

Уважаемые коллеги!

**Рад возможности вместе с
вами освежить для себя
некоторые положения той
науки, которой наша
специальность обязана
своим существованием**

**С.В. Попов,
д.м.н., профессор кафедры
инструментальных методов
диагностики ИПМО ВГМА им. Н.Н.
Бурденко**



***Односторонний специалист
есть либо грубый эмпирик,
либо уличный шарлатан***

Н.И. Пирогов

Физические основы ультразвуковой диагностики в медиц



**для врачебных циклов
последипломного
медицинского образования**

***Как много дел считались
невозможными, пока они не
были осуществлены***

Плиний Старший



Физики и информатика - важнейшие ресурсы

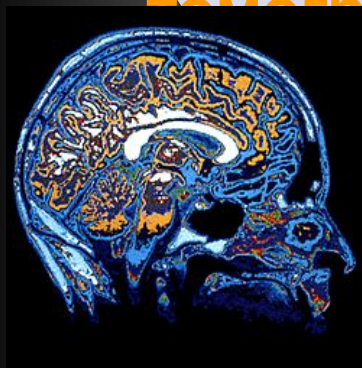
современной медицины

- Ультразвуковые диагностические сканеры (УЗИ)
- Электронные и протонные ускорители
- Рентгеновские компьютерные томографы (РКТ)
- Аппараты радиотерапии и радионуклиды
- Эмиссионные и позитронные томографы (ПЭТ)
- Радиодиагностические гамма-камеры
- Ядерномагнито-резонансные томографы (ЯМР)
- Высокочастотные электроэнцефалографы
- Лазеры и другие источники излучений
- Физическое моделирование биообъектов

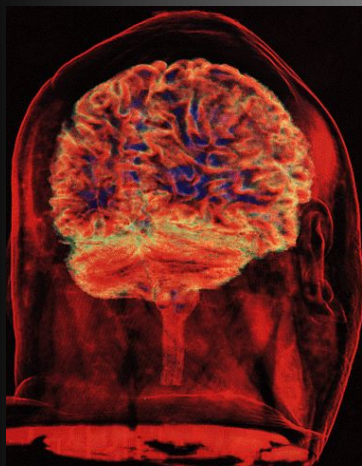
Медицинская визуализация

Эмиссионная

томография



ПЭТ



ЯМР

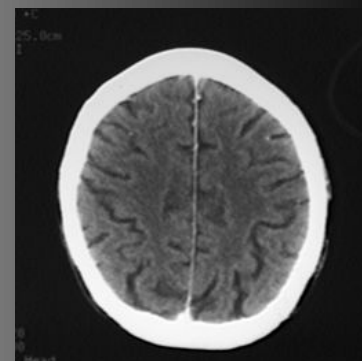
Дифракционная

томография

Трансмиссионная

томография

Рентгеногра
фия



РКТ



УЗИ

Отражательная

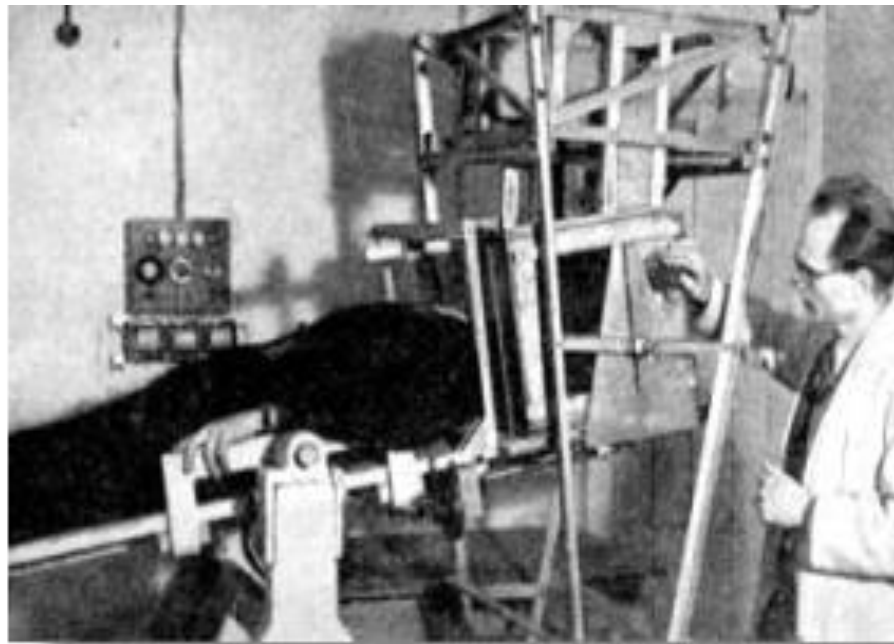
томография

Пионеры применения ультразвука в диагностической медицине (40-е годы XX века)

- *Карл Теодор Дуссик, австрийский психиатр и невропатолог*
- *Теодор Хеутер, немецкий инженер*
- *Джордж Людвиг, американский исследователь*
- *Джон Джулиан Уайльд, британский хирург, работавший в США*
- *Иван Гринвуд, американский инженер*
- *Роберт Болт, американский физик*

Из истории применения ультразвука в диагностической медицине

***Карл Дуссик проводит исследование
структур головного мозга***



Dussik and his ultrasonic apparatus in 1946

Пионеры применения ультразвука в диагностической медицине (50-е годы XX века)

- *Дуглас Хаури , американский инженер*
- *Рокура Учида, японский физик*
- *Кени Танака, японский врач*
- *Тошио Вагаи, японский физик*
- *Шигео Сатомура, японский инженер*
- *Ясухару Нимура, японский врач*

Из истории применения ультразвука в диагностической медицине : первые приборы фирмы АЛОКА



Пионеры применения ультразвука в диагностической медицине (60-е годы XX века)

- Ян Дональд , британский гинеколог
- Том Броун, британский инженер
- Инге Элдер, шведский кардиолог
- Карл Хельмут Герц, немецкий исследователь
- Дональд Бейкер, американский исследователь
- Вернон Симмонс, американский исследователь

*Из истории применения ультразвука в
диагностической медицине :
эпоха габаритных приборов*



The Disonograph shipped to Sunden in Lund

Пионеры применения ультразвука в диагностической медицине



*Барри Голдберг , директор Института
ультразвуковой диагностики
Департамента Радиологии
Университета им. Томаса
Джефферсона (Филадельфия, США),
многолетний президент Всемирной
Федерации ультразвука в медицине и*



Ох, уж эта физика!..

- *Однако попытаемся обойтись без головокружительных математических выкладок, пугающих многоэтажных формул, удручающих своей непостижимостью схем...*
- *Врачу-исследователю необходимо представлять себе именно основы физических явлений, на которых базируется его диагностический метод*
- *Не может столяр не знать, как устроен его рубанок*

Акустические волны – это механические колебания частиц в упругой среде

- *Частота*
- *Длина волны*
- *Скорость распространения в среде*
- *Период*
- *Амплитуда*
- *Интенсивность*

Частота – число колебаний в единицу времени



- *1 герц (Гц) – 1 колебание в секунду*
- *1 килogerц (КГц) – 1 000 колебаний в секунду*
- *1 мегагерц (МГц) – 1 000 000 колебаний в секунду*

Ультразвук – это акустические волны, частота которых выше 20 КГц

- *Диапазон частот ультразвука, используемого в медицинской диагностике составляет 1 – 30 МГц*
- *Наиболее часто используется ультразвук частотой 2 – 15 МГц*
- *Информация об определённых органах и структурах получается путём излучения направленных на них ультразвуковых импульсов и формирования изображения на основе отражённых сигналов*

*Период – это время,
необходимое для получения
одного полного цикла колебаний*

*Измеряется в секундах (с) и
микросекундах (мкс – одна
миллионная доля секунды)*

Длина волны – это расстояние, которое занимает в пространстве одно колебание

- *Чаще измеряется в метрах (м) и миллиметрах (мм)*
- *С увеличением частоты ультразвука уменьшается длина волны*
- *Усреднённой скоростью распространения ультразвука в тканях человеческого организма считается 1,54 мм/мкс*

При усреднённой скорости распространения ультразвука 1,54 мм/мкс длина волны составляет

- *0,44 мм при частоте 3,5 МГц*
- *0,31 мм при частоте 5,0 МГц*
- *0,21 мм при частоте 7,5 МГц*
- *0,15 мм при частоте 10 МГц*

Скорость распространения ультразвука – это скорость, с которой волна перемещается в среде

- *Единицами измерения как правило являются метр в секунду (м/с) и миллиметр в микросекунду (мм/мкс)*
- *Скорость распространения ультразвука определяется плотностью и упругостью среды*
- *Скорость увеличивается при увеличении упругости*
- *Скорость увеличивается при уменьшении плотности*

Скорость распространения ультразвука в некоторых тканях человеческого организма


- *В жировой ткани – 1350 -1470 м/с*
- *В мышечной ткани – 1560 – 1620 м/с*
- *В крови – 1540 – 1600 м/с*
- *В печени – 1550 -1610 м/с*
- *В головном мозге – 1520 – 1570 м/с*
- *В костной ткани – 2500 – 4300 м/с*

Усреднённая скорость распространения ультразвука в тканях организма -1540 м/с

- *На эту скорость запрограммировано большинство ультразвуковых диагностических приборов*
- *При построении изображения используется допущение о постоянстве скорости звука в мягких тканях и жидких средах организма*
- *Чем выше частота, тем меньше длина волны и тем меньше размеры структур, которые исследователь может визуализировать*

*Для получения изображения той
или иной структуры
человеческого организма
применяется ультразвук,
излучаемый импульсами*

*Он генерируется при
приложении к пьезоэлементу
коротких электрических
импульсов*



Импульсный ультразвук характеризуется следующими параметрами

- *Частота повторения импульсов – это число импульсов, излучаемых в единицу времени*
- *Продолжительность импульса – это временная протяжённость одного импульса*
- *Фактор занятости – это время, в течение которого происходит излучение ультразвукового импульса*

Импульсный ультразвук характеризуется следующими параметрами

- *Пространственная протяжённость импульса – это длина отрезка пространства, в котором размещается один ультразвуковой импульс*
- *Амплитуда ультразвуковой волны – это максимальное отклонение наблюдаемой физической переменной от среднего значения*
- *Интенсивность ультразвука – это отношение мощности ультразвуковой волны к площади, через которую*



Физические характеристики биологических сред

- *Затухание*
- *Преломление*
- *Рассеяние*
- *Поглощение*
- *Отражение*

При прохождении через любую среду наблюдается уменьшение амплитуды и интенсивности ультразвукового сигнала, называемое затуханием

- *Единицей затухания является децибел (дБ)*
- *Коэффициент затухания – это ослабление ультразвукового сигнала на единицу длины пути этого сигнала (измеряется в дБ/см)*
- *Коэффициент затухания возрастает с увеличением частоты*

Причинами затухания являются поглощение, отражение и рассеяние ультразвуковых волн

- Преломление – это изменение направления распространения ультразвуковых волн при переходе из одной среды в другую, что может обуславливать геометрические искажения получаемого изображения
- Рассеяние – это возникновение множественных изменений направления распространения ультразвука, обусловленное мелкими неоднородностями среды и, следовательно, многочисленными отражениями и преломлениями
- Поглощение – это переход энергии ультразвуковых волн в другие виды энергии, в

Отражение – основное физическое явление, на котором базируется получение информации о различных структурах человеческого организма

- *Коэффициент отражения по амплитуде определяется отношением уровней давления отражённой и падающей ультразвуковых волн*
- *Данный коэффициент зависит только от разности акустических сопротивлений сред и не зависит от того, какая из сред находится дальше другой – с большим или меньшим акустическим сопротивлением*
- *Акустическое сопротивление определяется как произведение плотности среды и скорости звука*



Трансдюсеры
(обратный пьезоэлектрический эффект) и
датчики
(прямой пьезоэлектрический эффект)

- **Механические (секторные)**
- **Электронные (линейные, конвексные, фазированные секторные)**

*Механическое и электронное
сканирование: преимущества и
недостатки*

*Где господь пшеницу сеет, там
чёрт – плевелы*

русская пословица

Преимущества секторного механического сканирования

- *Возможность использования датчиков с высокой частотой сканирования (10 МГц и более) и малыми размерами*
- *Возможность сканирования в диапазоне углов от 120 до 360 градусов*
- *Возможность применять кольцевые (аннулярные) датчики с высокой разрешающей способностью*
- *Малый размер рабочей поверхности датчика*

Недостатки секторного механического сканирования

- Малый размер зоны обзора возле рабочей поверхности*
- Механически движущиеся детали: снижение надёжности и вибрация*
- Мёртвая зона на малых глубинах*
- Снижение разрешающей способности на больших глубинах*
- Ухудшение поперечного разрешения с увеличением угловой скорости сканирования*

Преимущества линейного электронного сканирования

- *Широкая зона визуализации на малых глубинах*
- *Одинаково высокая плотность акустических строк на больших и малых глубинах*

Недостатки линейного электронного сканирования:
неуниверсальность датчиков

- *Чрезмерно малые размеры апертуры*

Преимущества (слева) и недостатки (справа) конвексного электронного сканирования

- Широкая зона визуализации вблизи поверхности датчика и ещё более широкая на средних и больших глубинах
- Лучшее, чем при секторном сканировании, поперечное разрешение на
- Выпуклая рабочая поверхность датчика может при контакте деформировать поверхностные структуры
- Большой размер рабочей поверхности затрудняет применение

Преимущества (слева) и недостатки (справа) фазированного секторного электронного сканирования

- *Малый размер датчика и его рабочей поверхности*
- *Высокая частота кадров, что важно при наблюдении быстро движущихся структур*
- *Возможности одновременной работы в режимах В, М, Д*
- *Ухудшение качества изображения на краях сектора сканирования*
- *Малая ширина зоны обзора на небольших глубинах*
- *Возможность появления артефакта «боковые лепестки»*



АРТЕФАКТЫ

- *Появление на экране несуществующих структур*
- *Отсутствие существующих структур*
- *Неправильное расположение структур*
- *Неправильная яркость структур*
- *Неправильные очертания структур*
- *Неправильные размеры структур*

Артефакты: две основные группы

- *Аппаратурные артефакты, возникающие вследствие технических причин*
- *Артефакты обусловленные физическими причинами прохождения ультразвука в биологических тканях*

Аппаратурные артефакты

- *Помехи и наводки*
- *Мёртвая зона*
- *Решётка на изображении*
- *Боковые лепестки*



Артефакты, обусловленные физическими причинами

- *Искажение формы*
- *Образование теней*
- *Область акустического псевдоусиления*
- *Латеральные тени*
- *Хвост кометы*
- *Реверберация*
- *Зеркальное изображение*

Ультразвуковые диагностические аппараты



- *Ультразвуковые сканеры*
- *Ультразвуковые сканеры со спектральным доплером*
- *Ультразвуковые сканеры с цветовым и энергетическим доплеровским картированием*
- *Ультразвуковые сканеры с наличием дополнительных специальных режимов работы*

Ультразвуковые сканеры: основные (слева) и дополнительные (справа) режимы работы

- B (или $2D$) –
двухмерное
изображение
- M (или TM) –
одномерная
яркостная
эхограмма с
развёрткой во
времени
- $B + B$
- $B + M$

Двухмерная эхоскопия



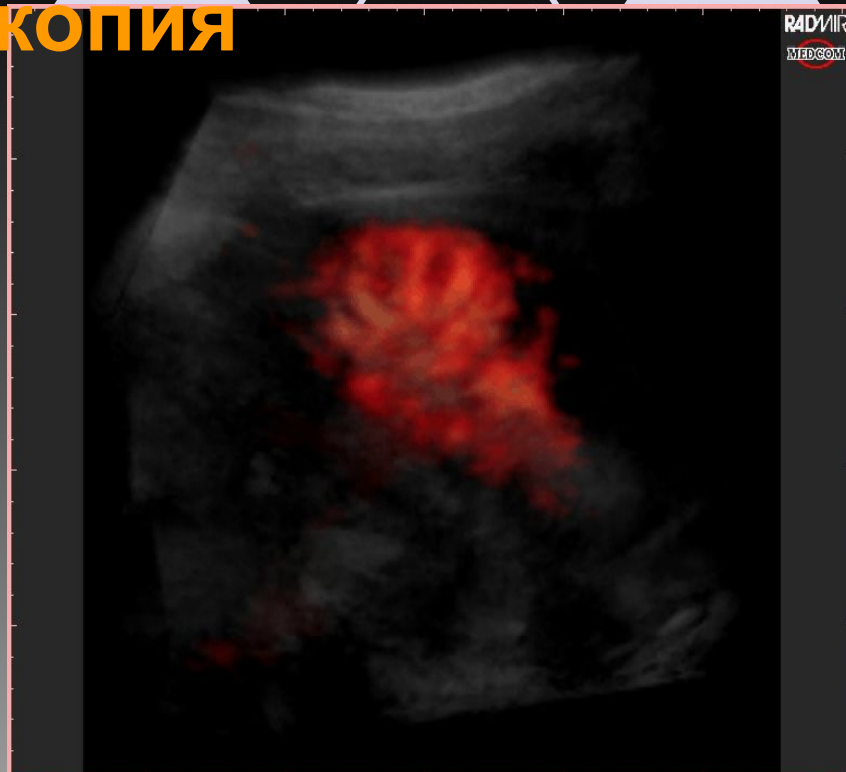
В-сканирование в реальном времени

Ультразвуковые сканеры с спектральным доплером: основные (слева) и дополнительные (справа) режимы работы

- B ($2D$)
- M (TM)
- D – спектральный анализ скоростей кровотока с использованием импульсно-волнового (PW) и ряде случаев непрерывно-волнового (CW) доплера
- $B + B$
- $B + M$
- $B + D$ (дуплексный)

Допплеровская

КОПИЯ



Триплексный режим
(внизу – спектральная
развёрстка скоростей
кровотока)

3-D визуализация с
применением
энергетического
доплера



Допплер? Доплер?

- *Христиан Допплер – австрийский математик физик, астроном (1803 -1853)*
- *«О колориметрической характеристике излучения двойных звёзд и некоторых других звёзд неба» (1842)*
- *Эффект Допплера (применительно к звуковым волнам): частота волн, излучаемых источником (передатчиком) звука, и частота этих же волн, принимаемых приёмником звука, отличаются, если приёмник и передатчик движутся относительно друг друга (сближаются или удаляются)*
- *В ультразвуковых сканерах источник и приёмник сигнала объединены в датчике. Частотный сдвиг обусловлен движущимися отражателями ультразвука.*

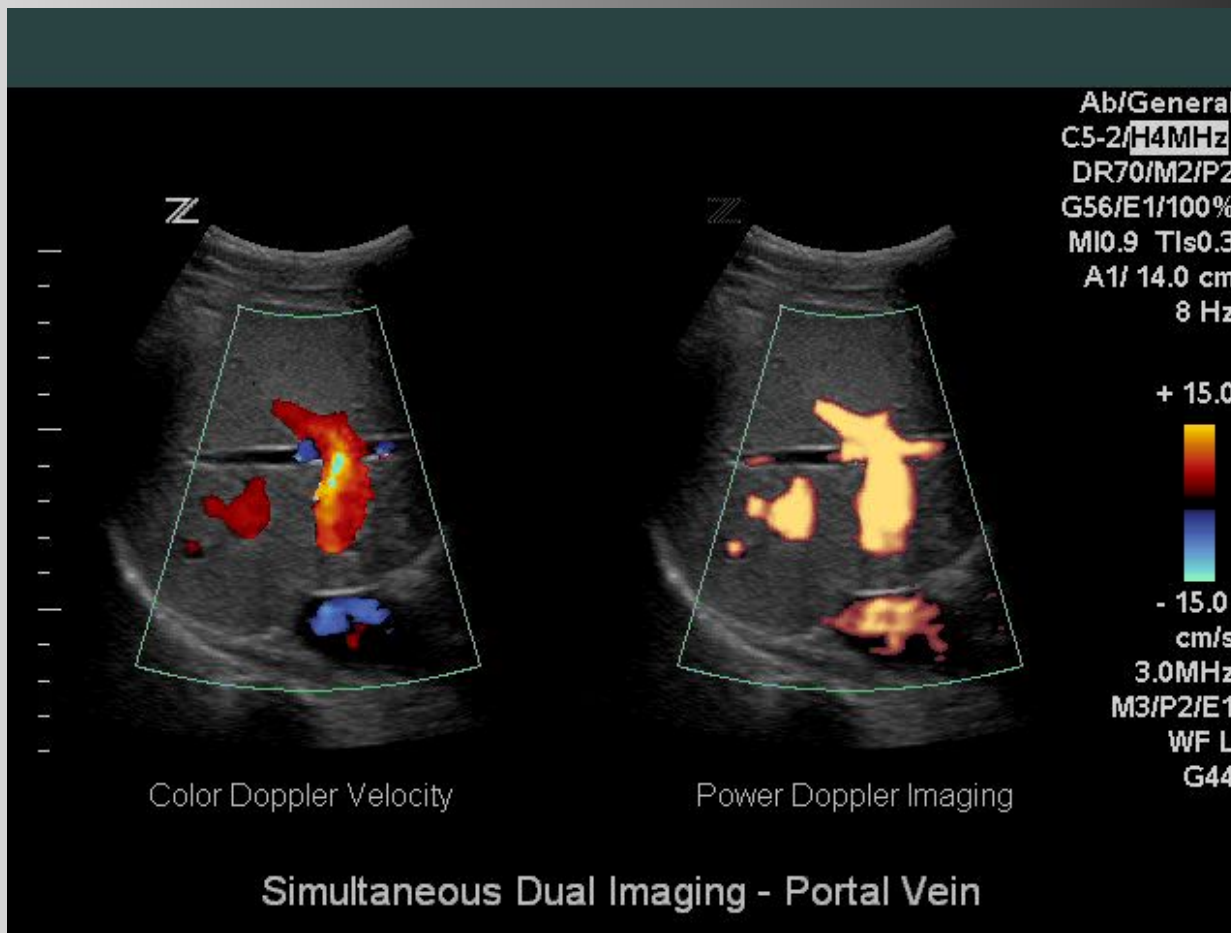
Дом, где родился и жил Христиан Допплер (Зальцбург, Австрия)



Ультразвуковые сканеры с цветовым и энергетическим доплеровским картированием : основные (слева) и дополнительные (справа) режимы работы

- $B (2D)$
- $M (TM)$
- $D (PW)$ и (CW)
- CFM – цветное доплеровское картирование кровотока
- PD – энергетический доплер
- $B + B$
- $B + M$
- $B + D$ (дуплексный)
- $B + D + CFM$ (триплексный)

Допплеровское картирование ПОТОКОВ КРОВИ



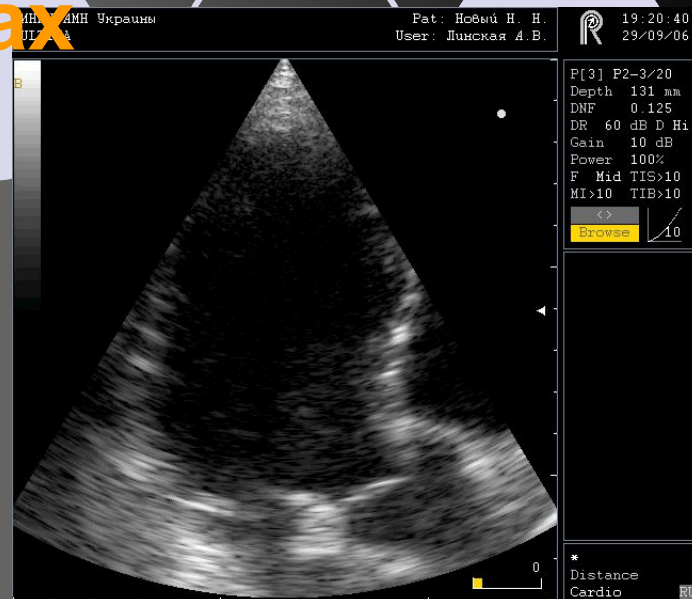
Ультразвуковые сканеры с наличием дополнительных специальных режимов работы

- *TD - тканевой доплер*
- *3D – трёхмерное изображение*
- *Тканевая (нативная) гармоника*
- *4D – трёхмерное изображение движущихся объектов*
- *Панорамное сканирование*
- *Эластография*

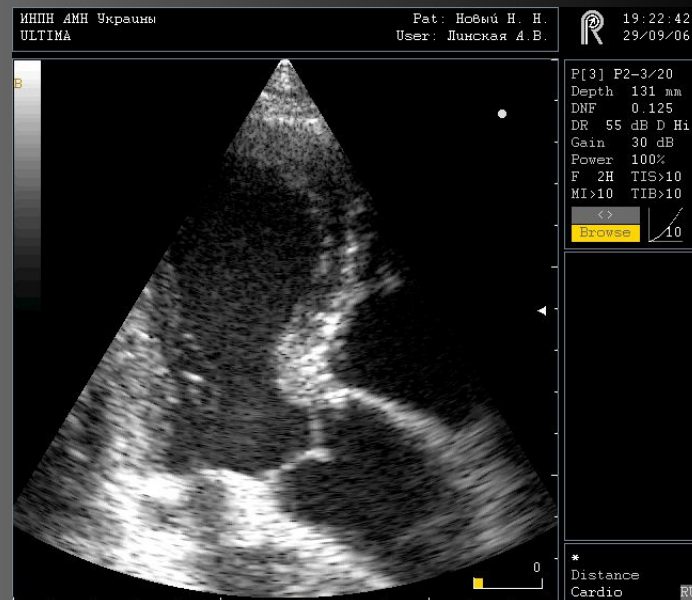
Визуализация на гармониках

Георг Риман,
немецкий
математик (1826 –
1866)

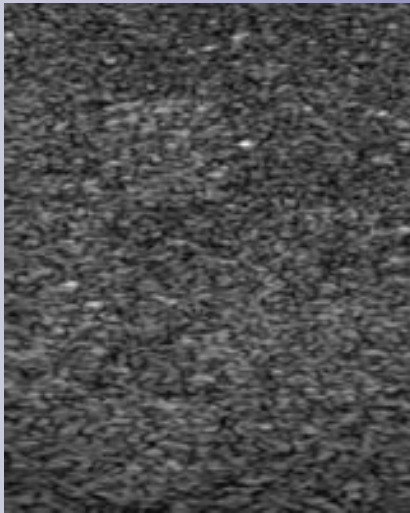
Основная частота



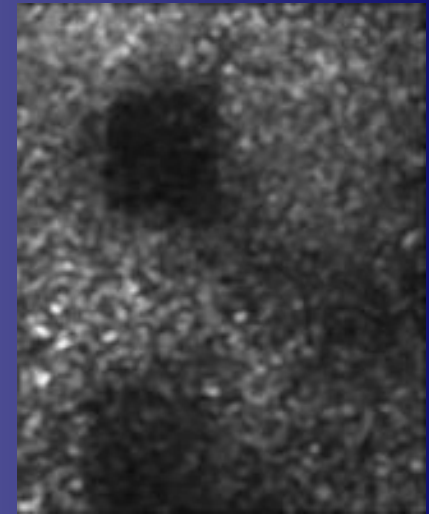
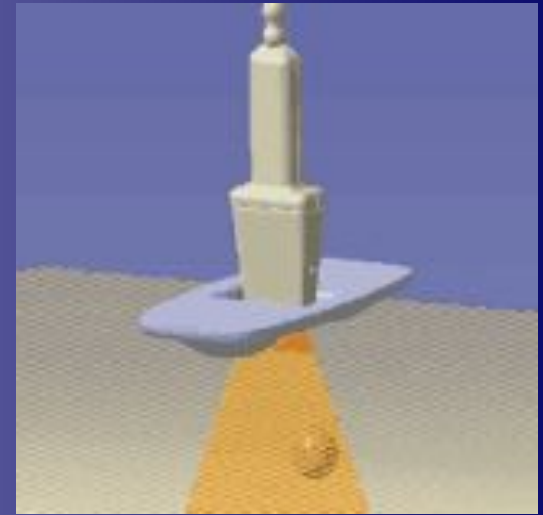
2-я гармоника
излучения



Соноэластография

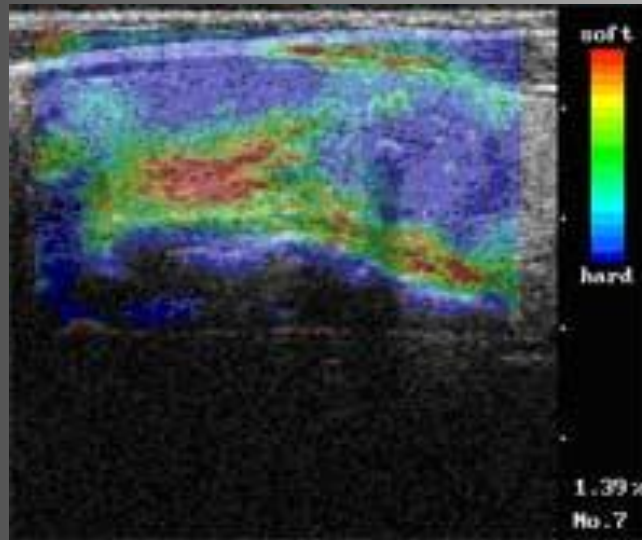


*Двухмерная
эхографическая
картина*



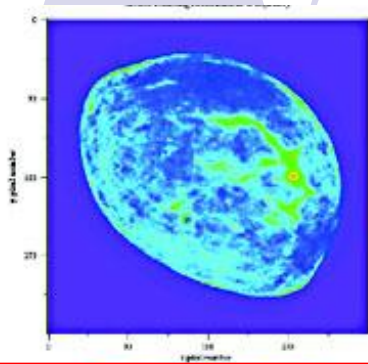
Эластографическая картина

Соноэластографическая реконструкция

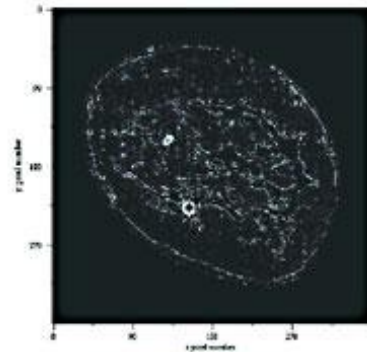


**Рак щитовидной
железы**

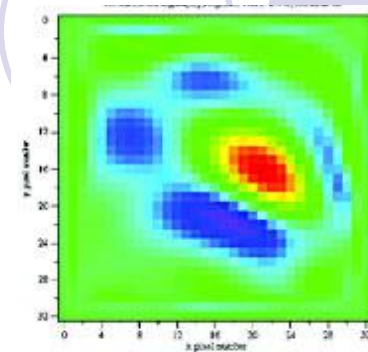
Гибридная реконструкция



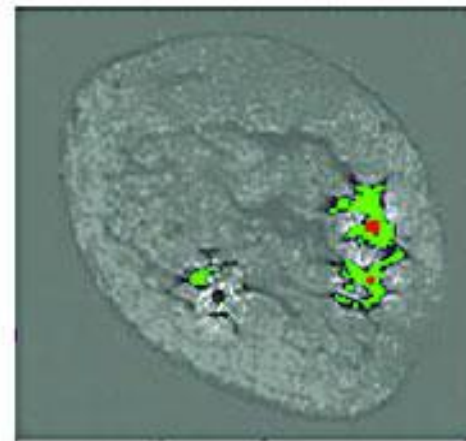
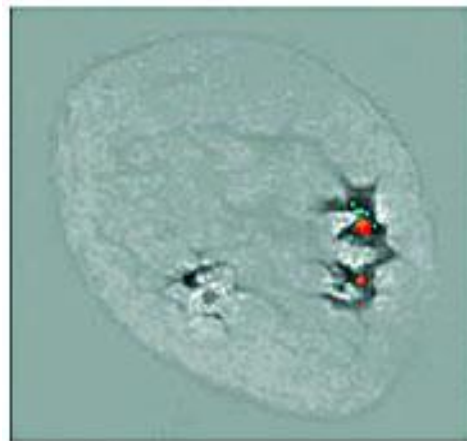
Трансмиссионная томография



Дифракционная томография



Электроимпедансная томография



Различные виды компьютерной гибридной реконструкции

Ведущие фирмы-производители ультразвукового медицинского диагностического оборудования

- *SIEMENS*
- *PHILIPS*
- *GENERAL ELECTRIC*
- *ALOKA*
- *TOSHIBA*
- *MEDISON*
- *HITACHI*



Что нужно учитывать при выборе ультразвукового диагностического аппарата?

- *Размеры прибора*
- *Величина экрана*
- *Количество одновременно подключаемых датчиков*
- *Наличие у фирмы широкого спектра датчиков*
- *Возможность работы датчиков в многочастотном режиме*
- *Наличие специальных программ обработки результатов измерений*
- *Возможность модульного дооснащения*

Наиболее часто используемые датчики

- Конвексный 3.5 МГц
- Линейный 7,5 МГц
- Трансректальный 5 – 7,5 МГц
- Трансвагинальный 5 – 7,5 МГц
- Секторный 3,5 МГц
- Конвексный 5 МГц

Влияние ультразвука на человеческий организм : открытые вопросы

- *Физиотерапия*
- *Литотрипсия*
- *Безопасность ультразвукового исследования*



Биологические эффекты ультразвука

- *Ударные акустические волны*
- *Кавитация*
- *Нагрев биологических тканей*

Рекомендации врачу ультразвуковой диагностики

- *По возможности снижать уровень мощности излучения прибора, ограничившись тем минимумом, который позволяет получить качественное изображение*
- *Минимизировать время экспозиции*
- *При анализе полученной информации и обсуждении результатов исследования использовать средства регистрации изображений*

Международные нормативные акты по безопасности ультразвуковых диагностических приборов

- *Стандарт Международной электротехнической комиссии №1157 «Требованию к представлению акустических выходных характеристик медицинских диагностических ультразвуковых приборов» (1992)*
- *Документ Международной электротехнической комиссии № 601-2-37 «Медицинское электрическое оборудование». Часть 2: «Специальные требования безопасности к ультразвуковым медицинским приборам для диагностики и*

Российские нормативные акты по безопасности ультразвуковых диагностических приборов

- *Российский стандарт ГОСТ р50 267.0-92 «Изделия медицинские электрические. Общие требования безопасности»*
- *Российский стандарт ГОСТ 26831-86 «Приборы ультразвуковые диагностические эхоимпульсные сканирующие. Общие технические требования. Методы испытаний»*
- *«Новая клиническая инструкция по безопасности для диагностического ультразвука»// Медицинская визуализация. 1997.№4.С.30-41*

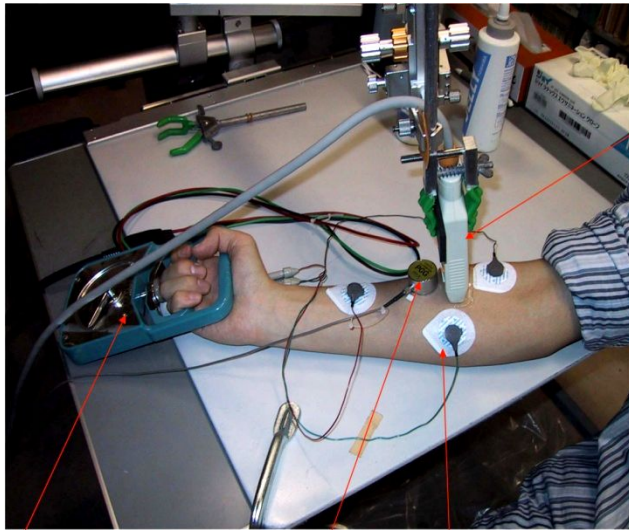
*Нормативные акты для врачей
ультразвуковой диагностики : приказ
Минздрава РФ от 2.08.1991 «О
совершенствовании службы лучевой
диагностики»*

- *«Положение об отделении (кабинете) ультразвуковой диагностики»*
- *«Примерные расчётные нормы времени на проведение ультразвуковых исследований»*
- *«Положение о враче отделения (кабинета) ультразвуковых исследований отдела (отделения) лучевой диагностики»*

Нормативные акты для врачей ультразвуковой диагностики

- *Приказ Минздрава РФ от 30.11.1993 № 283 « О совершенствовании службы функциональной диагностики в учреждениях здравоохранения Российской Федерации»*
- *«Временные нормативы на проведение ультразвуковых исследований» (проект)*
- *Сайт Российской ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине www.rasudm.org, раздел «Нормативные документы»*

*Двигаясь вперёд, наука
непрестанно перечёркивает
саму себя*



dynamometer

microphone

electrode for measuring
electromyogram

ultrasonic
probe

Виктор Гюго

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

***УСПЕХОВ В
ПРОФЕССИОНАЛЬНОМ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ!***

