительных отклонений, так как по сравнению с длиной волны (2 мм) их размерами (0,1 - 0,2 мм) можно пренебречь. Если ультразвук на своем пути наталкивается на органы, размеры которых больше длины волны, то происходит преломление и отражение ультразвука. Наиболее сильное отражение наблюдается на границах кость - окружающие ее ткани и ткани - воздух. У воздуха малая плотность и наблюдается практически полное отражение ультразвука. Отражение ультразвуковых волн наблюдается на границе мышца - надкостница - кость, на поверхности полых органов.

Бегущие и стоячие ультразвуковые волны

Если при распространении ультразвуковых волн в среде не происходит их отражения, образуются бегущие волны. В результате потерь энергии колебательные движения частиц среды постепенно затухают, и чем дальше расположены частицы от излучающей поверхности, тем меньше амплитуда их колебаний. Если же на пути распространения ультразвуковых волн имеются ткани с разными удельными акустическими сопротивлениями, то в той или иной степени происходит отражение ультразвуковых волн от пограничного раздела. Наложение падающих и отражающихся ультразвуковых волн может приводить к возникновению стоячих волн. Для возникновения стоячих волн расстояние от поверхности излучателя до отражающей поверхности должно быть кратным половине длины волны.

Источники ультразвука

**Ультразвук** - это колебания с частотами, большими 20000Гц. Частота сверхвысокочастотных ультразвуковых волн, применяемых в промышленности и биологии, лежит в диапазоне порядка нескольких МГц. Фокусировка таких пучков обычно осуществляется с помощью линз и зеркал. Ультразвуковой пучок с необходимыми параметрами можно получить с помощью соответствующего преобразователя. Наиболее распространены керамические преобразователи из титаната бария.

В тех случаях, когда основное значение имеет мощность ультразвукового пучка, обычно используются механические источники ультразвука. Первоначально все ультразвуковые волны получали механическим путем (камертоны, свистки, сирены).

Свисток Гальтона.

Первый ультразвуковой свисток сделал в 1883 году англичанин Гальтон.

Ультразвук здесь создается подобно звуку высокого тона на острие ножа, когда на него попадает поток воздуха. Роль такого острия в свистке Гальтона играет "губа" в маленькой цилиндрической резонансной полости. Газ, пропускаемый под высоким давлением через полый цилиндр, ударяется об эту "губу"; возникают колебания, частота которых (она составляет около 170 Кгц) определяется размерами сопла и губы. Мощность свистка Гальтона невелика. В основном его применяют для подачи команд при дрессировке собак.

Жидкостный ультразвуковой свисток.

Большинство ультразвуковых свистков можно приспособить для работы в жидкой среде. По сравнению с электрическими источниками ультразвука жидкостные ультразвуковые свистки маломощны, но иногда, например, для ультразвуковой гомогенизации, они обладают существенным преимуществом. Так как ультразвуковые волны возникают непосредственно в жидкой среде, то не происходит потери энергии ультразвуковых волн при переходе из одной среды в другую. Пожалуй, наиболее удачной является конструкция жидкостного ультразвукового свистка, изготовленного английскими учеными Коттелем и Гудменом в начале 50-х годов 20 века. В нем поток жидкости под высоким давлением выходит из эллиптического сопла и направляется на стальную пластинку.

Различные модификации этой конструкции получили довольно широкое распространение для получения однородных сред. Благодаря простоте и устойчивости своей конструкции (разрушается только колеблющаяся пластинка) такие системы долговечны и недороги.

Сирена.

Другая разновидность механических источников ультразвука - сирена. Она обладает относительно большой мощностью и применяется в милицейских и пожарных машинах. Все ротационные сирены состоят из камеры, закрытой сверху диском (статором), в котором сделано большое количество отверстий. Столько же отверстий имеется и на вращающемся внутри камеры диске - роторе. При вращении ротора положение отверстий в нем периодически совпадает с положением отверстий на статоре. В камеру непрерывно подается сжатый воздух, который вырывается из нее в те короткие мгновения, когда отверстия на роторе и статоре совпадают.

Основная задача при изготовлении сирен - это, во-первых, сделать как можно больше отверстий в роторе и, во-вторых, достичь большой скорости его вращения. Однако практически выполнить оба эти требования очень трудно.

Применение ультразвука

Приготовление смесей с помощью ультразвука

Широко применяется ультразвук для приготовления однородных смесей (гомогенизации). Еще в 1927 году американские ученые Лимус и Вуд обнаружили, что если две несмешивающиеся жидкости (например, масло и воду) слить в одну мензурку и подвергнуть облучению ультразвуком, то в мензурке образуется эмульсия, то есть мелкая взвесь масла в воде. Подобные эмульсии играют большую роль в промышленности: это лаки, краски, фармацевтические изделия, косметика. Широкое внедрение такого метода приготовления эмульсий в промышленность началось после изобретения жидкостного свистка.

Применение ультразвука в биологии.

Способность ультразвука разрывать оболочки клеток нашла применение в биологических исследованиях, например, при необходимости отделить клетку от ферментов. Ультразвук используется также для разрушения таких внутриклеточных структур, как митохондрии и хлоропласты с целью изучения взаимосвязи между их структурой и функциями (аналитическая цитология). Другое применение ультразвука в биологии связано с его способностью вызывать мутации. Исследования, проведенные в Оксфорде, показали, что ультразвук даже малой интенсивности может повредить молекулу ДНК. Искусственное целенаправленное создание мутаций играет большую роль в селекции растений. Главное преимущество ультразвука перед другими мутагенами (рентгеновские лучи, ультрафиолетовые лучи) заключается в том, что с ним чрезвычайно легко работать.

Применение ультразвука для диагностики.

Ультразвуковые колебания при распространении подчиняются законам геометрической оптики. В однородной среде они распространяются прямолинейно и с постоянной скоростью. На границе различных сред с неодинаковой акустической плотностью часть лучей отражается, а часть преломляется, продолжая прямолинейное распространение. Чем выше градиент перепада акустической плотности граничных сред, тем большая часть ультразвуковых колебаний отражается. Так как на границе перехода ультразвука из воздуха на кожу происходит отражение 99,99 % колебаний, то при ультразвуковом сканировании больного необходимо смазывание поверхности кожи водным желе, которое выполняет роль переходной среды. Отражение зависит от угла падения луча (наибольшее при перпендикулярном направлении) и частоты ультразвуковых колебаний (при более высокой частоте большая часть отражается).

Для исследования органов брюшной полости и забрюшинного пространства, а также полости малого таза используется частота 2,5 - 3,5 МГц, для исследования щитовидной железы используется частота 7,5 МГц.

Генератором ультразвуковых волн является пьезодатчик, который одновременно играет роль приемника отраженных эхосигналов. Генератор работает в импульсном режиме, посылая около 1000 импульсов в секунду. В промежутках между генерированием ультразвуковых волн пьезодатчик фиксирует отраженные сигналы.

В качестве детектора или трансдюсора применяется сложный датчик, состоящий из нескольких сотен мелких пьезокристаллов, работающих в одинаковом режиме. В датчик вмонтирована фокусирующая линза, что дает возможность создать фокус на определенной глубине.

Используются три типа ультразвукового сканирования: линейное (параллельное), конвексное и секторное. Соответственно датчики или трансдюсоры ультразвуковых аппаратов называются линейные, конвексные и секторные. Выбор датчика для каждого исследования проводится с учетом глубины и характера положения органа. Для щитовидной железы используются конвексные трансдюсоры на 7,5 МГц, для исследования почек и печени в равной степени пригодны как линейные, так и конвексные датчики.

Преимуществом линейного датчика является полное соответствие исследуемого органа положению самого трансдюсора на поверхности тела. Недостатком линейных датчиков является сложность обеспечения во всех случаях равномерного прилегания поверхности трансдюсора к коже пациента, что приводит к искажениям получаемого изображения по краям.

Конвексный датчик имеет меньшую длину, поэтому добиться равномерности его прилегания к коже пациента более просто. Однако при использовании конвексных датчиков получаемое изображение по ширине на несколько сантиметров больше размеров самого датчика. Для уточнения анатомических ориентиров врач обязан учитывать это несоответствие.

Секторный датчик имеет еще большее несоответствие между размерами трансдюсора и получаемым изображением, поэтому используется преимущественно в тех случаях, когда необходимо с маленького участка тела получить большой обзор на глубине. Наиболее целесообразно использование секторного сканирования при исследовании, например, через межреберные промежутки.

Отраженные эхосигналы поступают в усилитель и специальные системы реконструкции, после чего появляются на экране телевизионного монитора в виде изображения срезов тела, имеющие различные оттенки черно-белого цвета. Оптимальным является наличие не менее 64 градиентов цвета черно-белой шкалы. При позитивной регистрации максимальная интенсивность эхосигналов проявляется на экране белым цветом (эхопозитивные участки), а минимальная - черным (эхонегативные участки). При негативной регистрации наблюдается обратное положение.

Выбор позитивной или негативной регистрации не имеет значения. Полученное изображение фиксируется на экране монитора, а затем регистрируется с помощью термопринтера.

Первая попытка изготовить фонограммы человеческого тела относится к 1942 году. Немецкий ученый Дуссиле "освещал" ультразвуковым пучком человеческое тело и затем измерял интенсивность пучка, прошедшего через тело (методика работы с рентгеновскими лучами Мюльхаузера). Вначале 50-х годов американские ученые Уилд и Хаури впервые и довольно успешно применили ультразвук в клинических условиях. Свои исследования они сосредоточили на мозге, так как диагностика с помощью рентгеновских лучей не только сложна, но и опасна. Применение ультразвука для диагноза при серьезных повреждениях головы позволяет хирургу точно определить места кровоизлияний.

Получение такой информации с помощью рентгеновских лучей требует около часа времени, что весьма нежелательно при тяжелом состоянии больного. При использовании переносного зонда можно установить положение средней линии мозга (она разделяет его на два полушария) примерно в течение одной минуты. Принцип работы такого зонда основывается на регистрации ультразвукового эха от границы раздела полушарий.

Ультразвуковые зонды применяются для измерения размеров глаза и определения положения хрусталика, при определении местонахождения камней в желчном пузыре. Существуют зонды, которые помогают во время операций на сердце следить за работой митрального клапана, расположенного между желудочком и предсердием.

Использование эффекта Доплера в диагностике.

Особый интерес в диагностике вызывает использование эффекта Доплера. Суть эффекта заключается в изменении частоты звука вследствие относительного движения источника и приемника звука. Когда звук отражается от движущегося объекта, частота отраженного сигнала изменяется (происходит сдвиг частоты).

При наложении первичных и отраженных сигналов возникают биения, которые прослушиваются с помощью наушников или громкоговорителя. В настоящее время на основе эффекта Доплера исследованы только движение крови и биение сердца. Этот эффект широко применяется в акушерстве, так как звуки, идущие от матки легко регистрируются. На ранней стадии беременности звук проходит через мочевой пузырь. Когда матка наполняется жидкостью, она сама начинает проводить звук. Положение плаценты определяется по звукам протекающей через нее крови, а через 9 - 10 недель с момента образования плода прослушивается биение его сердца. С помощью ультразвуковых устройств количество зародышей или констатировать смерть плода.

Применение ультразвука в терапии и хирургии

Ультразвук, применяемый в медицине, может быть условно разделен на ультразвук низких и высоких интенсивностей. Основная задача применения ультразвука низких интенсивностей (0,125 - 3,0 Вт/см2) - неповреждающий нагрев или какие-либо нетепловые эффекты, а также стимуляция и ускорение нормальных физиологических реакций при лечении повреждений. При более высоких интенсивностях (> 5 Вт/см2) основная цель - вызвать управляемое избирательное разрушение в тканях.

Первое направление включает в себя большинство применений ультразвука в физиотерапии и некоторые виды терапии рака, второе - ультразвуковую хирургию.

Применение ультразвука в хирургии.

Существуют две основные области применения ультразвука в хирургии. В первой из них используется способность сильно фокусированного пучка ультразвука вызывать **локальные разрушения в тканях,** а во второй механические колебания ультразвуковой частоты накладываются на хирургические инструменты типа лезвий, пил, механических наконечников.

**Применение ультразвука в природе**

Летучие мыши, использующие при ночном ориентировании эхолокацию, испускают при этом ртом (кожановые - Vеsperti+ lianidae) или имеющим форму параболического зеркала носовым отверстием (подковоносые - Rhinolophidae) сигналы чрезвычайно высокой интенсивности. На расстоянии 1 - 5 см от головы животного давление ультразвука достигает 60 мбар, т.е. соответствует в слышимой нами частотной области давлению звука, создаваемого отбойным молотком. Эхо своих сигналов летучие мыши способны воспринимать при давлении всего 0,001 мбар, т.е. в 10000 раз меньше, чем у испускаемых сигналов. При этом летучие мыши могут обходить при полете препятствия даже в том случае, когда на эхолокационные сигналы накладываются ультразвуковые помехи с давлением 20 мбар. Механизм этой высокой помехоустойчивости еще неизвестен. При локализации летучими мышами предметов, например, вертикально натянутых нитей с диаметром всего 0,005 - 0,008 мм на расстоянии 20см (половина размаха крыльев), решающую роль играют сдвиг во времени и разница в интенсивности между испускаемым и отраженным сигналами. Подковоносы могут ориентироваться и с помощью только одного уха (моноурально), что существенно облегчается крупными непрерывно движущимися ушными раковинами. Они способны компенсировать даже частотный сдвиг между испускаемыми и отраженными сигналами, обусловленный эффектом Доплера (при приближении к предмету эхо является более высокочастотным, чем посылаемый сигнал). Понижая во время полета эхолокационную частоту таким образом, чтобы частота отраженного ультразвука оставалась в области максимальной чувствительности их "слуховых" центров, они могут определить скорость собственного перемещения.

У ночных бабочек из семейства медведиц развился генератор ультразвуковых помех, "сбивающий со следа" летучих мышей, преследующих этих насекомых.

Не менее умелые навигаторы - жирные козодои, или гуахаро. Населяют они горные пещеры Латинской Америки - от Панамы на северо-западе до Перу на юге и Суринама на востоке. Самый большой подарок природы - это способность гуахаро к эхолокации. Живя в кромешной тьме, жирные козодои, тем не менее, приспособились виртуозно летать по пещерам. Они издают негромкие щелкающие звуки, свободно улавливаемые и человеческим ухом (их частота примерно 7 000 герц). Каждый щелчок длится одну-две миллисекунды. Звук щелчка отражается от стен подземелья, разных выступов и препятствий и воспринимается чуткой птицей.

# Медузы и инфразвуки

На краю "колокола" у медузы расположены примитивные глаза и органы равновесия - слуховые колбочки величиной с булавочную головку. Это и есть "уши" медузы. Однако "слышат" они не просто звуковые колебания, доступные и нашему уху, а инфразвуки с частотой 8 – 13 герц.

Перед штормом усиливающийся ветер срывает гребни волн и захлестывает их. Каждое такое захлопывание воды на гребне волны порождает акустический удар, создаются инфразвуковые колебания, их-то и улавливает своим куполом медуза. Колокол медузы усиливает инфразвуковые колебания (как рупор) и передает на "слуховые колбочки". Шторм разыгрывается еще за сотни километров от берега, он придет в эти места примерно часов через 20, а медузы уже слышат его и уходят на глубину.

Нужно отдать должное бионикам, которые создали электронный автоматический аппарат - предсказатель бурь, работа которого основана на принципе "инфрауха" медузы. Такой прибор может предупредить о готовящейся буре за 15 часов, а не за два, как обычный морской барометр.