



Январь 2020

# УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ВИЗУАЛИЗАЦИЯ FUSION КАК ЭТО ДЕЛАТЬ

А. БЕЛЕУ\*, М. ЛОБОРГО\*\*, М. Д'ОНОФРИО\*  
(A. BELEÚ\*, M. LOBORGO\*\*, M. D'ONOFRIO\*)

\* Отделение Радиологии Университета Вероны, Италия, \*\* Hitachi Medical Systems Europe Holding AG

## АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ И ЦЕЛИ

Ультразвуковое исследование (УЗИ) является первым выбором для мониторинга интервенционных процедур, так как обеспечивает визуализацию в реальном времени, не использует ионизирующего излучения и является доступным и недорогим [1]. Однако, в сравнении с компьютерной томографией (КТ) и магнитно-резонансной томографией (МРТ), УЗИ отличается меньшим контрастным разрешением, ограниченным полем обзора и зависимостью от наличия газа, кальцинатов и жировой ткани. Перед проведением вмешательства под контролем УЗИ радиолог, как правило, сначала просматривает результаты исследования МРТ или КТ, полученные до операции: это даёт возможность заранее понять расположение и морфологию образования, запомнить эти сведения и затем мысленно сверяться с ними во время операции. Такой процесс называют «когнитивным синтезом» [2].

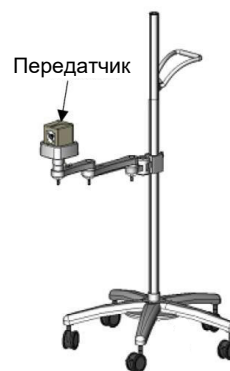
В последнее время разрабатываются новые технологии виртуального совмещения (fusion) в реальном времени для УЗИ. Такие технологии внедрены в современные ультразвуковые сканеры компании Hitachi, что позволяет при работе с ними одновременно задействовать сильные стороны каждой радиологической модальности в реальном времени [3]. Главным образом, УЗИ-совмещение предназначено для одновременной синхронной визуализации изображения УЗИ и среза МРТ или КТ: в таком режиме изображение и срез расположены рядом или наложены друг на друга. Срез МРТ или КТ, соответствующий текущей ультразвуковой проекции, мгновенно реконструируется из заранее полученного объёма. Так интервенционный радиолог получает в своё распоряжение все анатомические и морфологические сведения о пациенте и об оперируемом образовании – одновременно на одном экране. Такая технология исследования необходима для улучшения видимости тех образований, которые чётко не визуализируются в В-режиме. Как результат, такой подход повышает уверенность оператора и увеличивает вероятность успешного исхода процедуры [4].

Существует несколько применений УЗИ-совмещения в интервенционной радиологии [4-8]. Несмотря на то, что преимущества УЗИ-совмещения в основном используются в интервенционной сфере, необходимо понимать, что эта технология также может играть существенную роль в диагностике или, к примеру, в образовательном процессе.

## ТЕХНОЛОГИЯ, МАТЕРИАЛЫ И ПРОЦЕДУРЫ

Система УЗИ-совмещения, разработанная компанией Hitachi Medical Systems, носит название «**Real-time Virtual Sonography**» (или **RVS**) – «**Виртуальная сонография в реальном времени**». Эта система состоит из следующих компонентов:

- **Магнитный передатчик** для создания магнитного поля на расстоянии 76 см (*изображение 1*) установлен на регулируемой стойке и расположен как можно ближе к пациенту.
- С помощью специального адаптера **магнитный сенсор** (*изображение 2*) закреплён на ультразвуковом датчике для непрерывного отслеживания положения и ориентации датчика в реальном времени.
- На УЗИ сканере установлено **программное обеспечение RVS** для обработки объёмов КТ, МРТ или ПЭТ-КТ и синхронизации их срезов с ультразвуковым изображением в реальном времени. Программа RVS позволяет импортировать объёмы КТ, МРТ или ПЭТ-КТ в формате DICOM для всех фаз контрастного исследования (артериальная, венозная и отсроченная).



Изображение 1  
Магнит установлен на регулируемой стойке



Изображение 2  
Магнитный сенсор закреплён на ультразвуковом датчике

- Метка пациента omniTRAX Active Patient Tracker** (поставляется дополнительно, производство CIVCO Medical Solutions) с дополнительным магнитным сенсором используется для **слежения за движением тела (Body Motion Tracking, изображения 3а и 3б)**. Устройство должно быть расположено на одной и той же анатомической области на коже пациента (*изображение 3в*) и во время исследования КТ, МРТ или ПЭТ-КТ, и во время ультразвукового сканирования. Метка пациента обеспечивает быструю синхронизацию изображений и поддерживает синхронность даже при движениях пациента или при изменении положения брюшной стенки вследствие дыхания.



**Изображение 3а**  
Метка OmniTRAX Active Patient Tracker для КТ и ПЭТ-КТ

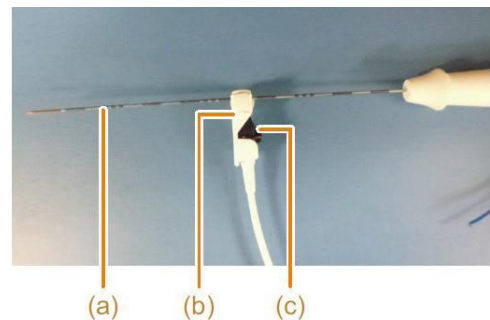


**Изображение 3б**  
Метка OmniTRAX Active Patient Tracker для МРТ



**Изображение 3в**  
Метка OmniTRAX Active Patient Tracker на коже пациента

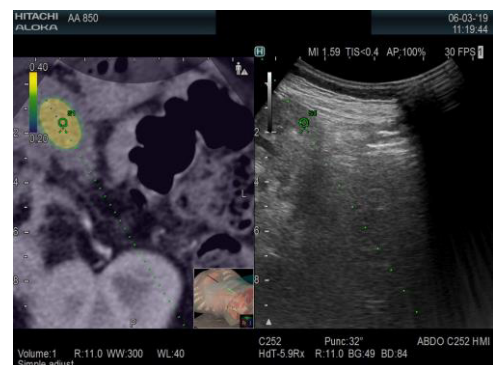
- Устройство VirtuTRAX** (поставляется дополнительно, *изображение 4*) используется для продвинутого отслеживания положения иглы. Это устройство с дополнительным магнитным сенсором закрепляется на игле и позволяет непрерывно отслеживать виртуальное положение иглы в пространстве с помощью системы RVS. Положение иглы отчётливо отображается и на ультразвуковом изображении, и на срезах КТ или МРТ.



**Изображение 4**  
Устройство VirtuTRAX (b) с магнитным сенсором (c) закреплено на игле (a)

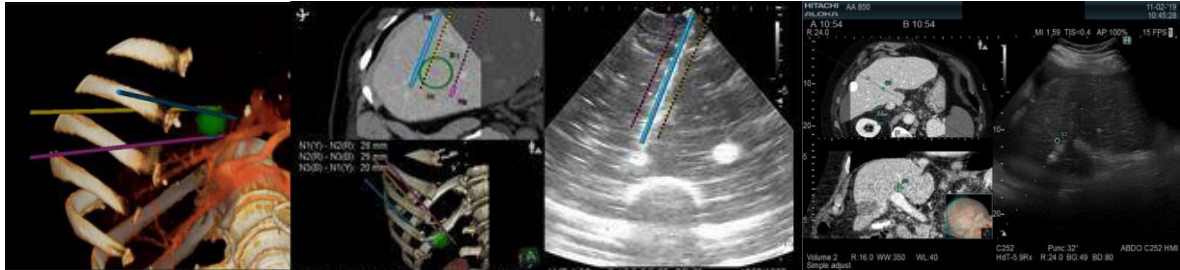
Программа RVS оснащена специальными функциями продвинутой симуляции и визуализации для проведения абляции. К этим функциям относятся:

- Функция E-field Simulator** (*изображение 5*) симулирует распределение тепловой энергии при радиочастотной абляции. Функция работает в реальном времени в режиме RVS. После указания длины активной поверхности электрода и типа иглы (биполярная или монополярная) на срез КТ/МРТ накладывается цветная карта, симулирующая площадь зоны абляции. Таким образом, оператор может понять, будет ли он воздействовать только на образование или же он рискует повредить здоровые окружающие структуры.



**Изображение 5**  
С помощью функции E-field Simulator можно предварительно оценить площадь воздействия

- Функция **3D SIM Navigator** (изображение 6) дополняет и завершает функционал RVS. Эта программа симулирует путь введения иглы в режиме УЗИ-совмещения. Возможно введение нескольких игл для абляции с отображением трёхмерных меток в объёме КТ или МРТ.



Изображение 6

Функция 3D SIM Navigator позволяет симулировать введение иглы во время абляции

В RVS по-прежнему доступны все обычные ультразвуковые режимы, такие как цветное доплеровское картирование или эластография. Эти режимы можно включить в любой момент для повышения точности метода. Даже такой метод как контрастное усиление (КУУЗИ) можно легко задействовать во время мультимодального исследования.

Для наглядного определения реального положения и угла наклона вводимой иглы относительно образования, доступна функция визуализации коронарной проекции (проекция С) в реальном времени в зоне КТ/МРТ. Эта функция особенно полезна при воздействии на большие образования, где требуется введение нескольких игл для полной абляции образования.

## ПРОЦЕДУРА I ПЛАНИРОВАНИЕ

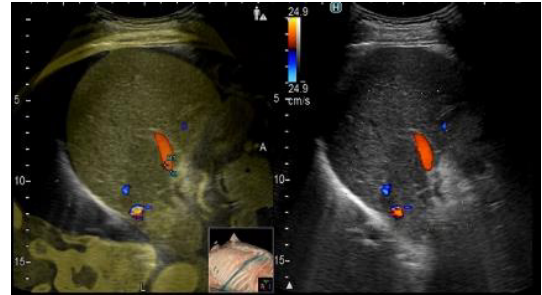
Процедура УЗИ-совмещения начинается со стадии планирования, когда DICOM-изображения КТ, МРТ или ПЭТ-КТ загружаются в ультразвуковую систему. Объёмы можно импортировать с компакт-диска (CD), флэш-накопителя USB или напрямую через информационную сеть медицинского учреждения (PACS). Возможность импорта нескольких DICOM-объёмов КТ, МРТ или ПЭТ-КТ от разных фаз контрастного исследования позволяет улучшить синхронизацию между модальностями: к примеру, в венозную фазу обеспечивается чёткая визуализация сосудов печени – печёночной и портальной вен. Так же можно сравнивать распространение контраста в образовании на разных фазах исследования КУУЗИ.

Во время планирования необходимо отметить целевые образования, которые подвергнутся воздействию. После синхронизации отметки будут видны и на изображениях УЗИ, и на срезах КТ/МРТ. Всё планирование можно провести заранее, сохранить файл планирования на ультразвуковом сканере и позже загрузить файл во время операции, чтобы сэкономить время.

## ПРОЦЕДУРА I СИНХРОНИЗАЦИЯ

Синхронизация является одной из самых деликатных стадий и кардинально влияет на точность всей процедуры. Именно правильная синхронизация гарантирует наилучшее совпадение изображения УЗИ и среза КТ/МРТ. Существует два способа синхронизации:

- По внешним **анатомическим ориентирам** (таким как пупок и мечевидный отросток) или по неподвижным внутренним структурам (таким как чревный артериальный ствол, основание верхней брыжеечной артерии и т. п.). Синхронизацию между изображениями можно произвести через установку **«точки регистрации»**: первый курсор устанавливается на ориентир на срезе КТ/МРТ, а второй курсор устанавливается на тот же ориентир на изображении УЗИ. Режим **«наложения»** (изображение 7) помогает лучше оценить точность совмещения.
- С использованием **системы слежения за движением тела (Body Motion Tracking)**. Благодаря устройству **OmniTRAX**, синхронизация происходит автоматически, гораздо быстрее и более точно, а отклонения синхронизации, вызванные движениями пациента и дыханием, снижаются.

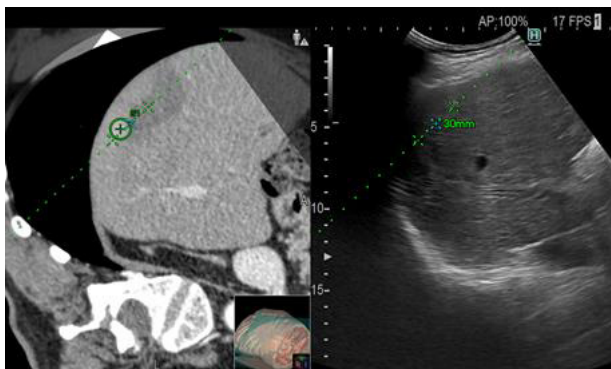


**Изображение 7**

Синхронное совмещение изображений УЗИ/КТ в режиме наложения. Из объема КТ реконструирован подходящий срез, который накладывается на изображение УЗИ (слева). Включение цветового доплера подтверждает корректное наложение сосудов

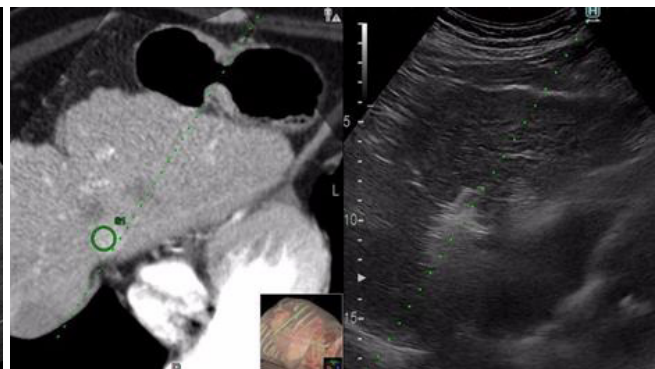
## ПРОЦЕДУРА I ПРОЦЕДУРА

После успешной синхронизации срезы КТ или МРТ идеально сопоставляются с ультразвуковым сканированием в реальном времени, что даёт радиологу возможность одновременно задействовать сильные стороны всех модальностей. Положение и направление реконструированных срезов КТ/МРТ изменяются в зависимости от движений датчиком. Выделенное образование отмечается маркером, выставленным на стадии планирования (изображение 8). Если используется модуль VirtuTRAX, на экране отображается отчётливая виртуальная линия, положение которой соответствует положению реальной иглы. VirtuTRAX позволяет точно отследить введение иглы. Если на этапе планирования были загружены другие массивы – к примеру, для разных фаз контрастного исследования или для разных последовательностей МРТ – можно в любой момент переключиться на любой из них (изображение 9).



**Изображение 8**

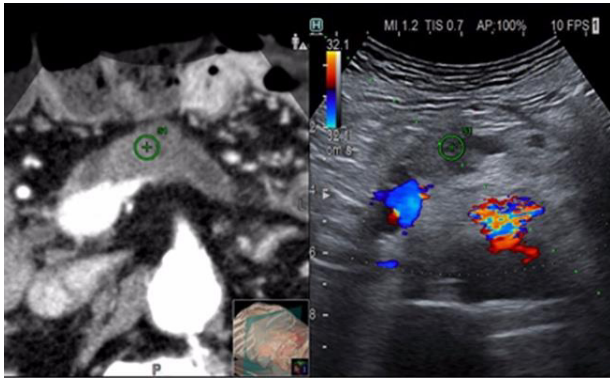
Целевое образование – рецидив гепатокарциномы, возникший на краю зоны предыдущей абляции. Образование плохо визуализируется в обычном В-режиме на УЗИ. Гепатокарцинома отмечена на срезе КТ (слева) и на изображении УЗИ (справа). Изображения идеально совпадают



**Изображение 9**

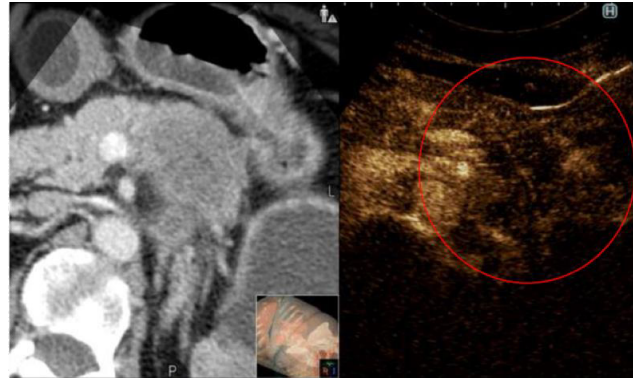
Рецидив гепатокарциномы в циррозированной ткани печени. Даже несмотря на плохую визуализацию образования в обычном В-режиме на УЗИ, оно было подвергнуто радиочастотной абляции – это стало возможным благодаря ориентированию по срезу КТ (артериальная фаза). Изображения идеально совпадают

Во время проведения процедур доступны все обычные ультразвуковые режимы, такие как цветовой доплер (изображение 10) или КУУЗИ (изображение 11).



**Изображение 10**

Цветовой доплер в режиме УЗИ-совмещения используется для предотвращения повреждения сосудов в время радиочастотной абляции аденокарциномы поджелудочной железы. Образование отмечено на КТ и УЗИ



**Изображение 11**

Аденокарцинома тела поджелудочной железы. Использование ультразвукового контрастного усиления во время манипуляции под контролем УЗИ-совмещения

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

УЗИ-совмещение (fusion) является инновационной и революционной технологией – это большой шаг вперед в области интервенционных вмешательств, проводимых под контролем УЗИ. Применение этой технологии призвано улучшить точность интервенций под контролем УЗИ, повысить уверенность оператора и безопасность пациента. Таким образом, УЗИ-совмещение представляет собой важный вспомогательный инструмент для интервенционного радиолога. Без УЗИ-совмещения невозможно проведение некоторых процедур, особенно в тех случаях, где ультразвуковая визуализация образования в В-режиме недостаточна, но требуется сохранение здоровых окружающих структур.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Lorentzen T, Nolsoe CP, Ewertsen C, et al (2015) EFSUMB Guidelines on Interventional Ultrasound (INVUS), Part I. General Aspects (long Version). *Ultraschall Med* 36:E1-14.
2. Maybody M, Stevenson C, Solomon SB (2013) Overview of navigation systems in image-guided interventions. *Tech Vasc Interv Radiol* 16:136–143.
3. European Society of Radiology (ESR) (2019) Abdominal applications of ultrasound fusion imaging technique: liver, kidney, and pancreas. *Insights Imaging* 10:6.
4. Lee MW (2014) Fusion imaging of real-time ultrasonography with CT or MRI for hepatic intervention. *Ultrason (Seoul, Korea)* 33:227–239.
5. Mauri G, Cova L, De Beni S, et al (2015) Real-time US-CT/MRI image fusion for guidance of thermal ablation of liver tumors undetectable with US: results in 295 cases. *Cardiovasc Intervent Radiol* 38:143–151.
6. Rubenthaler J, Paprottka KJ, Marcon J, et al (2016) MRI and contrast enhanced ultrasound (CEUS) image fusion of renal lesions. *Clin Hemorheol Microcirc* 64:457–466.
7. Helck A, D’Anastasi M, Notohamiprodjo M, et al (2012) Multimodality imaging using ultrasound image fusion in renal lesions. *Clin Hemorheol Microcirc* 50:79–89.
8. D’Onofrio M, Beleù A, De Robertis R (2019) Ultrasound-guided percutaneous procedures in pancreatic diseases: new techniques and applications. *Eur Radiol Exp* 3:2.