ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие к изданию на русском языке 6
Предисловия к изданию на английском языке 7
Участники издания 9
Список сокращений и условных обозначений 11
Введение 12

Глава 1. Начало работы: физика ультразвука и формирование изображений 13
Севан Харпут, Сяовэй Чжоу, Мэн-Син Тан

Глава 2. Кнопология и терминология 36
Адриан К.П. Лим

Глава 3. Нормальная анатомия печени: как провести ультразвуковое исследование печени 41
Адриан К.П. Лим, Ивица Гргуревич, Маттео Росселли

Глава 4. Введение в ультразвуковое исследование с контрастным усилением 67
Адриан К.П. Лим, Крис Дж. Харви, Маттео Росселли

Глава 5. Очаговые поражения печени — характеристика и способы выявления 71
Крис Дж. Харви, Адриан К. П. Лим, Маттео Росселли

Глава 6. Ультразвуковое исследование желчевыводящей системы 98
Маттео Росселли, Майя Радзин, Адриан К.П. Лим

Глава 7. Тропические инфекции печени 123
Том Хеллер, Микаэла А.М. Хасон, Франческа Тамароцци

Глава 8. Ультразвуковое исследование при хронических заболеваниях печени 141
Маттео Росселли, Давиде Роккарина, Ивица Гргуревич

Глава 9. Эластография сдвиговой волной при заболеваниях печени: часть 1 172
Джованна Феррайоли

Глава 9. Эластография сдвиговой волной при заболеваниях печени: часть 2 182
Маттео Росселли, Иоан Спорей, Джованна Феррайоли

Глава 10. Ультразвуковое исследование печени у детей 211
Андреас Панайоту, Мария Э. Селларс, Аннамария Деганелло

Глава 11. Ультразвуковое исследование при сосудистых заболеваниях печени 229
М. Анхелес Гарсия-Криадо, Аннализа Берзиготти

Глава 12. Фокусированное ультразвуковое исследование при заболеваниях печени 245
Маттео Росселли, Роберт Де Кнегт

Глава 13. Трансплантация печени 276
Томас Путтик, Пол С. Сидху

Глава 14. Ультразвуковое исследование при вмешательстве на гепатобилиарной системе 286
Неерал Р. Патель, Джеймс П.Ф. Берн, Али Альсафи

Глава 15. Передовые ультразвуковые технологии 300
Адриан К.П. Лим, Джеймс П.Ф. Берн, Кэролайн Эвертсен

Предметный указатель 307

ПРЕДИСЛОВИЕ К ИЗДАНИЮ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

В эпоху стремительного развития медицинских технологий ультразвуковая диагностика занимает особое место среди методов визуализации. Эта книга представляет собой результат многолетней работы ведущих специалистов в области гепатологии и ультразвуковой диагностики, объединивших свои знания для создания исчерпывающего руководства.

Современный этап развития ультразвуковой диагностики характеризуется не только совершенствованием технических возможностей аппаратов, но и появлением новых методик исследования, позволяющих получать максимально полную информацию о состоянии печени. Эластография и контрастное усиление — эти и многие другие технологии открывают новые горизонты в диагностике заболеваний печени.

Уникальность данного издания заключается в его практикоориентированности. Авторы сумели гармонично соединить фундаментальные знания с современными клиническими рекомендациями, представив материал в доступной и структурированной форме. Особое внимание уделено алгоритмам дифференциальной диагностики, что делает книгу незаменимым помощником как для начинающих специалистов, так и для опытных коллег.

Неинвазивность, безопасность и доступность ультразвукового метода делают его приоритетным выбором при обследовании пациентов с подозрением на заболевания печени. При этом книга не ограничивается описанием технических аспектов, а предлагает целостный подход к интерпретации полученных данных в контексте клинической картины.

Издание будет особенно полезно специалистам по ультразвуковой диагностике, гастроэнтерологам, гепатологам и хирургам, стремящимся расширить свои профессиональные компетенции в области визуализации патологии печени. Представленные в книге алгоритмы и практические рекомендации помогут оптимизировать диагностический процесс и повысить качество оказания медицинской помощи пациентам.

Уверена, что данное руководство станет надежным путеводителем в мире ультразвуковой диагностики печени и поможет читателям достичь новых высот в профессиональном мастерстве.

Ветшева Наталья Николаевна,
доктор медицинских наук, доцент,
заведующая кафедрой ультразвуковой диагностики
ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова»
Минздрава России (Сеченовский Университет)

ПРЕДИСЛОВИЯ К ИЗДАНИЮ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Мне доставляет огромное удовольствие писать предисловие к этой уникальной книге. Команда экспертов, состоящая из энтузиастов, тщательно изучила каждый практический аспект этой сложной и узкоспециализированной области медицинской визуализации. В результате они создали легкодоступное руководство, которое может стать незаменимым инструментом для всех интересующихся данной темой.

Профессор Адриан К.П. Лим — выдающийся специалист в области медицинской визуализации, который много лет работает в Имперском колледже Лондона. Он известен своими инновационными подходами к ультразвуковым исследованиям, которые значительно улучшают визуализацию и помогают отличить доброкачественные образования от злокачественных.

Доктор Маттео Росселли — не менее талантливый специалист, посвятивший много времени изучению печени и пищеварительной системы в Институте здоровья печени и пищеварительной системы при Университетском колледже Лондона. Вместе с профессором Адрианом К.П. Лимом он организовал международный курс по ультразвуковым исследованиям в гепатологии, который проходил в Королевской клинической больнице в Лондоне. Этот курс предоставил участникам уникальную возможность получить практический опыт в области ультразвуковой диагностики печени.

Именно такой практический подход к обучению и решению проблем стал основой этой понятной и доступной книги. Как гепатолог, который на протяжении многих лет черпал знания из опыта профессора Адриана К.П. Лима и доктора Маттео Росселли, давая важные диагностические рекомендации множеству пациентов, я рад видеть, что их опыт теперь доступен более широкой аудитории.

Саймон Тейлор-Робинсон,
профессор трансляционной медицины
Имперского колледжа Лондона

* * *

Адриан К.П. Лим и Маттео Росселли — настоящие эксперты в области ультразвукового исследования печени. Они успешно сочетают навыки клинического рентгенолога с опытом практикующего гепатолога в этой сфере. Их совместная работа имеет огромное значение в повседневной практике лечения пациентов с заболеваниями печени.

Адриан К.П. Лим и Маттео Росселли являются не только высококвалифицированными специалистами в области ультразвуковой диагностики печени, но и, как продемонстрировано в этой книге, выдающимися преподавателями по этому направлению, способными обучать студентов на мировом уровне. Более 30 лет я работаю клиническим гепатологом в Лондонской больнице Святой Марии и преподаю гепатологию в Имперском колледже. За это время я стал свидетелем и оценил, как развивается ультразвуковое исследование печени и как оно становится все более важным инструментом в диагностике заболеваний печени. Большинство гепатологов, как правило, имеют гастроэнтерологическое образование и хорошо разбираются в эндоскопических методах диагностики. Однако, когда речь заходит об ультразвуковой диагностике, многие гепатологи испытывают трудности. К сожалению, лишь немногие из них владеют навыками проведения ультразвукового исследования, что не позволяет им в полной мере оценить все возможности этого незаменимого диагностического метода.

Данная книга призвана исправить этот недостаток. Она поможет специалистам, которые только начинают свой путь в ультразвуковой диагностике, освоить этот важный навык и понять, как он может изменить их подход к лечению пациентов с заболеваниями печени. Хотя овладеть таким сложным навыком, как ультразвуковое исследование, без наставничества и обучения невозможно, книга Адриана К.П. Лима и Маттео Росселли «Ультразвуковое исследование печени» предоставляет всю необходимую информацию для начала работы в этой области. Первые несколько глав посвящены основам физики ультразвука, анатомии печени и, конечно же, устройству ультразвукового аппарата, или, как его называют в народе, «кнопологии»[1]. Последующие главы рассказывают о распространенных и, в некоторых случаях, довольно редких причинах заболеваний печени, уделяя особое внимание очаговым поражениям, заболеваниям желчных путей, сосудистым заболеваниям и ультразвуковым исследованиям при хронических заболеваниях печени.

В этой книге также описаны относительно новые разработки в области ультразвуковой диагностики, такие как эластография сдвиговой волной для оценки фиброза печени и ультразвуковое исследование с контрастным усилением для выявления очаговых

[1] Прим. науч. ред.: термин «кнопология» можно перевести как «наука о кнопках». Он образован от английских слов knob — «кнопка» и -logia — наука. Речь идет о кнопках и настройках ультразвукового аппарата, которые помогают получить более качественное изображение.

изменений. Практическая направленность этой книги прекрасно раскрывается в главе, посвященной методам интервенционной радиологии. В этой главе вы найдете руководство по ведению пациентов с коагулопатией, которые нуждаются в инвазивных процедурах. Это тема, которая часто становится источником разногласий между рентгенологами и гепатологами.

Я бы настоятельно рекомендовал эту книгу всем начинающим специалистам. Она действительно является незаменимым источником знаний для тех, кто планирует освоить УЗИ печени. Кроме того, она обязательно должна быть включена в пакет руководств для начинающих радиологов[1].

Я мечтаю о том времени, когда все специалисты, занимающиеся диагностикой патологии печени, смогут проводить ультразвуковое исследование печени на высоком профессиональном уровне. Эта книга может стать одним из ключевых факторов, способствующих данному процессу.

Марк Терс,
профессор гепатологии и заведующий
кафедрой медицинского факультета
отделения метаболических, обменных
и репродуктивных нарушений
Имперского колледжа Лондона, Великобритания

* * *

С искренней радостью представляю вам книгу, посвященную ультразвуковому исследованию печени, созданную под руководством Адриана К.П. Лима и Маттео Росселли. В этом томе собраны главы, охватывающие широкий спектр тем — от основ физических принципов медицинского ультразвука до самых современных рекомендаций по применению этого метода в клинической практике при лечении заболеваний печени.

С момента обучения в качестве клинического гепатолога я стал свидетелем стремительного прогресса в области ультразвуковых исследований. Этот инструмент, который когда-то был всего лишь вспомогательным средством, сегодня стал неотъемлемой частью ежедневной клинической практики.

Новейшие достижения, такие как эластография для оценки фиброза ткани печени и контрастные вещества для выявления характера поражений, сделали ультразвуковое исследование надежным и универсальным диагностическим инструментом в гепатологии.

Идея этой книги возникла благодаря серии успешных международных семинаров по ультразвуковому исследованию печени, которые проводились в Королевской клинической больнице в Лондоне на протяжении последних десяти лет. Цель книги — предоставить всем, кто хочет освоить навыки ультразвукового исследования печени, соответствующее клиническое пособие — иллюстрированное и доступное руководство.

Книга предназначена для рентгенологов и врачей ультразвуковой диагностики, но также полезна для стажеров в области гепатологии и гепатологов. Они смогут шире применять ультразвуковые методики в своей практике, что значительно обогатит их профессиональные возможности.

В заключение я хочу выразить искреннее восхищение этой книгой и пожелать огромных успехов всем, кто стремится стать экспертом в использовании данной технологии.

Массимо Пинзани,
профессор, доктор медицины,
доктор философских наук,
член Королевской коллегии врачей-терапевтов,
член Американской ассоциации
исследований заболеваний печени,
магистр прикладной эпидемиологии,
заведующий кафедрой гепатологии
имени Шейлы Шерлок
Университетского колледжа Лондона,
Королевской бесплатной больницы

[1] Прим. науч. ред.: учитывая особенности организации медицинской помощи в разных странах, в том числе учитывая профиль специалистов, которые могут проводить ультразвуковые исследования в РФ, следует рассматривать данное практическое руководство в первую очередь для врачей ультразвуковой диагностики.

ВВЕДЕНИЕ

Идея создания этой книги возникла после серии семинаров, которые мы провели вместе. Мы осознали, что многие врачи и медицинские работники из смежных областей хотели бы научиться проводить ультразвуковое (УЗ) сканирование печени. Хотя большинство из нас учатся у наставников и на практике, основные «советы и хитрости» редко формулируются в виде письменных рекомендаций. Обычно они передаются из уст в уста, от поколения к поколению. Поскольку ультразвуковое исследование (УЗИ) стало современным «стетоскопом», первоначальной целью этой книги было предоставить «все, что вам нужно знать» об УЗ-сканировании печени, от базовых до высококвалифицированной практики. По мере развития глав книга превратилась из относительно простой, среднего уровня в издание, охватывающее широкий спектр заболеваний.

Наши уважаемые соавторы и участники монографии также поделились своими глубокими знаниями о различных аспектах патологии печени, ее клинической истории и методах применения новейших технологий. В целом эта книга стала настоящим настольным руководством для начинающих специалистов, которое можно взять с собой в путешествие, командировку или на работу. В ней представлена информация как о распространенных, так и о довольно редких заболеваниях печени. Мы надеемся, что книга станет источником информации для современных и будущих специалистов, которые применяют УЗИ печени в своей повседневной практике.

Хотим выразить благодарность также всем нашим бывшим, настоящим и будущим коллегам и студентам. Спасибо вам за то, что вы делились знаниями, помогали и вдохновляли нас на написание этого труда!

Адриан К.П. Лим и ***Маттео Росселли***

ГЛАВА 9. ЭЛАСТОГРАФИЯ СДВИГОВОЙ ВОЛНОЙ ПРИ ЗАБОЛЕВАНИЯХ ПЕЧЕНИ: ЧАСТЬ 1

Джованна Феррайоли[1]

[1] Department of Clinical, Surgical, Diagnostic and Pediatric Sciences, University of Pavia, Pavia, Italy

ВВЕДЕНИЕ В ЭЛАСТОГРАФИЮ ПЕЧЕНИ И РАЗЛИЧНЫЕ МЕТОДЫ ЭЛАСТОГРАФИИ

Фиброз печени представляет собой общее явление, вызывающее ряд хронических заболеваний этого органа. Оценка степени фиброза печени имеет ключевое значение для прогнозирования состояния пациентов и определения необходимого лечения. Методы эластографии предоставляют возможность неинвазивного исследования эластичности мягких тканей, измеряя их поведение при механическом воздействии. Эластичность является неотъемлемой характеристикой каждой ткани, включая печень. В результате фиброза печень становится более жесткой, и существует тесная связь между этой жесткостью и стадией фиброза.

Многочисленные исследования и метаанализы доказали эффективность методов ARFI в определении стадии фиброза печени. Эти методы постепенно заменяют биопсию печени в клинической практике. Руководящие принципы допускают, что в некоторых случаях ARFI может быть использована вместо биопсии печени для оценки тяжести фиброза.

Эластография позволяет оценить биомеханические свойства ткани. При нагрузке более жесткие ткани демонстрируют меньшее продольное смещение и более высокую скорость поперечного смещения. УЗИ в В-режиме, в свою очередь, предоставляет информацию об акустических свойствах ткани. Таким образом, УЗИ в В-режиме и эластография предоставляют различные, но взаимодополняющие данные о состоянии печени.

Термин ARFI включает в себя все методы, основанные на оценке скорости сдвиговой волны [1]. Смещение сдвиговой волны генерируется: 1) внешним механическим напряжением, например, при транзиентной эластографии, которая выполняется с помощью специальной системы FibroScan® (Echosens, Париж, Франция), или при магнитно-резонансной эластографии; или 2) с использованием толкающего импульса сфокусированного УЗ-луча, как в методах, основанных на методе акустической лучевой импульсной визуализации, интегрированных в стандартные УЗ-системы.

Сдвиговые волны распространяются со скоростью от 1 до 10 м/с в зависимости от жесткости ткани: в более жестких тканях они распространяются быстрее [2, 3].

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ЭЛАСТОГРАФИИ СДВИГОВОЙ ВОЛНОЙ

ARFI основана на генерации сдвиговых волн, определяемых смещением ткани, вызванным транзиентной эластографией или ARFI.

Транзиентная эластография

Транзиентная эластография проводится с использованием специализированного устройства — фиброскана (FibroScan). С помощью датчика через печень передаются низкочастотные колебания небольшой амплитуды (50 Гц), что вызывает упругую сдвиговую волну, которая распространяется в нижележащих тканях. Фиброскан не является УЗ-аппаратом, работающим в реальном времени. Однако А-режим и режим движения во времени используются для определения области паренхимы печени, в которой проводятся измерения, и для контроля скорости распространения сдвиговой волны (**рис. 9.1**). Для отслеживания движения поперечной волны и измерения ее скорости [4] применяют УЗ-сигналы с импульсным эхо. Разработано программное обеспечение для количественной оценки стеатоза печени, которое доступно в устройствах нового поколения FibroScan. Контролируемый параметр затухания основан на свойствах УЗ-сигналов, получаемых с помощью FibroScan, и на гипотезе о том, что жир влияет на распространение ультразвука. Оценка контролируемого параметра затухания

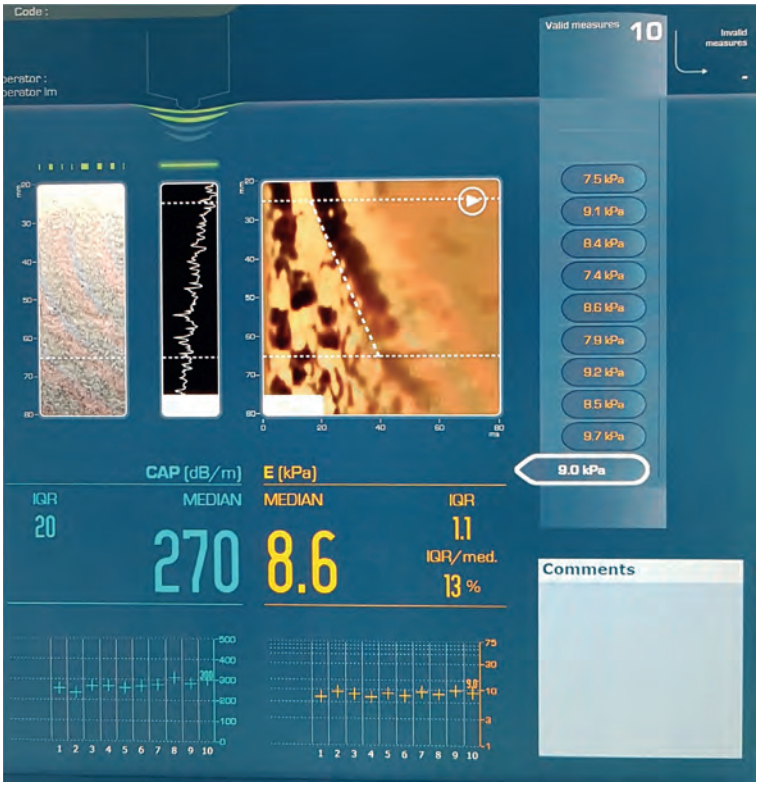


Рис. 9.1. Показания транзиентной эластографии (FibroScan 502 Touch®, Echosens, Париж, Франция). На мониторе отображаются все результаты измерений. Система автоматически отфильтровывает неверные измерения, и их количество, если таковое имеется, отображается в правом верхнем углу. Медианное значение результатов измерений (в кПа) отображается вместе с соотношением межквартильное/медианное (соотношение IQR/M). Система также определяет ослабление ультразвукового луча в дБ/м с помощью специального алгоритма (контролируемый параметр ослабления). Медианное значение контролируемого параметра затухания отображается вместе с IQR. Над показаниями слева направо: ТМ-режим, А-режим и скорость распространения сдвиговой волны, представленные в виде графика расстояния–времени

осуществляется с использованием тех же радиочастотных данных и исследуемой области, которые применяются для измерения жесткости печени.

Эластография сдвиговой волной

В методах, основанных на ARFI, динамическое напряжение создается с помощью кратковременных акустических воздействий (толкающих импульсов). Это вызывает локальные смещения в глубине ткани; генерируемые сдвиговые волны отслеживаются, и оценивается их скорость, а значит, эластичность ткани. УЗ-лучи, предназначенные для создания измеримого смещения с помощью силы акустического излучения, имеют более длительные импульсы (50–1000 мкс), способные вызывать смещения тканей на микронном уровне [2, 3]. Сдвиговые волны — это поперечные волны, движущиеся перпендикулярно направлению силы, которая их породила; то есть перпендикулярно направлению УЗ-луча. В мягких тканях поперечные волны распространяются со скоростью в 1000 раз медленнее скорости звука и очень быстро затухают.

Скорость сдвиговой волны может быть измерена в небольшой области интереса, как при точечной сдвигововолновой эластографии. В-режим используют для выбора области паренхимы печени, в которой будет выполнено измерение (**рис. 9.2–9.6**). С помощью двухмерной ARFI количественные изображения скорости сдвиговой волны (или жесткости) с большей областью интересов получаются путем размещения фокуса акустической лучевой импульсной визуализации в нескольких последовательных точках и определения времени прихода сдвиговой волны в каждой из нескольких боковых точек [2, 3]. Создается изображение, представляющее собой цветовую карту скорости сдвиговой волны. Затем внутри области интересов устанавливается измерительный блок для получения значений скорости сдвиговой волны/жесткости (**рис. 9.7–9.12**).

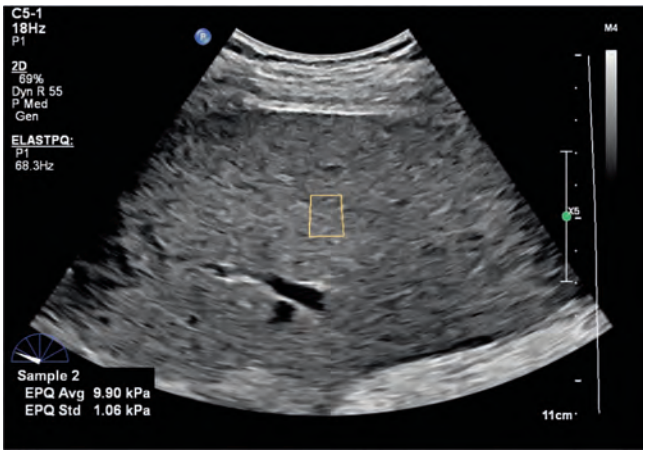


Рис. 9.2. Точечная эластография сдвиговой волной (ElastPQ®, ультразвуковая система EPIQ Elite, Philips Healthcare, Эйндховен, Нидерланды). Исследуемая область (желтый прямоугольник) имеет фиксированный размер. Среднее значение последовательностей двухфазных треков указано вместе со стандартным отклонением. Значение стандартного отклонения ≤30% от среднего значения указывает на хорошее качество снимка. Если отношение сигнал/шум при съемке очень низкое, среднее значение не отображается

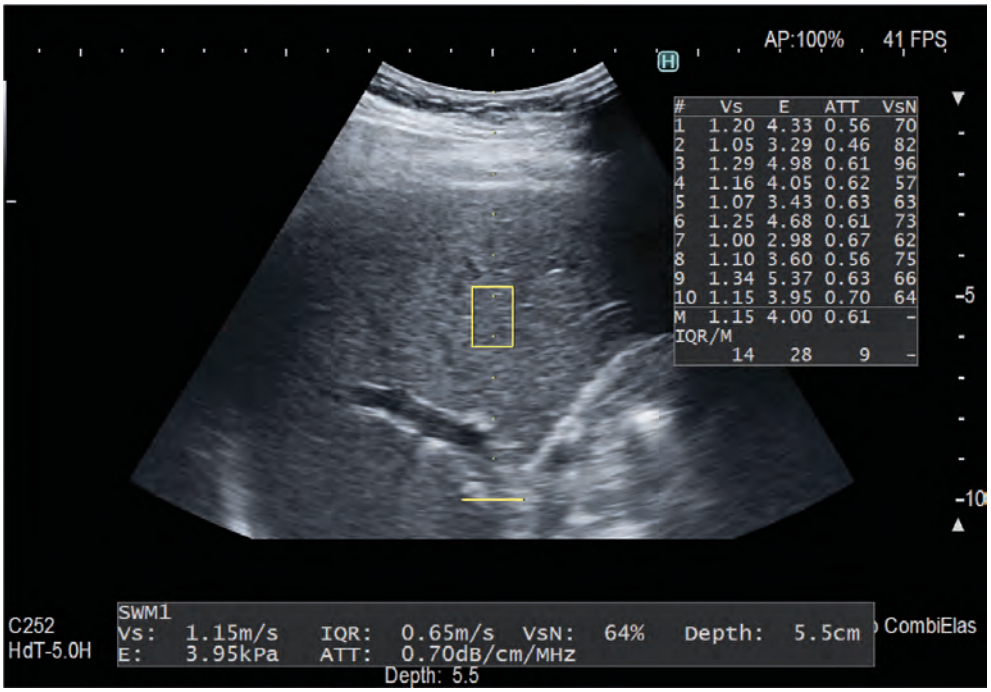


Рис. 9.3. Точечная эластография сдвиговой волной (SWM®, ультразвуковая система Arietta 850, Hitachi, Токио, Япония). Исследуемая область (желтый прямоугольник) имеет фиксированный размер. Все измерения и итоговый протокол с медианным значением и отношением интерквартиль/медиана (IQR/M) параметров отображаются непосредственно на изображении (или в отдельном отчете). VsN — это индекс надежности, который показывает процент эффективных последовательностей нажатия кнопки. Если отношение сигнал/шум при получении данных очень низкое, среднее значение не отображается. Система одновременно измеряет затухание ультразвукового луча в дБ/см/МГц с помощью запатентованного алгоритма (коэффициент затухания)

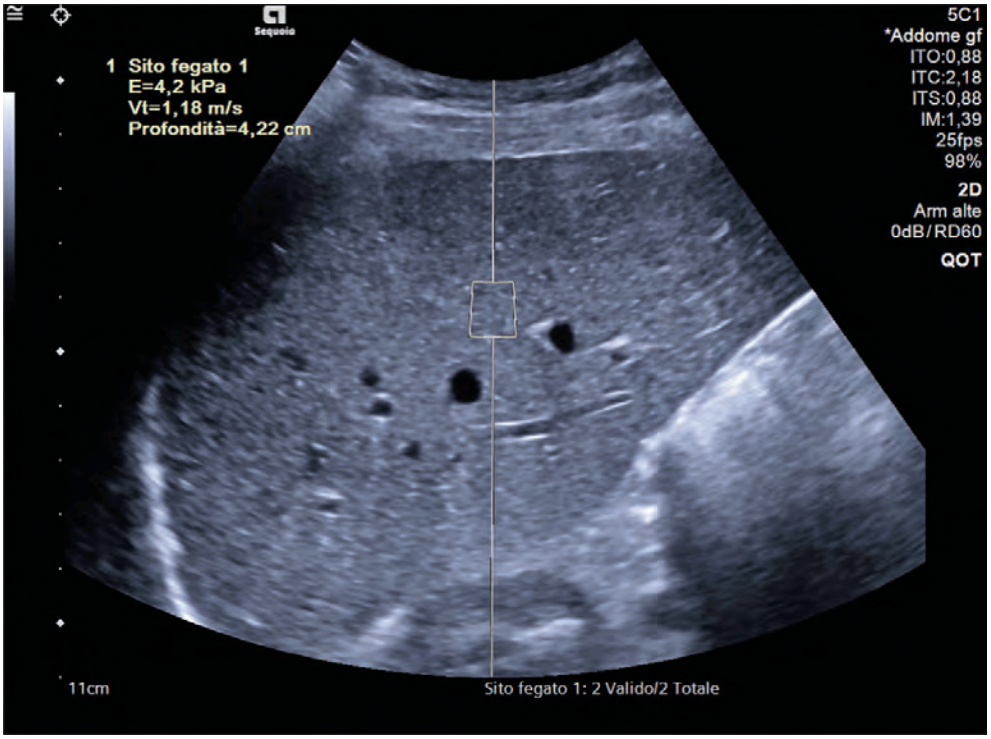


Рис. 9.4. Точечная эластография сдвиговой волной (VTQ®, ультразвуковая система Sequoia, Siemens Healthineers, Эрланген, Германия). Область исследования (белый прямоугольник) имеет фиксированный размер. Система автоматически отфильтровывает неудовлетворительные результаты измерений. В этих случаях численное значение скорости сдвиговой волны заменяется последовательностью XXX

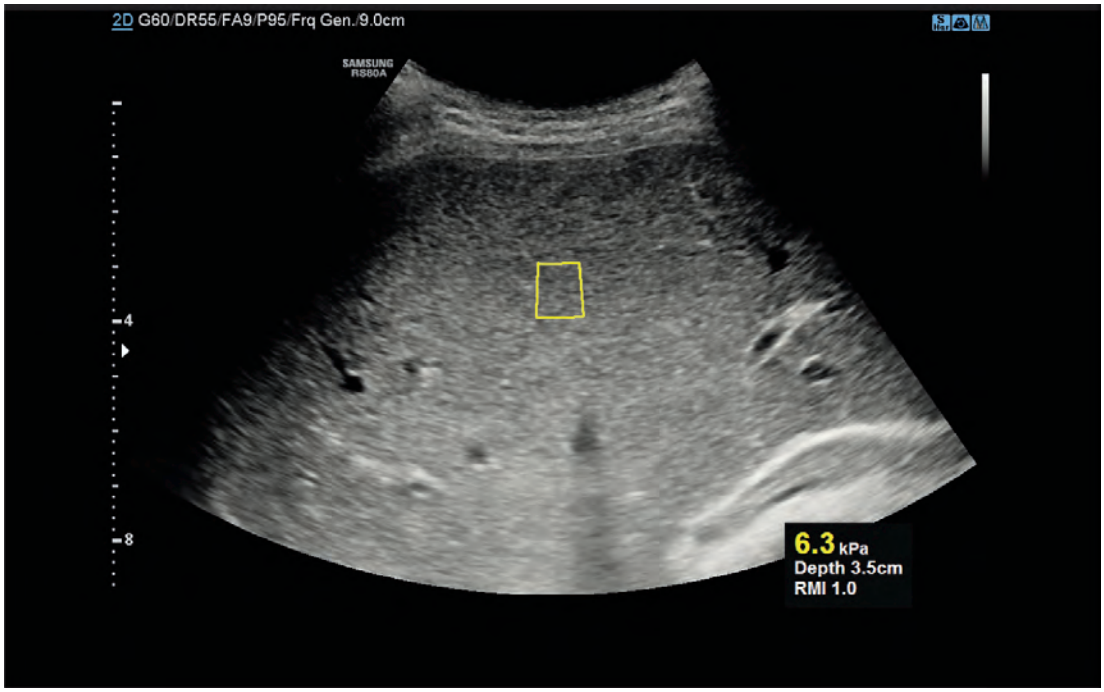


Рис. 9.5. Точечная эластография сдвиговой волной (S-Shear wave®, ультразвуковая система RS80A, Samsung Medison, Канвондо, Южная Корея). Исследуемая область (желтый прямоугольник) имеет фиксированный размер. Качество каждого измерения оценивается с помощью индекса производительности, индекса измерения надежности, который рассчитывается как взвешенная сумма остатка волнового уравнения и величины поперечной волны. *Источник*: Воспроизведено с разрешения Prof Vito Cantisani

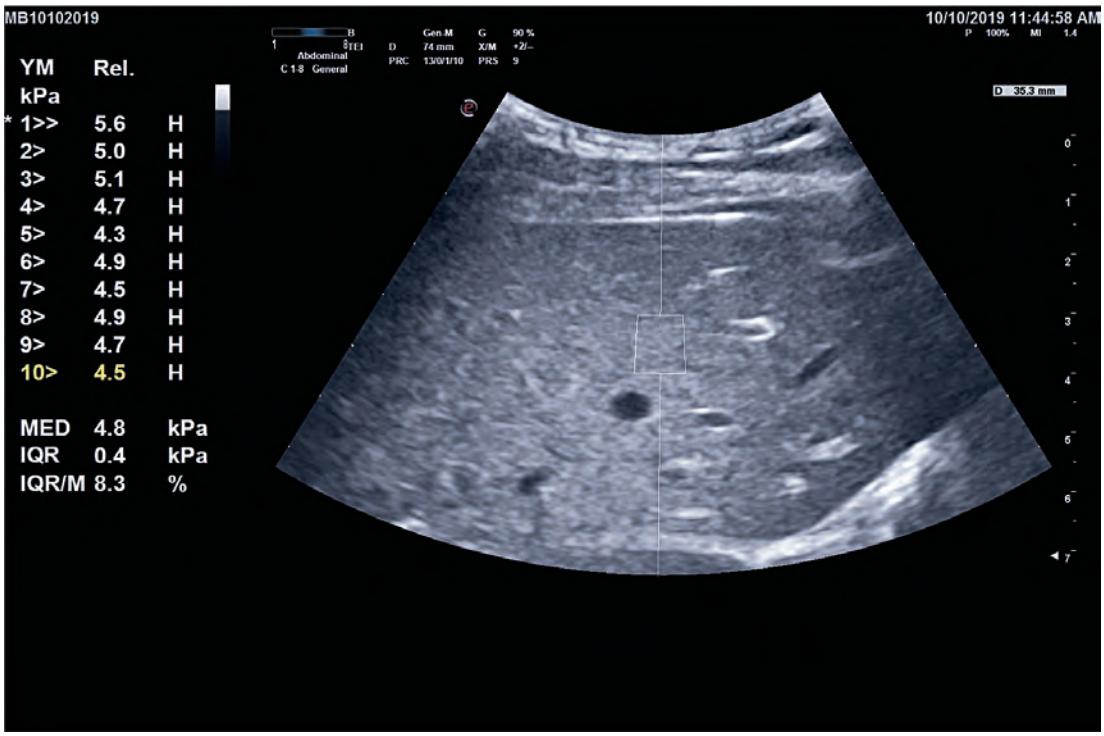


Рис. 9.6. Точечная эластография сдвиговой волной (QElaXto®, ультразвуковая система MyLab™9, Esaote, Генуя, Италия). Исследуемая область (белый прямоугольник) имеет фиксированный размер. Качество каждого измерения оценивается с помощью индекса надежности, который отображается вместе с каждым значением жесткости буквой H, M или L в алфавитном порядке, указывающей на высокое, среднее или низкое качество сбора данных

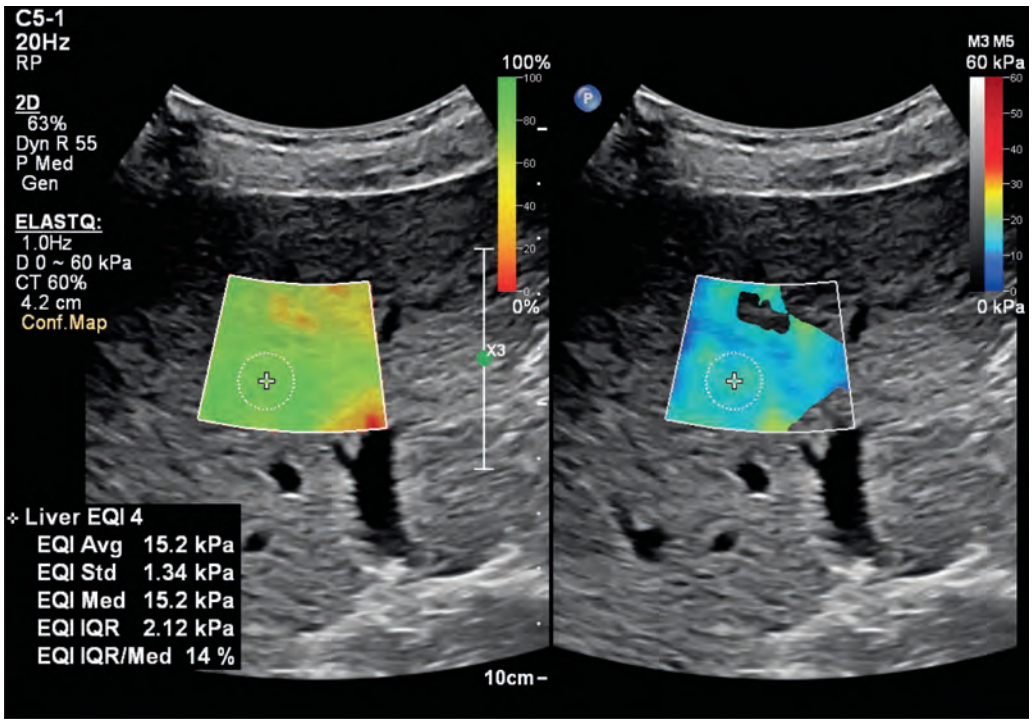


Рис. 9.7. Двухмерная эластография сдвиговой волной (EQI®, ультразвуковая система EPIQ Elite, Philips Healthcare, Эйндховен, Нидерланды). Цветовое изображение жесткости печени (*справа*) и карта достоверности (*слева*) в большой и изменяемой области, представляющей интерес. Цветовая карта достоверности представляет собой оценку качества полученных сигналов. Порог достоверности установлен на уровне 60%: области низкого качества (*красные и желтые*) отфильтровываются и остаются пустыми на цветовом изображении для оценки жесткости печени (*справа*); желтый цвет на карте достоверности является предупреждением, указывающим на то, что получение данных в этой области не является наиболее эффективным и может быть отфильтровано, как на этом изображении

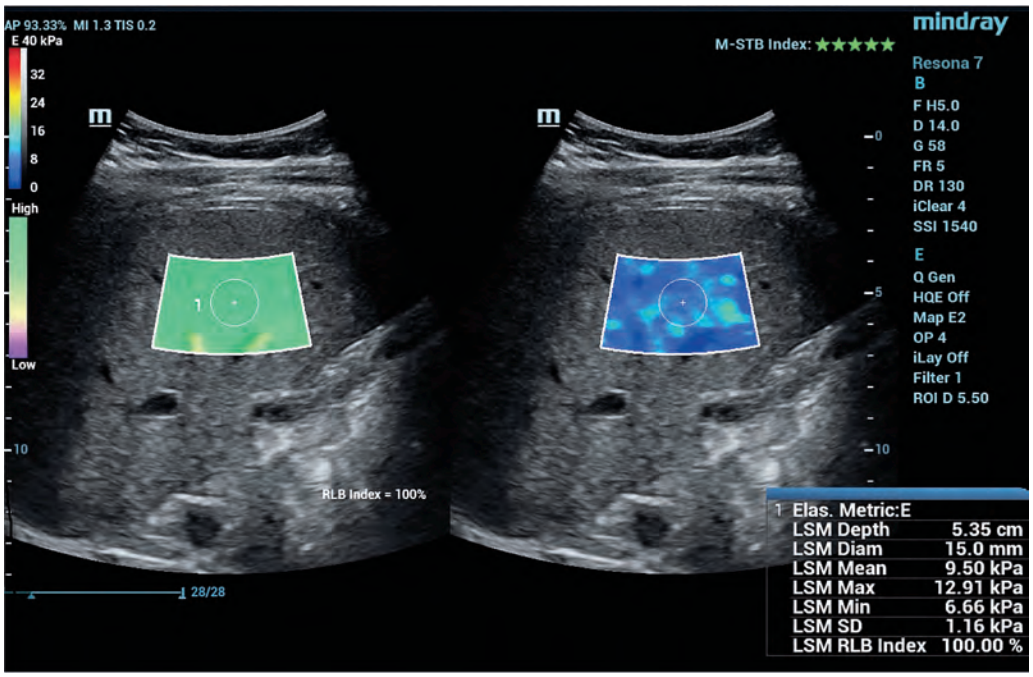


Рис. 9.8. Двухмерная эластография сдвиговой волной (STE®, ультразвуковая система Resona 7, Mindray Medical Systems, Шэньчжэнь, Китай). Приведены два критерия качества. Индекс стабильности движения (правая верхняя часть изображения) обозначен звездочками: наивысшая стабильность полученного изображения эластичности обозначена пятью зелеными звездочками, в то время как красные звездочки указывают на движение. Карта надежности (слева) меняется от фиолетового, что указывает на низкую надежность, до зеленого, что указывает на самую высокую надежность. Индекс стабильности движения — это рекомендации по выбору наиболее стабильного изображения в кинопетле, в то время как карта надежности — это рекомендации по размещению измерительной рамки (круга)

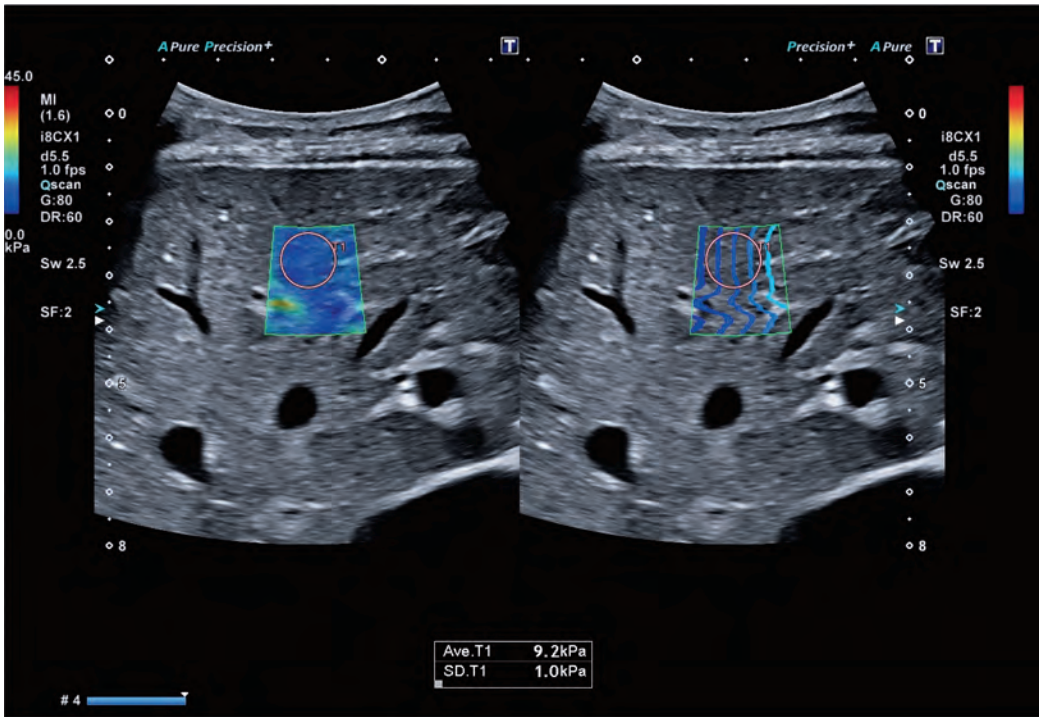


Рис. 9.9. Двухмерная эластография сдвиговой волной (ультразвуковая система серии Aplio i800, Canon Medical Systems, Тотиги, Япония). Система отфильтровывает значения с низким отношением сигнал/шум, и эти области остаются пустыми. Система имеет собственный параметр качества: карта распространения (*справа*). Цветовая карта и карта распространения отображаются рядом на экране. Правильная карта распространения отображается параллельными линиями с постоянными интервалами между линиями. Если эти критерии не выполняются, надежность полученных данных низкая. Карта распространения является руководством для размещения измерительного поля (*круг*)

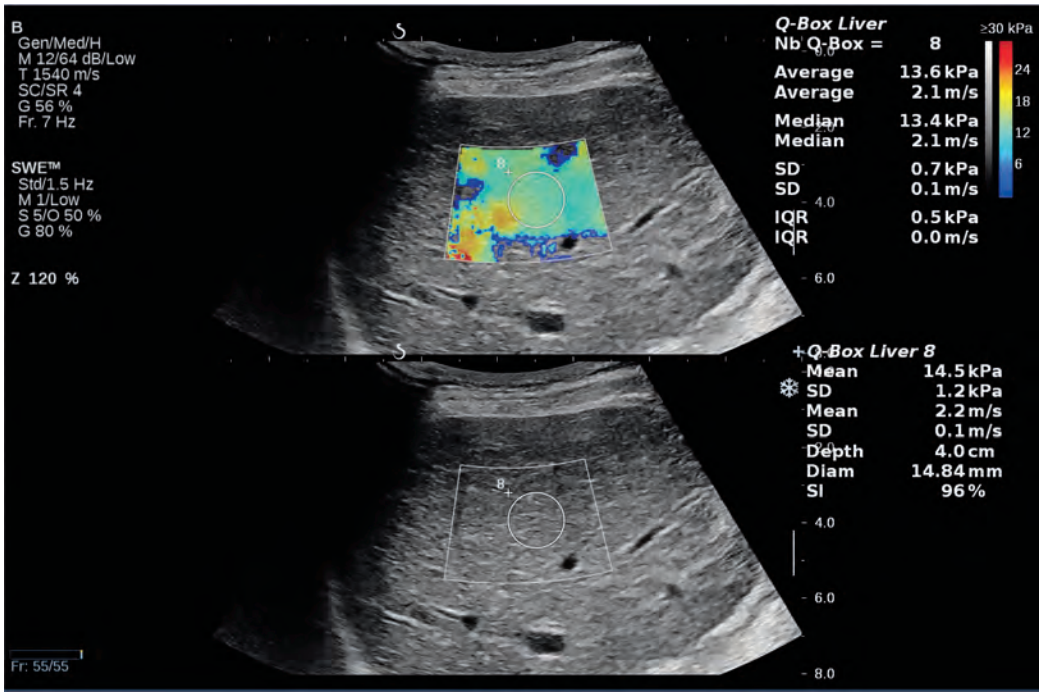


Рис. 9.10. Двухмерная сдвиговая волновая эластография (ультразвуковая система Aixplorer®, Supersonic Imagine, Экс-ан-Прованс, Франция). Система отфильтровывает значения с низким отношением сигнал/шум, и эти области остаются пустыми. Индекс стабильности является индикатором временной стабильности и отображается при позиционировании измерительного поля (Q-Box™). Получение хорошего качества должно иметь индекс стабильности >90%

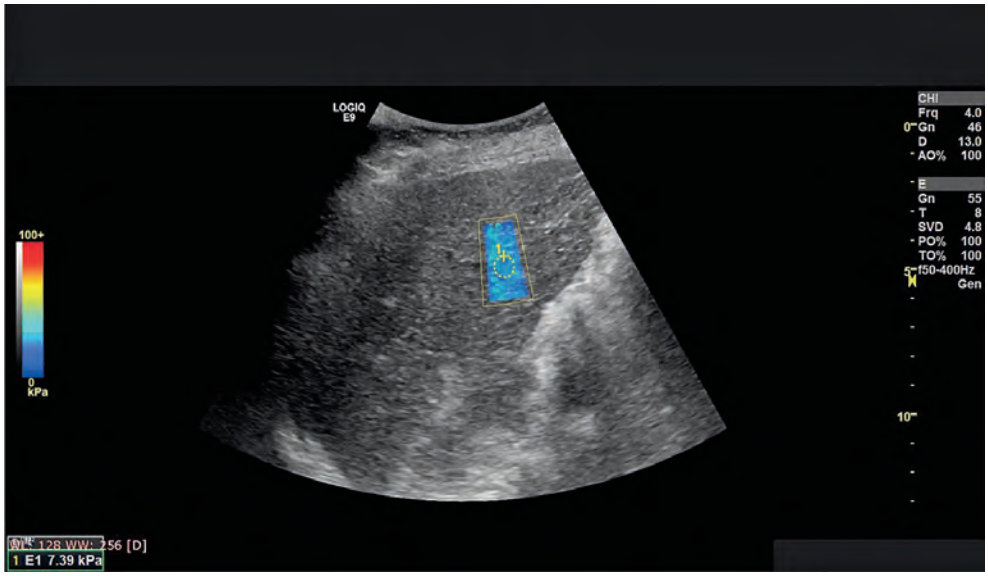


Рис. 9.11. Двухмерная сдвиговая волновая эластография (система ультразвукового исследования LOGIQ® E9, General Electric, Сент-Пол, Миннесота, США). Порог качества предотвращает отображение областей с некачественными измерениями. *Источник*: Воспроизведено с разрешения Prof Ioan Sporea

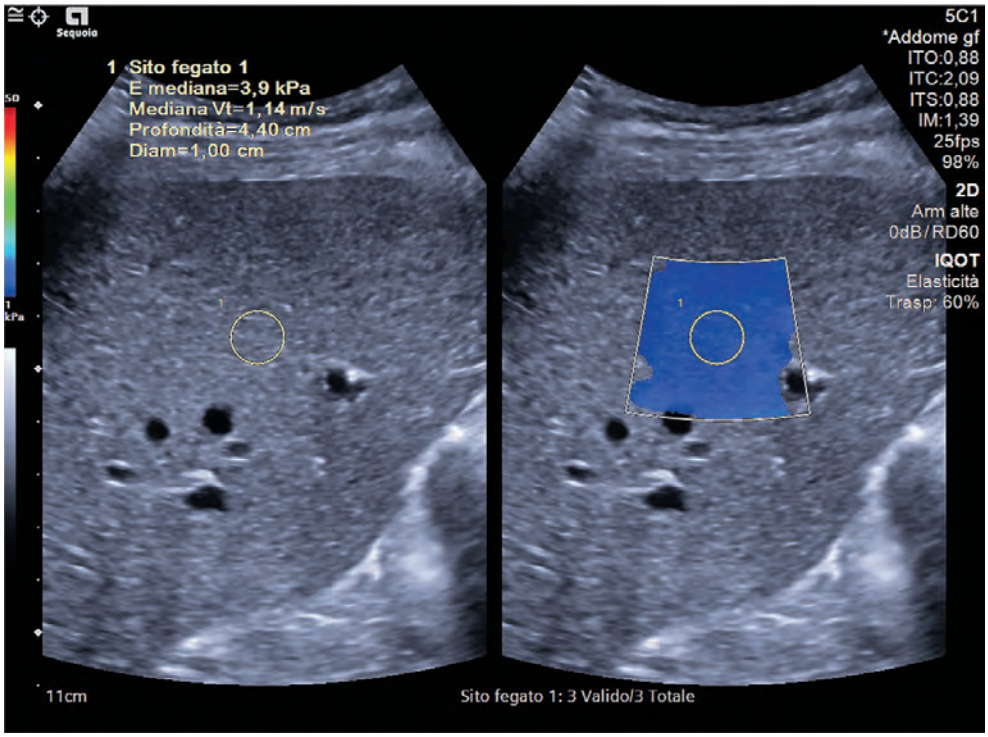


Рис. 9.12. Двухмерная эластография сдвиговой волной (ультразвуковая система Acuson Sequoia™, Siemens Healthiness, Эрланген, Германия). Система отфильтровывает значения с низким отношением сигнал/шум, и эти области остаются пустыми. Синий цвет относится к более мягким тканям

Компания SuperSonic Imagine (Hologic, США) разработала запатентованную технологию лучевого воздействия, называемую «supersonic shear imaging». Передаются плоские УЗ-волны, которые обеспечивают сверхбыструю частоту кадров (обычно более 1000 кадров в секунду). Смещение ткани происходит практически одновременно во всех положениях вдоль акустической оси. Это создает поперечную волну в форме конуса, известную как конус Маха, которая с расстоянием затухает медленнее, чем при одиночном импульсном толчке [5].

Все методы, основанные на ARFI, применяются в УЗ-системах, будь то точечная или двухмерная ARFI. Производители, как правило, имеют зарегистрированные названия для своих продуктов для эластографии.

Единицы измерения

Скорость сдвиговой волны отображается в метрах в секунду (м/с). Предполагая, что ткань имеет очень простое поведение (то есть она линейна, изотропна и однородна) и является несжимаемой, скорость распространения сдвиговой волны может быть преобразована в жесткость ткани через модуль Юнга по формуле $E = 3 (\rho \times vS^2)$, где E — модуль Юнга, ρ — плотность ткани, а vS — скорость сдвиговой волны [2, 3].

Модуль Юнга является мерой жесткости и показывает, насколько трудно деформировать материал при растяжении или сжатии (E = одноосное напряжение/одноосная деформация). Единицей измерения является килопаскаль (кПа), то есть единица измерения давления.

Следует подчеркнуть, что скорость также может быть преобразована в модуль сдвига G, который измеряет способность материала противостоять поперечным деформациям: сдвиговое напряжение/сдвиговая деформация. Модуль сдвига имеет ту же единицу измерения, что и модуль Юнга, кПа, но он в три раза меньше: $G = \rho \times vS^2$. Модуль сдвига G используется в магнитно-резонансной эластографии.

Выбор между отображением скорости или модуля упругости обычно зависит от пользователя. Предпочтительнее отображать результаты в м/с, а не в кПа. Фактически УЗ-система измеряет скорость сдвиговой волны. Преобразование в кПа с использованием простого уравнения основано на многих предположениях, которые могут быть неверными [3]. Тем не менее измерение жесткости с использованием модуля Юнга в кПа стало довольно распространенным в клинической практике с появлением FibroScan.

Наконец, мы предполагаем, что среда линейно упругая, однородная, изотропная, бесконечная, сплошная, но биологические ткани являются вязкоупругими. Оценка вязкоупругих свойств все еще остается областью исследований. Некоторые исследования сосредоточены на оценке дисперсии сдвиговой волны как маркера некровоспаления.

ФАКТОРЫ, ЗАТРУДНЯЮЩИЕ ОЦЕНКУ, И ТЕКУЩИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

Повышение жесткости печени часто связано с фиброзом. Однако существуют и другие факторы, которые могут увеличивать жесткость по другим причинам, как физиологическим, так и патологическим. Согласно рекомендациям Европейской федерации УЗИ в медицине и биологии, Всемирной федерации УЗИ в медицине и биологии и консенсусу Общества радиологов в области УЗИ, эти дополнительные факторы следует учитывать перед проведением ARFI, чтобы избежать переоценки фиброза печени. Их также следует принимать во внимание при интерпретации результатов ARFI [6–10].

Увеличение жесткости печени, которое не связано с фиброзом, может быть вызвано различными состояниями. К ним относятся: обострения острого гепатита, сопровождающиеся повышением уровня трансаминаз. При этом необходимо учитывать эффект некровоспаления, а результаты исследования всегда следует оценивать в клинических условиях, инфильтративные заболевания печени, такие как амилоидоз, лимфомы и экстрамедуллярное кроветворение, застойная сердечная недостаточность, внепеченочный холестаз. Из-за усиления портального кровотока прием пищи также может увеличивать жесткость печени, как и глубокий вдох. Поэтому для точного измерения рекомендуется кратковременная остановка дыхания в нейтральном положении. У пациентов с алкогольным гепатитом увеличение жесткости печени обычно проходит после 1–4 нед воздержания. Однако влияние стеатоза на этот процесс остается спорным. Некоторые исследования предполагают, что стеатоз может быть причиной повышенной жесткости печени, в то время как другие не находят этому подтверждения.

Пороговые значения для определения стадии фиброза печени и источники вариабельности

В измерениях жесткости печени наблюдается значительная разница между различными системами. В экспериментах с вязкоупругими фантомами, разработанными Радиологическим обществом Северной Америки, Альянсом по количественным биомаркерам визуализации и Комитетом по скорости сдвиговой волны, наибольшие расхождения в каждой комбинации фантома и глубины очага составляли от 12,7 до 17,6% [11].

В исследовании, посвященном сравнению измерений жесткости печени с использованием различных систем, соответствие между результатами было признано хорошим или отличным, а общее межсистемное согласие, по мнению экспертов, превысило 0,90. Однако высокая согласованность не означает, что абсолютные значения измерений одинаковы, а лишь указывает на то, что они следуют в одном направлении [12].

Таким образом, пороговые значения, используемые для определения стадии фиброза печени с помощью методов ARFI, зависят от конкретной системы. Кроме того, пороговые значения также зависят от этиологии основного заболевания печени и распространенности этого заболевания в целевой группе. Согласно рекомендациям Европейской федерации ассоциаций ультразвука в медицине и биологии и Всемирной федерации ультразвука в медицине и биологии, а также консенсусу среди радиологов,

интерпретацией результатов эластографии всегда должен заниматься специалист по печени, хорошо осведомленный о клинических аспектах заболеваний печени и особенностях эластографии как метода в целом, так и каждой конкретной методики.

Существует несколько источников вариабельности [3, 6–10].

- Глубина измерения: результаты с наименьшей вариабельностью получаются на глубине 4–5 см при исследовании конвексным датчиком. С другой стороны, импульс ARFI ослабляется по мере прохождения через ткань, поэтому измерения, проводимые на большей глубине, имеют меньшее соотношение сигнал/шум.
- Частота датчика: линейный датчик выдает более высокие значения.
- Положение датчика: наибольшее соответствие внутри- и межнаблюдательских данных было получено при измерениях, выполненных через межреберное пространство. Следует подчеркнуть, что движение сердца влияет на результаты измерений в левой доли печени, так как происходит давление датчиком на печень, если измерение выполняется субкостально.
- Положение пациента: положение лежа на спине использовалось в большинстве опубликованных исследований.
- Фаза дыхания: глубокий вдох влияет на измерение; предлагается проводить измерение при задержке дыхания на несколько секунд во время спокойного дыхания.
- Прием пищи: это увеличивает жесткость, поскольку после приема пищи происходит увеличение портального кровотока.
- Стадия фиброза: при использовании транзиентной эластографии было отмечено, что воспроизводимость снижается на более низкой стадии фиброза печени.
- Стеатоз печени и фиброз печени: из-за ослабления УЗ-луча обследование затруднено в случае тяжелого стеатоза или тяжелого фиброза печени.
- Опыт оператора: это также играет важную роль. Руководства подчеркивают, что опыт работы с ультразвуком в В-режиме является обязательным, и врач должен получить соответствующие знания и обучение в области УЗ-эластографии.
- Обучение операторов: в точечной ARFI несколько исследований показали, что оператору требуется лишь короткий период обучения для надежной работы с измерением жесткости печени. Процесс обучения использования двухмерной эластографии карциномы сдвиговой волной более длительный.

Более того, существует несколько факторов, влияющих на качество данных и приводящих к ошибкам скорости или потере сигнала, включая силу импульса; изменения в затухании, поглощении и отражении луча; плотность УЗ-рассеивателя; очень высокая или очень низкая скорость сдвиговой волны; рассеяние сдвиговой волны; отражение или преломление сдвиговых волн. Пользователь должен знать об этих артефактах. Некоторых из них можно избежать, следуя правильному протоколу для получения данных.

Контроль качества оценки скорости сдвиговой волны, как правило, предоставляется производителями (см. **рис. 9.1–9.12**).

ПРАКТИЧЕСКИЕ СОВЕТЫ

Протокол для получения данных [3, 6–10]

Для получения данных рекомендуется следующий протокол.

- Пациентам следует воздерживаться от приема пищи не менее двух часов.
- Исследование следует проводить в положении лежа на спине или с небольшим наклоном на левый бок (не более 30°), с поднятой над головой правой рукой для увеличения межреберного пространства.
- Измерения следует проводить с помощью межреберного доступа, и следует выбрать наилучшее акустическое окно без тени от ребер или легкого.
- Измерения следует проводить на 1,5–2,0 см ниже капсулы печени, чтобы избежать артефактов реверберации.
- Пациент должен дышать нормально, одновременно находя наилучшее акустическое окно; измерение выполняется, когда пациент задерживает дыхание в нейтральном положении.
- Оптимальное расположение для обеспечения максимальной силы толчкового импульса находится в 4,0–5,0 см от датчика.
- Датчик должен быть расположен под углом 90° по отношению к печеночной капсуле.
- При размещении области интереса следует избегать крупных кровеносных сосудов, желчных протоков и образований.
- Область интереса должен располагаться в середине изображения.
- Для транзиентной эластографии следует выбрать соответствующий датчик, исходя из расстояния от кожи до печеночной капсулы (эта оценка производится автоматически с помощью программного обеспечения транзиентной эластографии).
- Десять измерений должны быть получены на основе десяти независимых изображений в одном и том же месте, при этом среднее значение должно использоваться для временной эластографии и методов точечной ARFI.

- Для двухмерной ARFI могут быть использованы пять измерений, если используется параметр оценки качества, указанный производителем.
- Для оценки качества следует использовать межквартильный/медианный (IQR/M) коэффициент, который оценивает изменчивость в наборе полученных данных. Для измерений в кПа IQR/M должен быть <30%, а для измерений в м/с он должен быть <15%. Это самый важный критерий качества для информативного измерения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ferraioli G. (2019). Ultrasound techniques for the assessment of liver stiffness: a correct terminology. Hepatology 69 (1): 461.
2. Bamber J., Cosgrove D., Dietrich C.F. et al. (2013). EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography. Part 1: basic principles and technology. Ultraschall Med. 34 (2): 169–184.
3. Dietrich C.F., Bamber J., Berzigotti A. et al. (2017). EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, update 2017 (long version). Ultraschall Med. 38 (4): e16–e47.
4. Sandrin L., Oudry J., Bastard C. et al. Non-invasive assessment of liver fibrosis by vibration-controlled transient elastography (Fibroscan®). In: Liver Biopsy (ed. H. Takahashi), n.p. London: IntechOpen www.intechopen.com/chapters/18782.
5. Bercoff J., Tanter M. and Fink M. (2004). Supersonic shear imaging: a new technique for soft tissue elasticity mapping. IEEE Trans. Ultrason. Ferroelectr. Freq. Control 51 (4): 396–409.
6. Dietrich C.F., Bamber J., Berzigotti A. et al. (2017). EFSUMB guidelines and recommendations on the clinical use of liver ultrasound elastography, update 2017 (short version). Ultraschall Med. 38 (4): 377–394.
7. Ferraioli G., Filice C., Castera L. et al. (2015). WFUMB guidelines and recommendations on the clinical use of ultrasound elastography, Part 3: liver. Ultrasound Med. Biol. 41 (5): 1161–1179.
8. Ferraioli G., Wong V.W., Castera L. et al. (2018). Liver ultrasound Elastography: an update to the world federation for ultrasound in medicine and biology guidelines and recommendations. Ultrasound Med. Biol. 44 (12): 2419–2440.
9. Barr R.G., Ferraioli G., Palmeri M.L. et al. (2015). Elastography assessment of liver fibrosis: society of radiologists in ultrasound consensus conference statement. Radiology 276 (3): 845–861.
10. Barr R.G., Wilson S.R., Rubens D. et al. (2020). Update to the society of radiologists in ultrasound liver elastography consensus statement. Radiology 296 (2): 263–274.
11. Palmeri M., Nightingale K., Fielding S. et al. RSNA QIBA ultrasound shear wave speed Phase II phantom study in viscoelastic media. In: Proceedings of the 2015 IEEE Ultrasonics Symposium, 397–400. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
12. Ferraioli G., De Silvestri A., Lissandrin R. et al. (2019). Evaluation of inter-system variability in liver stiffness measurements. Ultraschall Med. 40 (1): 64–75.