Физические методы медицинской диагностики

Тимошенко Виктор Юрьевич

Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова, Физический факультет

ЛЕКЦИЯ 3:
УЛЬТРАЗВУК В МЕДИЦИНЕ

Ультразвук

- Ультразвук – звуковые колебания с частотой выше 20 кГц.
- В медицинской диагностике используется УЗ с частотами 2-30 МГц (длина волны 50-750 мкм в воде) и интенсивностью менее 1 Вт/см^2.
- Основной способ получения в медицине – пьезоэлектрические генераторы
- Детектирование – пьезоэлементы.

Волновое уравнение:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \upsilon^2 \cdot \Delta \xi$$

$$\Delta = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right)$$

Уравнение плоской волны: $\xi(x,t) = A \cdot \cos[\omega (t - \tau)] = A \cdot \cos(\omega t - kx)$

$$\upsilon = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Интенсивность:

$$I = \langle S(t) \rangle = \langle W_0(t) \rangle \cdot \upsilon = \frac{\rho A^2 \omega^2 \upsilon}{2}$$

Акустическое сопротивление (импеданс): $Z = \rho \upsilon$

Взаимодействие звуковых волн с веществом

- При падении волны на границу раздела двух сред с различными импедансами возникает волна, отраженная от границы, и волна, прошедшая через нее
- Для звуковой волны условия сопряжения следуют из равенства давлений и отсутствия разрывов в скорости движения частиц в первой и второй средах непосредственно у границы раздела

Для нормального падения коэффициент отражения (по интенсивности)

$$\frac{I_{\text{отр}}}{I_{\text{пад}}} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}\right)^2$$

*где $Z=\rho v$ (плотность*скорость звука в среде)*

Акустический импеданс

- Импеданс различных тканей

Substance	c (m/s)	$Z = \rho c$ (10^6 kg/m^2 s)
Air (25° C)	346	0.000410
Fat	1450	1.38
Water (25° C)	1493	1.48
Soft tissue	1540	1.63
Liver	1550	1.64
Blood (37° C)	1570	1.67
Bone	4000	3.8 to 7.4
Aluminum	6320	17.0

Чтобы избежать практически полного отражения УЗ на границе воздух-тело, перед исследованием наносится гель

Исследуются в основном мягкие ткани, а кости полностью отражают УЗ.

Затухание ультразвука

В однородной среде присутствует затухание:

$$I(z) = I_0 \exp(-az)$$

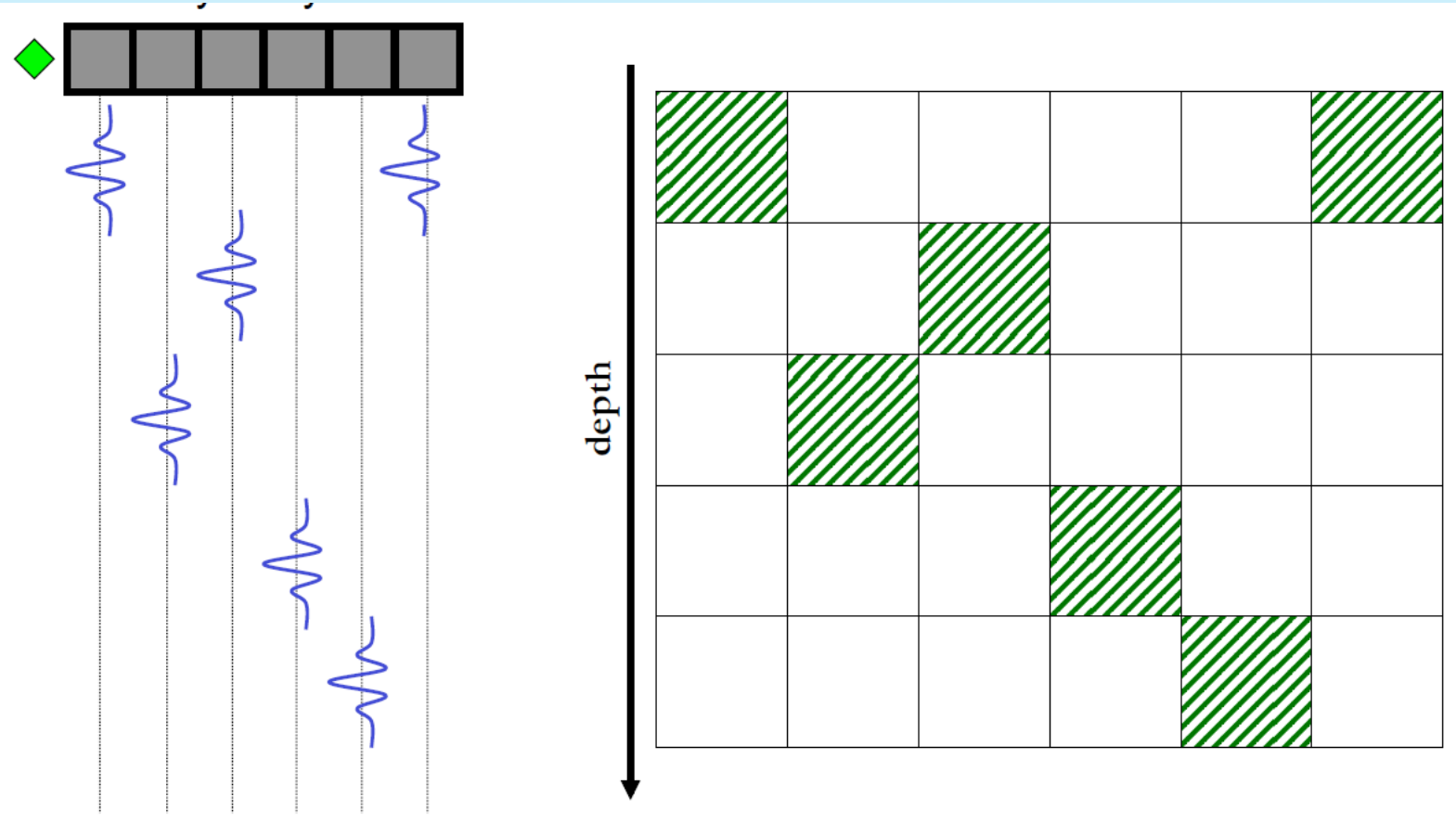
В случае неоднородной среды:

$$I(z) = I_0 \exp\left(-\int a(z)dz\right)$$

Table 1-11 Attenuation of Human Tissues and Other Media at 1 MHz

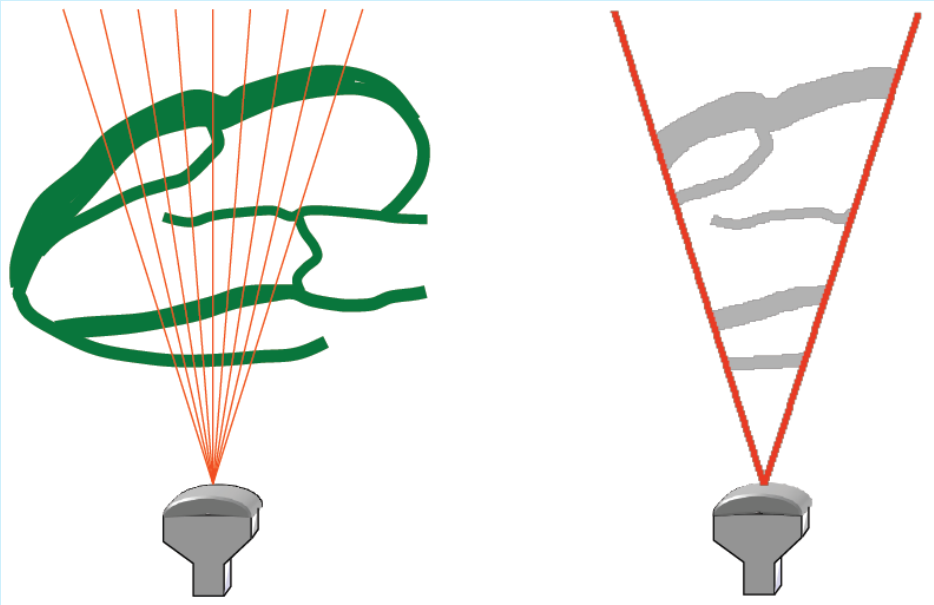
Material	dB/cm
Blood	0.18
Fat	0.6
Kidney	1.0
Muscle (across fibers)	3.3
Muscle (along fibers)	1.2
Brain	0.85
Liver	0.9
Lung	40.0
Skull	20.0
Lens	2.0
Aqueous humor	0.022
Vitreous humor	0.13
Water	0.0022
Castor oil	0.95
Lucite	2.0

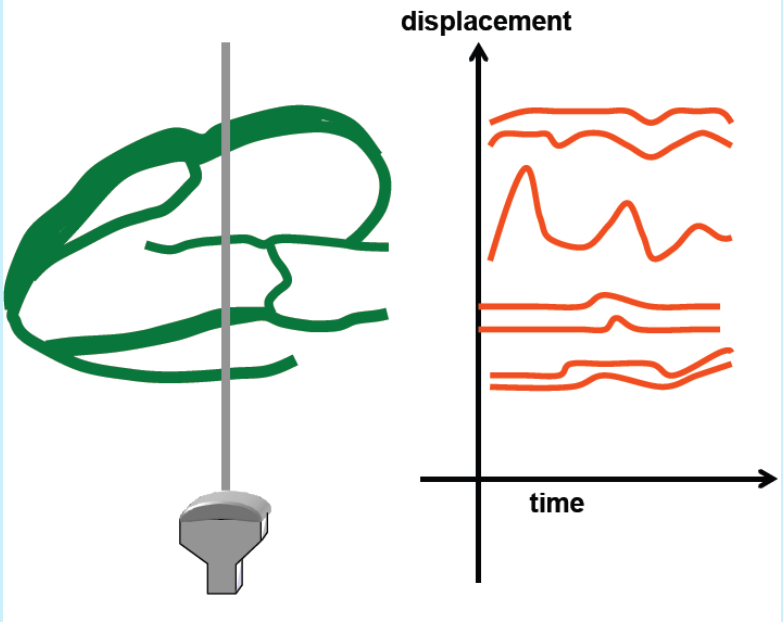
Получение изображений при помощи ультразвука



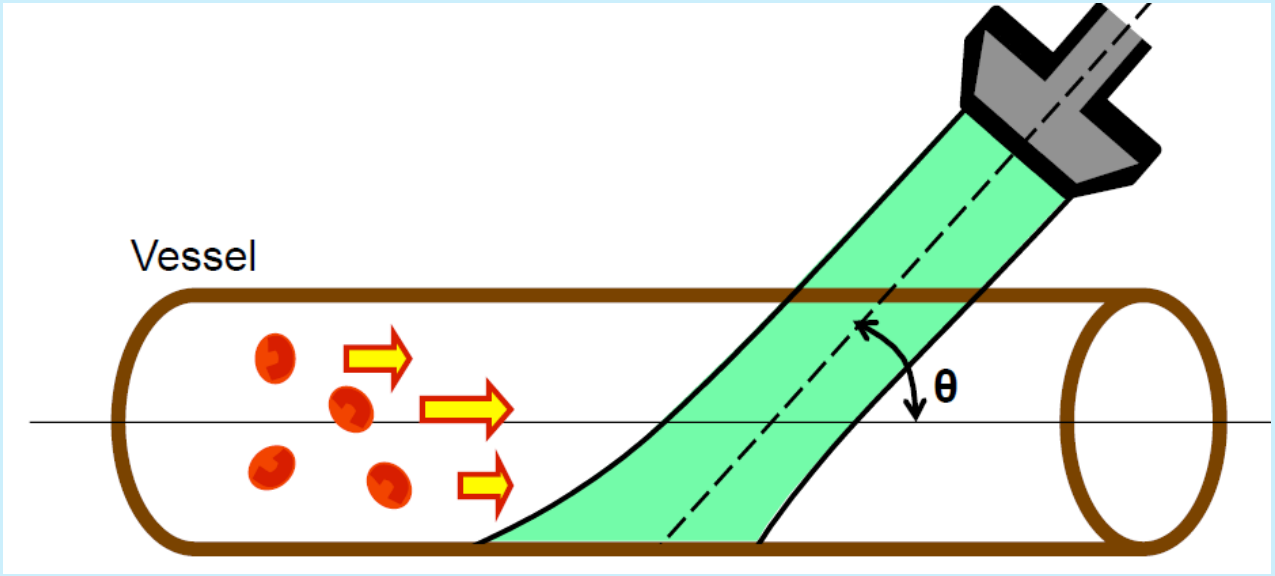
При обработке изображения следует учитывать затухание и многократные отражения

Режимы исследования





Допплерография



В случае отражения от движущегося объекта, происходит сдвиг частоты. В случае отражения от объекта, движущегося под углом – на изменение частоты влияет сонаправленная компонента скорости

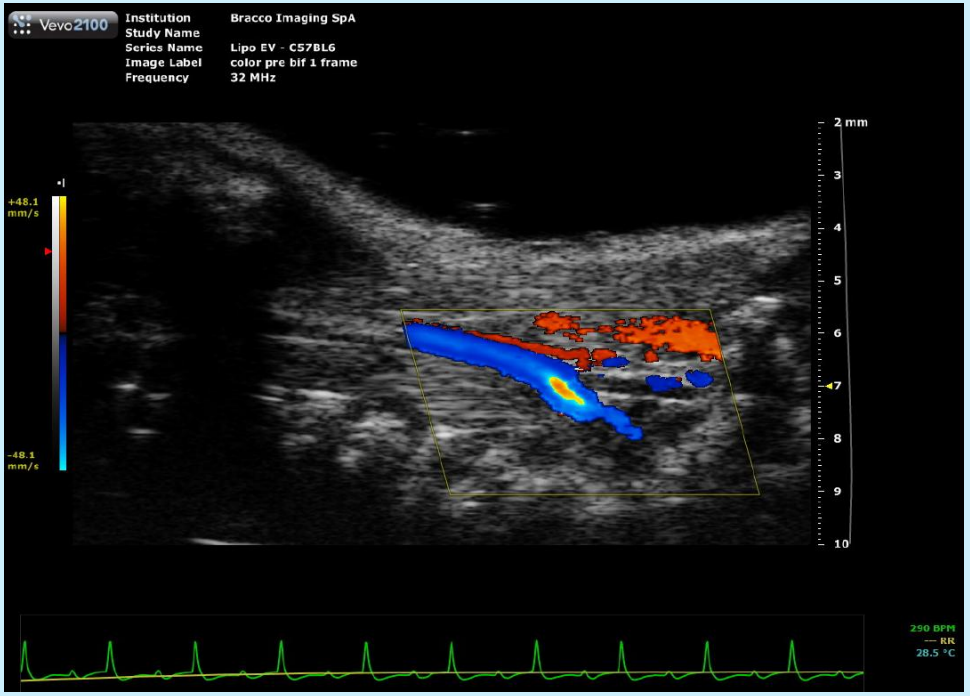
$$\omega_D = \omega_0 \left(1 + \frac{v \cos\theta}{c}\right)$$

Допплерография – способ получения дополнительной информации исходя из сдвига частот.

Допплерография – зачем это нужно?

Красный – направление движения к источнику УЗ,
синий – от источника.

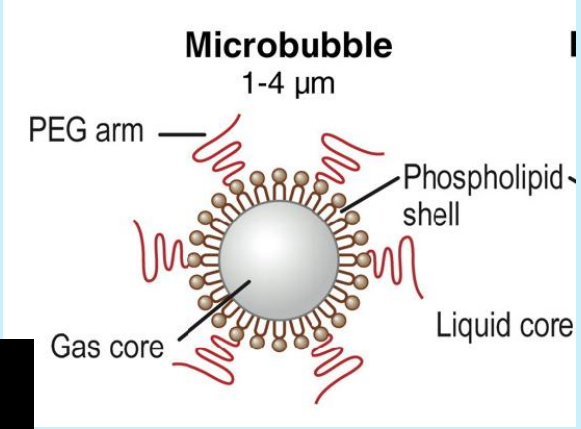
При образовании тромбов скорость движения крови в узких местах увеличивается

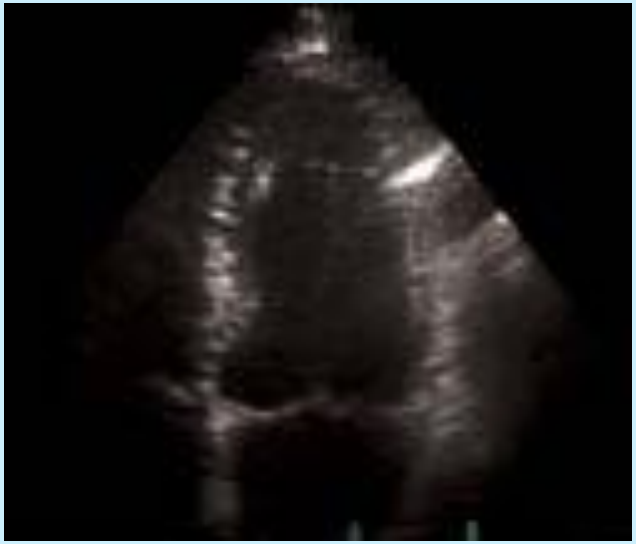


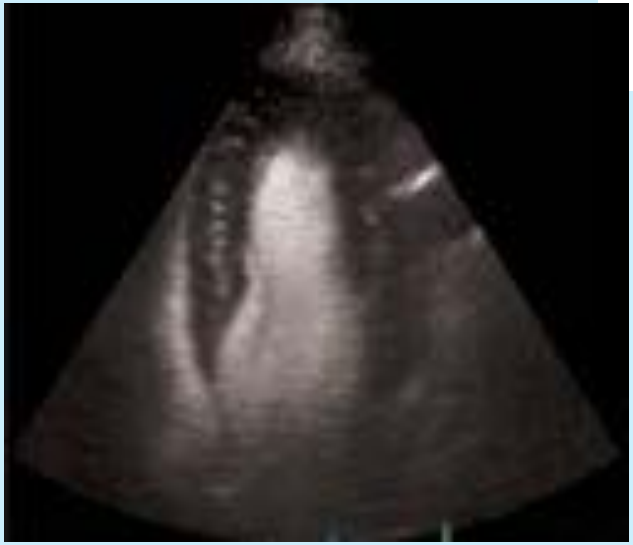
Контрастные агенты для УЗ исследования

- Для усиления контраста в сосудах – микропузырьки воздуха, содержащиеся в стабилизированных ПАВ мицеллах

УЗ хорошо отражается такими микропузырьками и обеспечивает улучшенный контраст



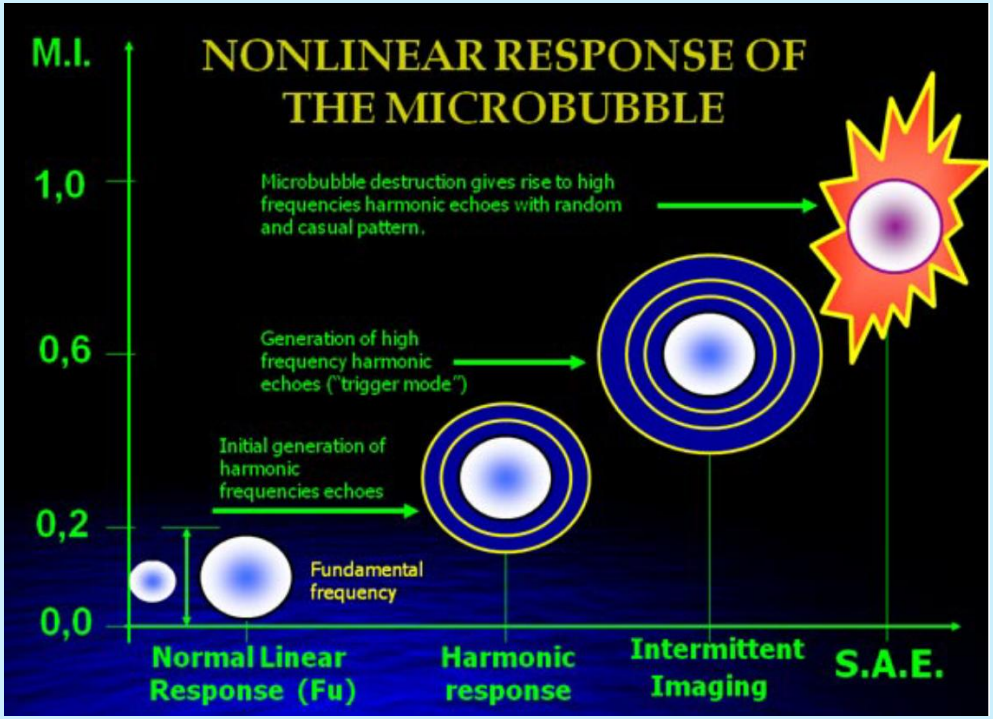




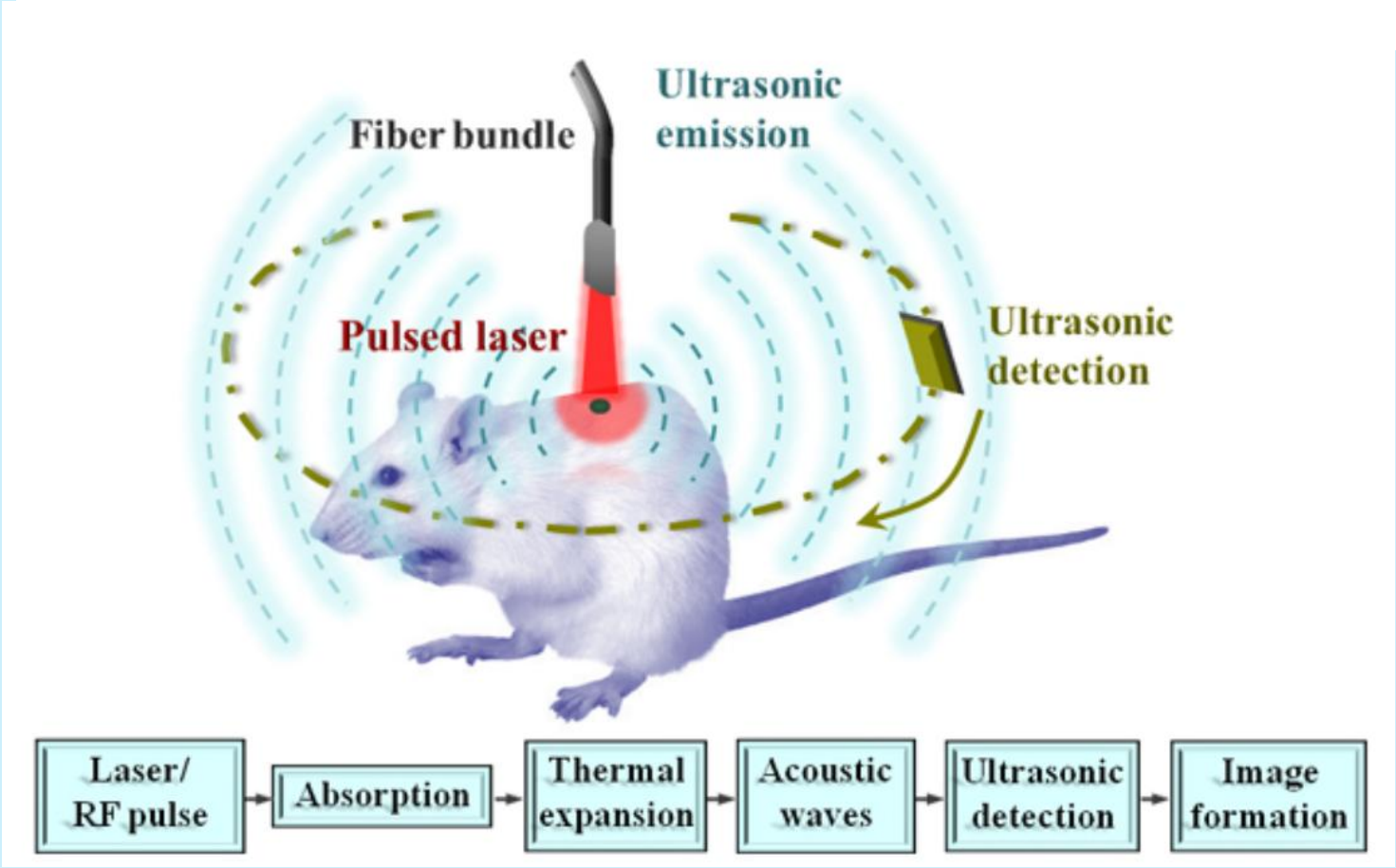
Нелинейный отклик контрастных агентов

Собственная частота колебаний микропузырьков в жидкости больше используемых в УЗИ. Может происходить возбуждение колебаний микропузырька на резонансной частоте. При этом излученный УЗ тоже будет обладать этой частотой

Детектирование УЗ с частотой микропузырьков может повысить контраст и оставить сигнал только от крови



Фотоакустика



Итоги Лекции 3:

- **Диапазон УЗ излучения.**
- **Что такое «медицинский ультразвук»?**
- **Существующие методы УЗИ.**
- **Перспективные методы УЗ диагностики.**