

История применения ультразвукового исследования в урологии

1

Никиль Вайнганкар и Брюс Р. Гилберт¹

Ультразвук — это упругие колебания и волны высокочастотной части акустического спектра, превышающей верхний порог восприятия у людей, который составляет 20 кГц. Этот физический феномен встречается в природе. Грызуны, собаки, моли, дельфины, киты, лягушки и летучие мыши используют его для различных целей, включая связь, уклонение от хищников и поиск добычи [1–4]. Лоренцо Спаллазани, итальянский биолог и физиолог XVIII в., был первым, кто получил экспериментальные доказательства существования звуковых волн, не воспринимаемых человеческим ухом. Кроме того, он предположил полезность ультразвука в своей работе с летучими мышами, показав, что они используют звук, а не зрение, чтобы найти насекомых и избежать препятствий во время полета; это было доказано в эксперименте, в котором он ослепил летучих мышей, но они смогли летать без затруднений, в то время как летучие мыши с залепленными воском ушами переставали

ориентироваться в пространстве. Позже он в эксперименте определил, что летучая мышь рода *Eptesicus fuscus* может воспринимать сигналы частотой от 2,5 до 100 кГц [5, 6]. Применение ультразвука человеком началось в 1880 г., когда братья Пьер и Жак Кюри обнаружили, что определенные кристаллы при механическом воздействии могут вырабатывать электрический ток [7].

В следующем году Габриэль Липпман показал обратный эффект, заключающийся в изменении формы кристаллов в электрическом поле [8]. Братья Кюри показали, что под воздействием переменного электрического тока кристаллы расширяются и сжимаются и создают высокочастотные звуковые волны, тем самым заложив основу для последующих работ по пьезоэлектрике. В 1894 г. Пьер Кюри встретил свою будущую жену, Марию, когда она пыталась найти способ измерить радиоактивность солей урана. Впоследствии они станут обладателями Нобелевской премии за работы по радиоактивности [9]. В качестве решения она взяла пьезоэлектрический кварцевый кристалл, скомбинировав его с ионизирующей камерой и квадратным электрометром. Это был первый случай использования пьезоэлектрического эффекта в исследовательских целях [10]. После крушения корабля «Титаник» в 1912 г. встал вопрос о создании устройств для эхолокации или использовании ультра-

¹ N. Waingankar, MD

North Shore-Long Island Jewish Health System,
The Arthur Smith Institute for Urology, New Hyde
Park, NY, USA

B.R. Gilbert, MD, PhD(✉)

Hofstra North Shore LIJ School of Medicine, The
Arthur Smith Institute for Urology, New Hyde
Park, NY, USA

e-mail: bgilbert@gmail.com

звука для выявления скрытых объектов. Работа усилилась через 2 года, с началом Первой мировой войны, поскольку подводный флот стал важной частью стратегических планов центральных держав и союзников. Канадский ученый Реджинальд Обри Фессенден, более известный по работам по передаче звука по радио и созданию электростанции на Ниагарском водопаде, создал эхолот. В течение 3 мес он разработал высокомогущный генератор, состоящий из 20-сантиметровых медных трубок, который был способен определять местоположение айсберга на расстоянии 2 миль от корабля и обнаруживаться подводным приемником, установленным на расстоянии 50 миль [11].

Современник Фессендена и студент Пьера Кюри, Поль Ланжевен, также интересовался использованием технологии ультразвука для обнаружения подлодок во время Первой мировой войны. Используя пьезоэлектрический эффект, он разработал ультразвуковой генератор, в котором частота изменяющегося поля соответствовала резонансной частоте кварцевых кристаллов. Этот резонанс способствовал генерации кристаллом механических волн, которые передавались через окружающую среду с частотой ультразвука и в последующем определялись этими же кристаллами [12, 13]. Так была представлена первая модель устройства, названного гидрофоном, которое мы сегодня знаем как сонар (звуковая навигация и определение дальности). Хотя имеются ограниченные данные по использованию гидрофона для потопления немецких подлодок, это устройство было крайне необходимым для союзников и стран нацистского блока во время Второй мировой войны [14].

В 1928 г. русский ученый Сергей Соколов в своих экспериментах в Ульянов-

ском электротехническом институте расширил область применения ультразвука. Используя дефектоскоп, Соколов направлял звуковые волны через металлические объекты, которые отражались на противоположной стороне и возвращались обратно к дефектоскопу. Он обнаружил, что дефекты в металле изменяют прогнозируемое направление звуковых волн. Соколов также предложил первую звуковую камеру, в которой можно было увидеть дефекты в металле в высоком разрешении. Тем не менее мощность была недостаточной для практического использования. В своих ранних экспериментах он описал то, что известно как метод прохождения [15]. Многими Соколов признается отцом ультразвуковой техники, за свои работы он был награжден Сталинской премией [13].

В 1936 г. немецкий ученый Раймар Польшман описал ультразвуковой метод визуализации, основанный на передаче волн через акустические линзы, с превращением звукового изображения в визуальное. Два года спустя Польшман стал первым, кто наблюдал терапевтический эффект при попадании ультразвука в ткани человека [16]. Австрийский невролог Карл Дюссик считается первым, кто использовал ультразвук в качестве метода диагностики. В 1940 г. в серии экспериментов он пытался картировать человеческий мозг и определить локализацию опухоли. Датчики устанавливали по обе стороны на голове пациента, которая была частично погружена в воду.

На частоте 1,2 МГц гиперфонография Дюссика позволила создать вентрикулограмму с низким разрешением [17]. Другие исследователи не смогли воспроизвести эти изображения, что привело к сомнениям в том, что это были истинные изображения желудочков головного мозга, а не акустические артефакты. Фи-

зик Массачусетского технологического института Баллантайн провел схожий эксперимент, показав, что пустой череп дает такие же изображения, которые получил Дюссик. Они пришли к выводу, что характер ослабления акустических волн, вызываемый черепом, приводит к получению изображений, которые Дюссик считал связанными с изменениями, вызванными желудочками. На основании этих данных комиссия США по атомной энергии пришла к выводу, что ультразвуковое исследование (УЗИ) не играет никакой роли в диагностике патологии головного мозга [18, 19].

В 1949 г. Джон Уайлд, хирург, который во время Второй мировой войны занимался лечением солдат со вздутием живота после взрывов, использовал ультразвуковое оборудование военной авиации для измерения толщины кишечника в качестве неинвазивного способа определения показаний к хирургическому вмешательству. Позднее он сравнил в А-режиме, или амплитудном режиме, нормальную и опухолевую ткань, показав, что ультразвук может играть роль в диагностике рака. Совместно с инженером Джоном Ридом Уайлд создал первый портативный эхограф для использования в больницах, а также разработал сканер для диагностики рака груди и толстой кишки с помощью импульсных волн, которые позволяли отображать локализацию и отражающую способность объекта в режиме, который позже будет описан как режим яркости, или просто В-режим [13, 20, 21].

Во время возвращения интереса к кардиохирургии после Второй мировой войны Инге Эдлер и Хеллмут Герц стали искать неинвазивные методы обнаружения митрального стеноза, заболевания, при котором результаты лечения были относительно плохими. Ис-

пользуя ультразвуковой рефлектоскоп и медленнодвигающуюся фотографическую пленку, разработанную Герцем, они смогли заснять движущиеся структуры в сердце. Метод получил название ультразвуковой кардиографии, и авторы представили первую эхокардиограмму, которая позволяла дифференцировать митральный стеноз от недостаточности митрального клапана и определять предсердные тромбы, миксомы и перикардальный выпот [22, 23] (рис. 1.1).

При поддержке Администрации ветеранов и службы здравоохранения США Холмс и соавт. описали применение ультразвука для исследования структуры мягких тканей с помощью ультразвуковых сонографов. Они использовали большую водяную баню, в которой сидел пациент, звуковой генератор, установленный на баке, и осциллограф, который показывал изображение. Сонограф позволил определить цирроз, кисту почки и дифференцировать вену, артерии и нервы шеи. Однако, как и их предшественники, они не смогли получить читаемые ультразвуковые изображения головного мозга [24].

Внедрение УЗИ в акушерство и гинекологию началось в 1954 г., когда Ян Дональд заинтересовался использованием А-режима, основанного на применении одного датчика для фиксации волн на экране как функции глубины. Он был один из первых, кто применил А-режим для дифференциации солидных и кистозных образований. Используя заимствованный дефектоскоп, он вначале обнаружил уникальные ультразвуковые характеристики двух типов образований. Работая с научно-исследовательским отделом компании по производству атомных реакторов, Ян Дональд возглавлял команду, которая разработала первый контактный сканер, и не-

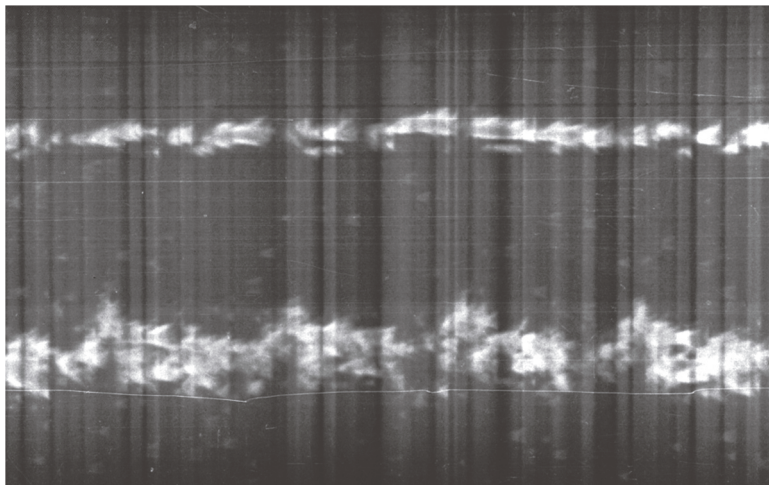


Рис. 1.1. Первый режим движения, или М-режим, основан на ультразвуковом определении движения структур сердца (из [23])

обходимость в большой водяной бане отпала. Устройство управлялось вручную и находилось в контакте с кожей, на которую наносили оливковое масло. С помощью ультразвука можно было достоверно и воспроизводимо дифференцировать образования брюшной полости, запечатленные на поляроидную пленку с открытым затвором.

Три года спустя Ян Дональд совместно со своей командой инженеров разработал метод определения расстояния по данным, полученным с электронно-лучевой трубки, который в последующем стали использовать для измерения головы плода [13, 25, 26].

История развития ультразвукового доплеровского исследования

В 1842 г. Кристиан Иоганн Допплер выдвинул гипотезу о том, что частота света, получаемого на расстоянии от не-

подвижного источника, отличается от испускаемой частоты, если источник движется [27]. Более чем через 100 лет этот принцип был применен к звуковым волнам доктором Сатомурой при исследовании движения клапанов сердца и пульсации периферических сосудов [28]. В 1958 г. в Сиэтле педиатр Рушмер с командой инженеров усовершенствовал технологию, предложив чрескожное непрерывное измерение волны и спектральный анализ периферических и экстракраниальных сосудов головного мозга [29]. Изображение в режиме реального времени, разработанное в 1962 г. Холмсом, создавалось по принципу смешивания, что позволило врачу двигать датчиком вокруг мишени для непрерывного получения информации. При распаде фосфора на экране отображался след от предыдущего положения датчика, позволяя визуализировать всю мишень [13]. Первый коммерчески доступный аппарат для сканирования в режиме реального времени был произве-

ден Siemens, и его впервые официально использовали для диагностики водянки плода [30, 31].

В 1964 г. Бернштейн и Каллахан впервые сообщили об использовании эффекта Допплера в акушерстве для ультразвукового определения движений сердца плода, тем самым заложив основу для непрерывного мониторинга плода [32]. В том же году Бушманн был первым, кто описал каротидную эхографию для диагностики тромбоза сонной артерии [33], хотя состоялась дискуссия о том, позволяет ли УЗИ определить бифуркацию сонной артерии и разделение на внутреннюю и наружную сонные артерии [34–37].

В 1966 г. Като и Изуми разработали доплеровское устройство направленного действия, с помощью которого можно было определить направление потока [31, 38]. В следующем году Маклауд в США опубликовал схожие результаты, используя фазовый сдвиг [31, 39]. К 1967 г. использование доплерографии распространилось по всей Европе, где постоянно-волновой ультразвук (который не позволяет получить точную пространственную локализацию) использовали для точной диагностики окклюзионных заболеваний артерий шеи и конечностей, тромбоза вен и недостаточности клапанов [40]. Спустя некоторое время импульсно-волновой доплер позволил выделять специфические сигналы в тканях, и эта функция быстро нашла клиническое применение для диагностики движения клапанов и дифференциальных показателей кровотока в сердце [41].

Добавление цветового картирования к ультразвуковому доплеровскому исследованию позволило в режиме реального времени определять характер кровотока [42]. В скором времени,

с появлением альтернативной формы доплеровского исследования, называемой энергетическим доплером, были преодолены ограничения цветового картирования, включая зависимость от угла и сложность оценки низкоскоростного кровотока. Этот режим, в отличие от стандартного картирования, дает возможность в сложных случаях подтвердить или исключить перекрут яичка или яичника и сосудистые тромбозы [43].

В 1989 г. Баба и соавт. сообщили о создании первого трехмерного ультразвукового изображения. С помощью линейного или конвексного датчика они могли в режиме реального времени получать пространственные данные с ультразвукового устройства, которое было соединено с микрокомпьютером, создававшим трехмерное изображение. Авторы предположили, что эта система будет идеально подходить для скрининга аномалий и патологии внутриутробного развития [43].

После разработки Олафом фон Раммом трехмерного ультразвукового аппарата Шейх и соавт. опубликовали первый опыт трехмерного построения изображения в режиме реального времени и представили свои данные в США в 1991 г. Это нашло применение в кардиологии для оценки кровоснабжения и функции желудочков [44].

История ультразвукового исследования в урологии

Предстательная железа

В 1963 г. японские урологи Такахаши и Оучи впервые выполнили УЗИ предстательной железы. Изображение было нечитаемым по качеству, поэтому носило ограниченную пользу [45]. Вильд

и Дейд также пытались выполнить трансректальное УЗИ (ТРУЗИ), но получили такие же результаты. Прогресс наступил после работ Ватанабэ и соавт., которые представили радиальное сканирование, позволяющее с хорошим разрешением визуализировать патологию предстательной железы и мочевого пузыря. Используя специальный аппарат, созданный на основе музейной скульптуры «магический стул», Ватанабэ усаживал пациента на стул с отверстием посередине и через него вводил датчик в прямую кишку [46]. Изображения, полученные с датчика Ватанабэ, представлены ниже; на рис. 1.2, б [область симметричной эхогенности по периферии, представляющая доброкачественную гиперплазию предстательной

железы (ДГПЖ)] и рис. 1.2, в (асимметричная зона гиперэхогенности, соответствующая раку предстательной железы) видно, что разрешение было низкого качества с очень высокой контрастностью. Последующее появление бипланового высокочастотного датчика позволило получить более высокое разрешение и сделать ТРУЗИ стандартом диагностики заболеваний предстательной железы (рис. 1.2, а–в).

В 1974 г. Холм и Норзвед создали трансуретральный ультразвуковой датчик, который был взаимозаменяем со стандартной оптикой и позволял во время цистоскопии визуализировать пред-

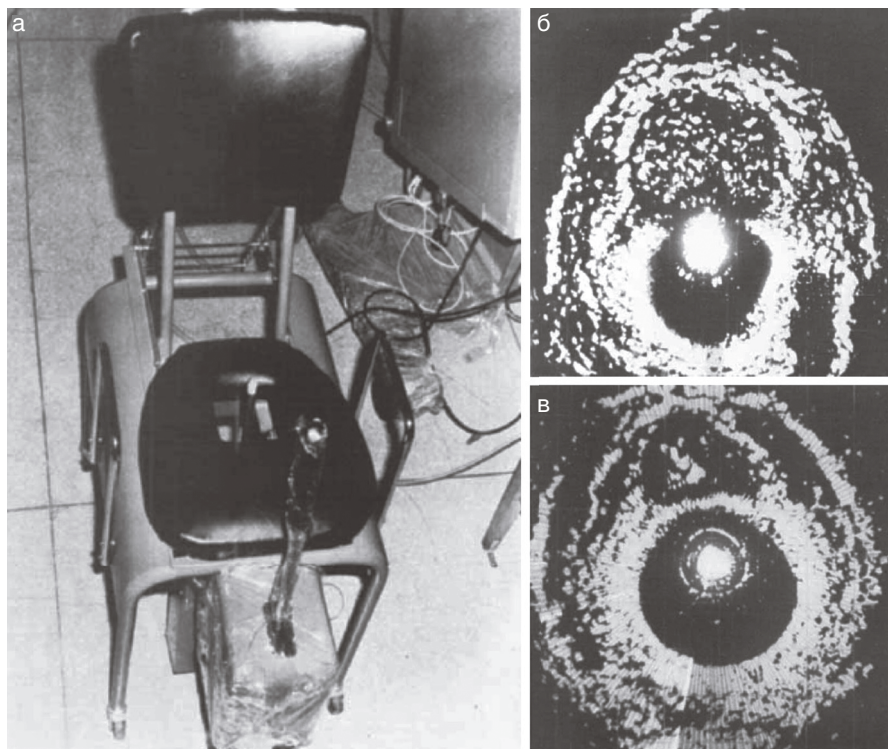


Рис. 1.2. а — стул Ватанабэ; б — пациент с доброкачественной гиперплазией предстательной железы; в — рак предстательной железы (материал воспроизведен с разрешения John Wiley & Sons, Inc. Watanabe H. и соавт. Development and application of new equipment for transrectal ultrasonography // J. Clin. Ultrasound, 1974. Vol. 2(2). P. 91–98. Copyright 1957 John Wiley & Sons, Inc)