

ЧТО ТАКОЕ УЛЬТРАЗВУК?

Если вы хотите познать секреты вселенной –
мыслите единицами измерения энергии,
частоты и вибрации.

Никола Тесла (1856–1943)

Бурдюков М.С.^{1,2}, Катрич А.Н.^{3,4}, Приходько Е.С.¹

¹ Государственное бюджетное учреждение здравоохранения Городская клиническая больница имени С.П. Боткина Департамента здравоохранения города Москвы, (ул. 2-й Боткинский проезд, д. 5, г. Москва, 125284, Россия)

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, (ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, г. Москва, 125993, Россия)

³ Научно-исследовательский институт – Краевая клиническая больница № 1 им. проф. С.В. Очаповского, (ул. 1 мая, 167, корп. 1, Краснодар, 350086, Россия)

⁴ Кубанский государственный медицинский университет, (ул. Митрофана Седина, 4, Краснодар, 350063, Россия)

Бурдюков Михаил Сергеевич, д.м.н., доцент кафедры эндоскопии; врач-эндоскопист

Катрич Алексей Николаевич, д.м.н., доцент кафедры хирургии № 1, заведующий отделением ультразвуковой диагностики, врач УЗД

Приходько Елизавета Сергеевна, врач-эндоскопист эндоскопического отделения № 2

Для переписки:

Бурдюков

Михаил Сергеевич

Mikhail S. Burdyukov

e-mail:

burdyukovms@gmail.com

РЕЗЮМЕ

Цель статьи – познакомить читателей с основами ультразвука и основными принципами его работы, чтобы в дальнейшем эффективно управлять переменными, которые можно отнести к операторзависимым, и собирать максимально полную информацию из каждого исследования, избегая ловушек и ошибок в диагностике.

Ключевые слова: ультразвук, эндоскопическое ультразвуковое исследование, физика ультразвука, артефакты ультразвука.

Информация о конфликте интересов: конфликт интересов отсутствует.

Информация о спонсорстве: данная работа не финансировалась.

Для цитирования: Бурдюков М.С., Катрич А.Н., Приходько Е.С. Что такое ультразвук? Клиническая эндоскопия. 2025;67(3):36–40. doi: 10.31146/2415-7813-endo-67-3-36-40.

WHAT IS ULTRASOUND?

If you want to know the secrets
of the universe – think in units of energy,
frequency and vibration.

Nikola Tesla (1856–1943)

M.S. Burdukov^{1,2}, A.N. Katrich^{3,4}, E.S. Prikhodko¹

¹ City Clinical Hospital named after S.P. Botkin of the Moscow Department of Healthcare, (5, 2-y Botkinskiy proezd, Moscow, 125284, Russia)

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, (2/1, building 1, Barrikadnaya st., Moscow, 125993, Russia)

³ Research Institute – Regional Clinical Hospital No. 1 named after prof. S.V. Ochapovsky, (167, bldg. 1, str. 1 Maya, Krasnodar, 350086, Russia)

⁴ Kuban State Medical University, (4, Str. Mitrofan Sedina, Krasnodar, 350063, Russia)

Mikhail S. Burdukov, MD, PhD, Associate Professor of the Endoscopy Department; endoscopist;
ORCID: 0000-0003-4690-9335

Alexey N. Katrich, MD, PhD, Head of the Ultrasound Diagnostics Department, ultrasound doctor;
ORCID: 0000-0003-1508-203X

Elizaveta S. Prikhodko, endoscopist of the Endoscopy Department No. 2; ORCID: 0009-0008-7004-8444

SUMMARY

The purpose of the article is to introduce readers to the basics of ultrasound and the main principles of its operation in order to effectively manage variables that can be classified as operator-dependent and collect the most complete information from each study, avoiding pitfalls and errors in diagnosis.



EDN: WJISGY

Keywords: ultrasound, endoscopic ultrasound examination, physics of ultrasound, ultrasound artifacts

Information on conflicts of interest: there is no conflict of interest.

Sponsorship Information: This work was not funded.

For citation: Burdukov M.S., Katrich A.N., Prikhodko E.S. What is ultrasound?. Filin's Clinical endoscopy. 2025;67(3):36-40. (in Russ.) doi: 10.31146/2415-7813-endo-67-3-36-40.

Ультразвук представляет собой механические волны, частота которых превышает 20 кГц, т.е. лежит сразу за верхней границей звука, различного человеческого ухом. В системах медицинской УЗ-диагностики обычно используют частоты от 2 до 20 МГц, в эндоскопическом ультразвуковом исследовании – от 5 до 30 МГц [6].

Ультразвук мощный инструмент для определения форм, размеров и текстур структур, их местоположений и пространственных взаимоотношений [3]. Для оптимизации диагностических изображений и безопасной работы важно понимать основные принципы ультразвука. Для чего же это важно в практической сфере:

1. *Чтобы выбрать датчик, который обеспечит оптимальное проникновение в интересующую анатомическую область:* важно понимать взаимосвязь между частотой, проникновением и разрешением; а также осознавать, как размер и форма пятна контакта датчика облегчают доступ луча к целевым структурам [4].
2. *Чтобы максимизировать передачу звуковой волны к целевым структурам и получение эхо-сигнала от них:* необходимо понимать, как ультразвуковая энергия зависит от среды, через которую она проходит, почему отражение, преломление и/или рассеивание происходят на границах тканей и как угол луча влияет на качество изображения целевой структуры; а также уметь эффективно наклонять луч, чтобы избежать препятствий для передачи

и максимизировать силу эхо-сигналов, возвращающихся от границ тканей [4].

3. *Чтобы максимально повысить качество изображения:* важно узнать, как использовать аппарат для оптимальной настройки характеристик передаваемого луча и/или «принимаемой» эхо-информации [4].
4. *Для точной интерпретации изображений:* необходимо распознавать характеристики тканей по ультразвуковому изображению; распознавать и понимать типы артефактов; использовать полезные артефакты в качестве источника дополнительной диагностической информации; изменять положение датчика для уменьшения или устранения отвлекающих артефактов [4].
5. *Чтобы поддерживать потенциальные биоэффекты на разумно достижимом низком уровне:* необходимо понимать тепловое и механическое воздействие звуковой энергии на ткани; знать, какие ткани наиболее уязвимы; и понимать, как настроить устройство для получения оптимальных изображений с наименьшей выходной интенсивностью [4].

Важно, чтобы начинающие пользователи осознавали ограничения ультразвука и необходимость комплексного ультразвукового обследования или дальнейшей диагностической визуализации, когда результаты неспецифичны или неопределенны.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Функциональной единицей ультразвука является пьезоэлемент. Пьезоэлектрический эффект был открыт в 1880 году Джексоном и Пьером Кюри [2]. Они заметили, что в некоторых кристаллах при механическом воздействии на них появляется электрическая поляризация, причем степени её пропорциональна величине воздействия.

Прямой пьезоэлектрический эффект – это явление возникновения электрической поляризации

в кристалле под действием механического напряжения. Деформация пьезоэлектрического образца приводит к возникновению электрического напряжения между поверхностями деформируемого твёрдого тела.

Обратный пьезоэлектрический эффект – это явление возникновения механических деформаций в кристалле под действием электрического поля. Приложение электрического напряжения к телу вызывает его деформацию.

ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

Терминов и понятий для описания основных физических принципов ультразвука весьма много: волна, длина волны, частота, гармоника, скорость распространения, амплитуда, интенсивность, затухание, поглощение, сопротивление, отражение, рефракция, рассеивание и т.д. Мы же разберем наиболее основные для понимания работы ультразвука в практике врача-эндоскописта.

Длина волны (λ) – это расстояние между последовательными гребнями волны или между любыми двумя точками, которые повторяются на синусоидной волне (рис. 1). Время завершения каждого колебания называется **периодом (T)** [5].

Частота (f) – число колебаний в единицу времени (Гц).

СКОРОСТЬ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВУКА

Скорость звука зависит от природы среды, через которую он распространяется и не зависит от частоты (рис. 2) [5].

Поскольку в идеальных условиях скорость постоянна в определённой среде, увеличение частоты приводит к уменьшению длины волны и наоборот.

Разрешение ультразвукового изображения и проникновение ультразвуковой волны зависят от длины волны и частоты. Высокочастотный ультразвуковой луч (малая длина волны) обеспечивает лучшее разрешение и детализацию изображения, чем низкочастотный луч. Однако низкочастотные лучи будут иметь лучшее проникновение по сравнению с высокочастотными [5].

Таким образом, можно сделать вывод, что чем больше частота, тем больше мы будем видеть деталей, но на меньшей глубине сканирования, чем меньше частота, тем меньше мы видим деталей, при большей глубине сканирования.

Взаимодействие с материей

Когда ультразвуковые волны распространяются через среду, между ультразвуковой волной и веществом происходит ряд взаимодействий. Эти взаимодействия включают отражение, преломление, рассеяние и поглощение.

Отражение

В медицинской диагностике используется способность ультразвука отражаться от границы сред или тел с разной плотностью, позволяя получить изображение контуров этой границы на экране монитора [6].

Достигнув границы двух сред с различным акустическим сопротивлением, пучок УЗ-волн претерпевает

существенные изменения: одна его часть распространяется в новой среде, в той или иной степени поглощаясь ею, другая – отражается [5].

Отражение – лежит в основе явления эхогенности и зависит от ряда факторов:

1. Акустического сопротивления тканей: чем больше акустическое сопротивление между средами, тем больше отражается звук. Например, мягкие ткани и кость имеют совершенно разное сопротивление, визуализация через кость невозможна (также как и через воздух), что приводит к «акустическому затенению». Но если две среды имеют схожие значения акустического сопротивления, то большинство звуковых волн продолжают во вторую среду с минимальным отражением. Поэтому, используется гель на водной основе / создание иммерсионной среды для устранения воздушных карманов.
2. Угла падения ультразвуковой волны. Когда луч перпендикулярен поверхности раздела двух сред, звук возвращается обратно к преобразователю в виде эха. При неперпендикулярном падении луча происходит потеря сигнала и, как результат, изображение искажается.
3. Размера и поверхности контакта.

Если интенсивность отраженного звука высока, то предмет – гиперэхогенный.

Если интенсивность отраженного звука низкая, то предмет – гипоехогенный.

Если интенсивность отраженного звука средняя, то предмет – изоэхогенный.

Если отражённый звук отсутствует, то предмет – анэхогенный.

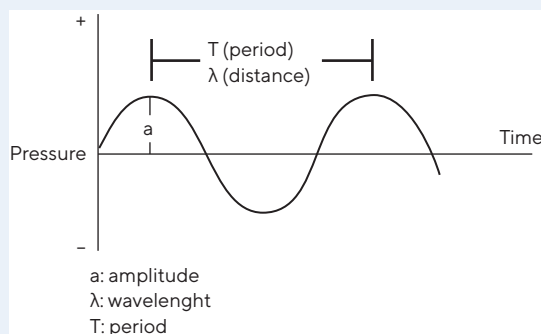


Рис. 1. Ультразвуковая энергия передается через сжимающую среду в виде продольных волн переменного сжатия и разрежения. Длина волны (λ) – это расстояние между последовательными гребнями. Период (T) – это время между колебаниями, а частота (f) – это число колебаний в секунду.

Fig. 1. Ultrasonic energy is transmitted through a compressive medium in the form of longitudinal waves of alternating compression and rarefaction. The wavelength (λ) is the distance between successive crests. The period (T) is the time between oscillations, and the frequency (f) is the number of oscillations per second.

$$v = f \lambda$$

Рис. 2. Формула скорости звука (v), где f – частота (Гц), λ – длина волны (м).

Fig. 2. The formula for the speed of sound (v), where f is the frequency (Hz), λ is the wavelength (m).



Рис. 3. Артефакт реверберации.

Fig. 3. Reverberation artifact.



Рис. 4. Артефакты боковых «лепестков» (схема)

Fig. 4. Side lobes artifacts (diagram)

Затухание

Затухание вызвано поглощением тканями ультразвукового луча и рассеиванием [5]. Затухание обычно увеличивается с ростом частоты, поэтому при визуализации более глубоких структур следует отдавать предпочтение низким частотам сканирования. Важно также знать, что в жидкостях происходит небольшое поглощение, рассеивание и отражение, что приводит к дистальному «акустическому усилению».

Преломление – это изменение направления ультразвукового луча при его переходе из одной среды в другую. Частота остается прежней, однако скорость звука изменяется при изменении среды. Преломление приводит к появлению артефактов в виде пространственных искажений, которые на изображении могут появляться как структуры, лежащие за пределами исследуемого объекта [5].

Артефакты ультразвука

Артефакты – это эхо-сигналы, которые не соответствуют фактическим свойствам предмета [7]. Они могут возникать из ряда различных источников: аппарат, оператор и взаимодействие звуковых волн с тканями [5].

Наиболее распространенным ультразвуковым артефактом является **реверберация** (рис. 3), которая возникает из-за того, что рядом с датчиком находится очень сильный отражатель, вызывающий множественные переотражения между датчиком и отражателем [5]. Как результат, артефакт отображается как некое изображение, расположенное глубже на экране монитора [7]. Сильными отражателями являются воздух, кристаллы холестерина, кость и металлические предметы. Чтобы устранить этот артефакт необходимо изменить положение датчика или угол сканирования [5].

Артефакты боковых «лепестков»

Боковые лепестки – это выбросы ультразвуковой энергии, которые находятся вне оси основного луча. Артефакты бокового лепестка возникают, когда

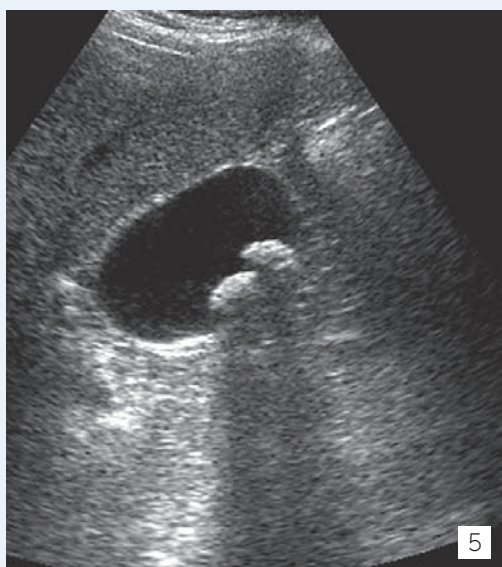
эхо-сигнал от тканей вдоль внеосевой стороны размещаются на изображении так, как будто они возникают из центральной оси изображения (рис. 4) [5]. Клинически эхо-сигналы за пределами просвета заполненной жидкостью структуры могут появляться внутри этой самой структуры, имитируя артефакты (например, осадок в желчном пузыре). Чтобы устранить этот артефакт необходимо изменить положение датчика, угол сканирования или фокус преобразователя [5].

Акустическое затемнение (акустическая тень) – весьма полезный артефакт, который помогает диагностировать кальцинированные поражения (желчные и мочевые камни) (рис. 5) [5]. Проявляется это возникновением темной области без какого-либо сигнала дистальнее затеняющего объекта. Примером может служить эффекты возникающие при неадекватном акустическом контакте баллона эхоэндоскопа со слизистой оболочкой стенки полого органа (недостаточное наполнение баллона, недостаточное количество жидкости в просвете органа, некачественная подготовка слизистой перед исследованием) когда на фоне возникающих артефактов реверберации, могут наблюдаться эффекты акустических теней.

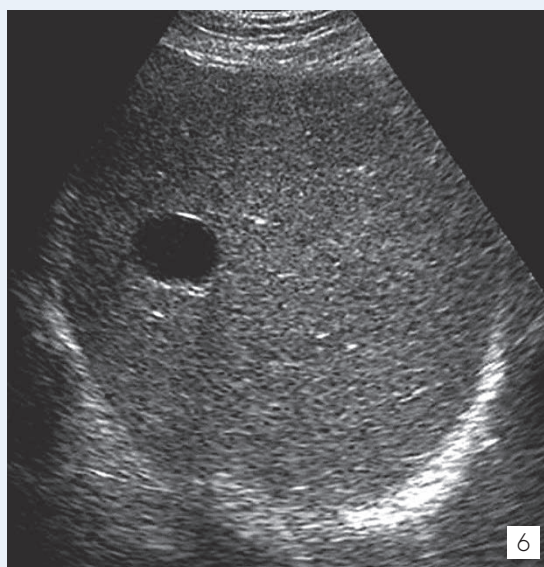
Акустическое усиление – противоположно акустическому затемнению и происходит дистальнее объекта с низким затуханием, например, полость, заполненная жидкостью (рис. 6). При этом УЗ-волна проходит быстрее через изучаемый объект, чем вокруг него, в результате чего происходит «псевдоусиление» сигнала, хотя правильнее было бы сказать, что на этом участке происходит менее выраженное (в сравнении с окружающими тканями) ослабление (затухание) сигнала.

Артефакты «зеркального» изображения

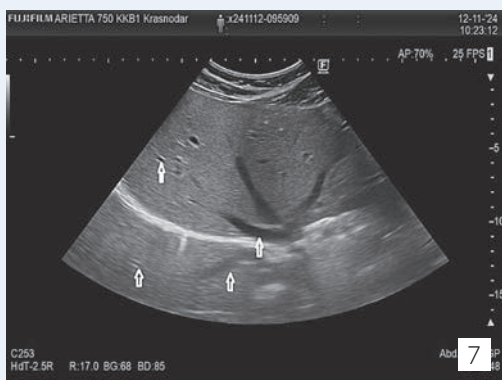
Высокоотражающие поверхности могут вызывать генерацию множественных отражений и преломлений луча [5]. «Зеркальный» артефакт похож на артефакт



5



6



7

Рис. 5. Множественные гиперэхогенные камни желчного пузыря с дистальной акустической тенью

Fig. 5. Multiple hyperechoic gallstones with distal acoustic shadow

Рис. 6. Анэхогенное поражение печени с тонкой гиперэхогенной стенкой с дистальным акустическим усилением, что подтверждает жидкостное содержимое и диагноз простой кисты печени.

Fig. 6. Anechoic liver lesion with a thin hyperechoic wall with distal acoustic enhancement, which confirms the fluid content and the diagnosis of a simple liver cyst.

Рис. 7. Зеркальный артефакт.

Fig. 7. Mirror image artifact.

реверберации, но дополнительное отражение обусловлено средами организма, например, когда есть сильный переход ткани/жидкости и диафрагма [7]. Как

результат, на экране артефакт выглядит как виртуальный объект в зеркале (рис. 7).

ВЫВОДЫ

Ультразвук – это мощный инструмент, который позволяет проникнуть сквозь ткани и на основании своих физических свойств изучить интересующую область с разных сторон. Зная физические аспекты

ультразвука, можно детально изучить определённую область, изменяя параметры ультразвука, угол падения луча, а также устранить/или же использовать некоторые артефакты.

ЛИТЕРАТУРА | REFERENCES

- de Nucci G., Gabbani T., Impellizzeri G. et al. Linear EUS Accuracy in Preoperative Staging of Gastric Cancer: A Retrospective Multicenter Study. *Diagnostics (Basel)*. 2023 May 25;13(11):1842. doi: 10.3390/diagnostics13111842.
- Zhukov S. [On piezoceramics and prospects for its application]. *Components and Technologies*. 2001. No. 10. (in Russ.) Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-piezokeramike-i-perspektivah-ee-primeneniya> accessed: 05.05.2025.
- Жуков С. О пьезокерамике и перспективах ее применения. Компоненты и Технологии. 2001. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-piezokeramike-i-perspektivah-ee-primeneniya>
- Curriculum for Fundamentals of Ultrasound in Clinical Practice. *J Ultrasound Med*. 2019 Aug;38(8):1937-1950. doi: 10.1002/jum.15090.
- AIUM Curriculum for Fundamentals of Ultrasound Physics and Instrumentation. *J Ultrasound Med*. 2019 Aug;38(8):1933-1935. doi: 10.1002/jum.15088.
- Manoop S. Bhutani, MD, John C. Deutsch, MD. Digital Human Anatomy and Endoscopic Ultrasonography. BC Decker Inc Hamilton-London. 2005, pp.13-19.
- Nechipai A.M., Orlov S. Yu., Fedorov U.D. EUSbook. Guide to Endoscopic Ultrasonography. (in Russ.) ISBN: 978-5-98811-240-2. ЭУСбука. Руководство по эндоскопической ультрасонографии. под редакцией Нечипая А.М., Орлова, С.Ю., Федорова У.Д. ISBN: 978-5-98811-240-2.
- Svein Qdegaard, Odd Helge Gilja, Hans Gregersen. Basic and new aspects of gastrointestinal ultrasonography. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2005. 19 P. doi: 10.1142/5540.