



# «Я УКОЛОВ НЕ БОЮСЬ». НО ДОВЕРИМ ЛИ МЫ ИХ РОБОТАМ?

ВЛАДИМИР РЕНТЮК  
Rvkmodul@gmail.com

Забор венозной крови или внутривенное введение жидкости и лекарственных препаратов являются типовыми, но крайне важными медицинскими процедурами, от которых часто зависят правильная диагностика и сама жизнь пациента. Однако успех этих процедур в значительной степени основывается на опыте клинического персонала, состояния вен и особенностях физиологии пациента. Иногда требуются повторные попытки или даже дополнительная помощь, а бывает, что неумелые действия приводят к травмам пациентов из-за экстравазации. При этом манипуляционной сестре приходится «искать» вену, что приводит к излишней нервозности и увеличивает длительность проведения не слишком приятной для пациента процедуры. В данной статье рассмотрена автономная медицинская роботизированная система для автоматического забора образцов венозной крови, которая особенно актуальна при работе с пациентами, инфицированными опасными болезнями, передающимися через кровь.

Обеспечение периферического венозного доступа у пациентов является одним из наиболее важных и распространенных первых шагов, предпринимаемых при любом клиническом вмешательстве. Только в одних США эта клиническая процедура выполняется более 1,4 млрд раз в год. При этом согласно клиническим исследованиям затруднения с забором образцов венозной крови и инфузии в США возникают у 27% пациентов без видимых вен, у 40% пациентов без пальпируемых вен и у 60% истощенных пациентов. Эти проблемы подтолкнули специалистов к разработке технологий для повышения точности установки канюли. При определении подходящих сосудов для канюляции используются такие технологии визуализации, как ультразвуковая локация вен и технологии на основе излучения в ближней инфракрасной зоне (near infrared, NIR).

Однако ручное введение иглы с применением ультразвука требует точной координации рук и глаз для устойчи-

вого размещения и контроля как зонда, так и иглы. Системы визуализации в ближнем инфракрасном диапазоне имеют глубину проникновения всего около 3 мм и обычно неэффективны при обследовании пациентов с ожирением. Более того, результаты исследований эффективности систем визуализации NIR при процедурах венепункции неясны. В отличие от визуализации NIR, ультразвуковая визуализация — это современный стандарт помощи клиницистам в обеспечении периферического венозного доступа у пациентов с проблемами в физиологии вен. Однако подобные устройства не облегчают само введение иглы — для выполнения процедуры в любом случае требуется специально обученный персонал.

В целом несколько исследований, посвященных изучению технологии NIR и ультразвуковой визуализации для оказания помощи в проведении венепункций, не обнаружили существенной разницы в показателях

успеха по сравнению с ручными процедурами. Это указывает на то, что именно введение иглы может быть ограничивающим фактором в неудачных венепункциях, а не проблема идентификации вены.

В данной статье представлено портативное роботизированное устройство для забора образцов венозной крови, которое сочетает в себе ультразвуковую визуализацию с миниатюрной робототехникой для идентификации сосудов, а также для точного введения канюли в целевой сосуд. Гибкая конструкция устройства в будущем позволит использовать его и для других применений, включая педиатрию, внутривенную катетеризацию, доступ к главным венам, диализ и размещение внутриартериальных катетеров.

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВЕНЕПУНКЦИИ

Недавно команда из Университета Рутгерса (Rutgers University — государственный исследовательский уни-

верситет США, крупнейшее высшее учебное заведение штата Нью-Джерси) разработала практически автономную роботизированную систему, которая обнаруживает подходящую вену, вводит иглу и даже берет образец крови для последующего анализа. Сейчас проводятся полевые испытания изобретения. Это устройство предназначено для безопасного забора крови из периферических вен предплечья. Система объединяет ультразвуковую визуализацию и миниатюрную робототехнику для определения подходящих сосудов и канюляции, а также автоматизированного направления прикрепленной иглы к так называемому центру просвета.

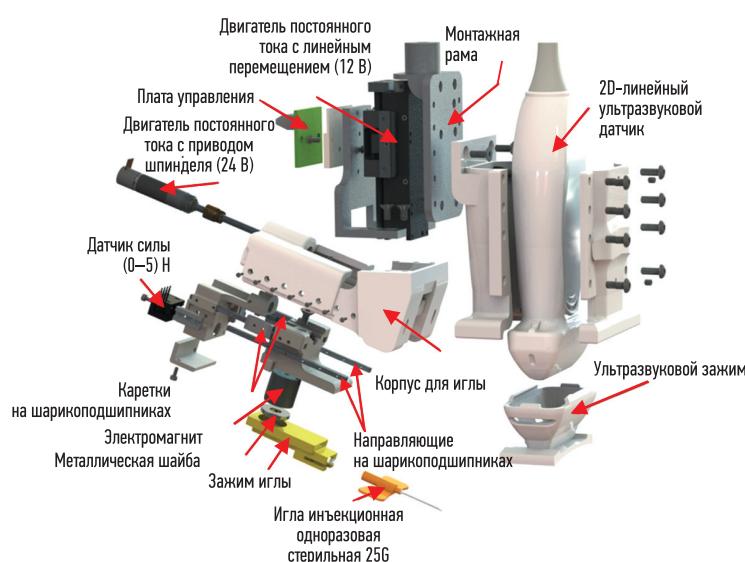
Оператор, то есть подготовленный соответствующим образом медицинский персонал, выполняет только настройку общего положения аппарата относительно руки пациента, стерилизует целевую зону, наносит ультразвуковой гидрогель и выбирает центр целевой вены, отображаемый на мониторе. Затем эти координаты используются устройством для определения действий, необходимых для того, чтобы кончик иглы пересек плоскость ультразвукового изображения в центре сосуда.

После выравнивания и стабилизации оператор запускает процедуру введения и каретка оси ввода иглы перемещает прикрепленный конец иглы вперед под углом  $25^\circ$  относительно предплечья пациента к цели в центре вены, вводит иглу и получает образец крови объемом 5 мл. Видеозапись процедуры доступна по ссылке [5].

## УСТРОЙСТВО СИСТЕМЫ

Система состоит из двух основных механических узлов: двумерного ультразвукового зонда на каретке линейного перемещения и одномерного игольчатого упора, которые соединены микроконтроллером для координированного управления положением и перемещением, как показано на рис. 1. Устройство, в свою очередь, содержит три ключевых компонента: роботизированный манипулятор иглы с двумя степенями свободы, содержащий систему ввода иглы на основе электромагнита и датчик силы на конце иглы, двумерный ультразвуковой зонд и главный процессор.

При наведении и выполнении задачи используется комбинация профилей обратной связи по усилию и смещению вместе с ультразвуковой визуализацией, как показано на рис. 2.

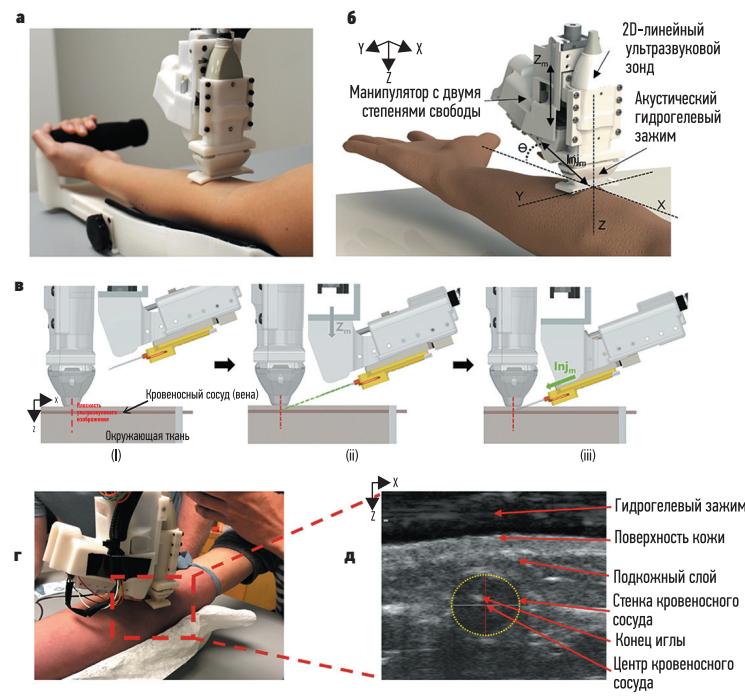


**РИС. 1.** ◀  
Основные функциональные компоненты портативного роботизированного устройства для венепункции

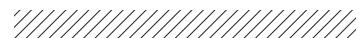
Анализ данных профиля в режиме реального времени указывает на вероятный успех процедуры, включая желаемый внезапный «прорыв», который происходит, когда сила внезапно падает на коротком расстоянии при пробивании стенки вены.

На рис. 2а представлено само переносное роботизированное устройство для венепункции. Результат компьютерного проектирования в CAD, отображающий ключевые компоненты

устройства с двумя степенями свободы, а также угол входа иглы  $\Theta$  (равен  $25^\circ$ ), можно увидеть на рис. 2б. На рис. 2в на компьютерной модели показана непосредственно работа устройства. Здесь мы видим: (i) — плоскость ультразвуковой визуализации обеспечивает вид в разрезе целевого сосуда; (ii) — как только сосуд обнаруживается устройством, игла выравнивается с помощью двигателя с двумя степенями свободы движения по оси Z ( $Z_m$ );



**РИС. 2.** ◀  
Установка и работа роботизированного устройства:  
а) переносное устройство;  
б) компьютерное проектирование;  
в) работа устройства;  
г) размещение устройства;  
д) ультразвуковое изображение кончика иглы



движение по оси  $Z_m$  (синяя стрелка) позволяет выровнять траекторию иглы с глубиной сосуда (ось Z) так, чтобы кончик иглы достиг центра сосуда точно в плоскости ультразвукового изображения; (iii) — после того как траектория выровнена, игла вводится с помощью двигателя вспрыска ( $Inj_m$ ) (зеленая стрелка) и автоматически останавливается системой, как только наконечник достигает центра сосуда.

Во время исследования устройство размещают над предплечьем, как показано на рис. 2г. На рис. 2д представлено ультразвуковое изображение, на котором кончик иглы расположен в сосуде-мишени после успешной венепункции. Стенка сосуда обозначена желтым пункитирным эллипсом. Ось Z на изображении указывает глубину сосуда, а ось Y — его сагиттальное положение. Положение сосуда и кончика иглы устанавливается по отношению к головке ультразвукового преобразователя (верхняя часть изображения).

Если профиль силы / расстояния указывает на то, что попытка венепункции будет неудачной (вены, конечно, нежесткие и могут двигаться во время процесса забора крови), или если кровь не течет, то игла вынимается и оператор направляет устройство к новой возможной точке.

Основные дисплеи графического интерфейса пользователя (GUI) программного обеспечения портативного роботизированного устройства для венепункции (рис. 3) включают текущее ультразвуковое изображение, показатели датчика силы, скорость двигателя ввода иглы, а также желаемое и фактическое положение как для оси Z, так и для двигателей ввода иглы. Красная линия на ультразвуковом изображении — это траектория иглы. Здесь игла пересекает плоскость

ультразвукового изображения. Пользователю предлагается вручную разместить устройство таким образом, чтобы отображаемый сосуд (темный эллипс) был центрирован по линии траектории иглы.

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ

На данный момент результаты испытаний рассмотренного роботизированного устройства для забора венозной крови, пусть и при ограниченном числе испытуемых, являются успешными, сопоставимы с клиническими стандартами и в сложных случаях даже превосходят их. Общий показатель положительных результатов составил 87% для 31 участника и 97% для 25 участников с легкодоступными венами при средней длительности процедуры ( $93 \pm 30$ ) с.

Исследователи отмечают, что будущие версии этого устройства можно будет распространить на другие области сосудистого доступа, такие как внутривенная катетеризация, центральный венозный доступ, диализ и размещение артериальной линии (тонкий катетер, вводимый в артерию). Кроме того, систему можно объединить со встроенной подсистемой для комплексного анализа крови и анализа его результатов.

Подробная информация о проекте содержится в документе «First-in-human evaluation of a hand-held automated venipuncture device for rapid venous blood draws», опубликованном в журнале Technology (World Scientific) [1]. Основное внимание в нем уделяется данным датчиков, профилям, алгоритмам и результатам. В меньшей степени рассматривается фактическая конструкция устройства. Документ доступен в виде HTML-страницы со ссылкой на загружаемый PDF-файл [2]. На том же сайте пред-

ставлены результаты клинической проверки. Помимо перечисленных документов, в основу настоящей статьи положен краткий обзор устройства, представленный в [3].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

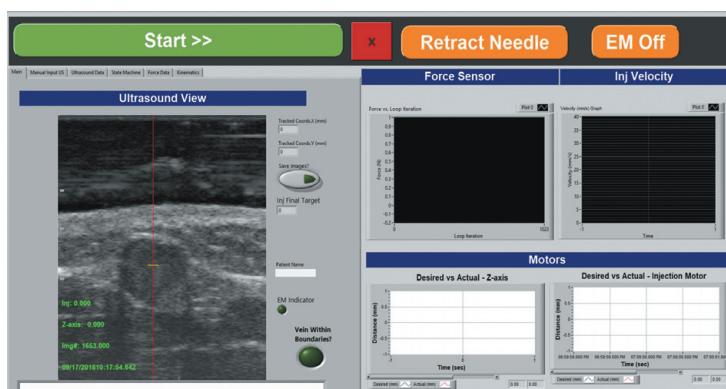
В статье была кратко представлена почти автономная медицинская роботизированная система, которая использует ультразвуковое изображение для определения подходящей вены предплечья, затем вводит иглу под критическим углом на определенную глубину и, наконец, берет образец крови. Однако зададим себе вопрос: готовы ли мы отдать себя в «руки» робота?

В качестве финальной ноты можно вспомнить стихотворение «Прививка» Сергея Михалкова: «Это только трус боится / На укол идти к врачу. / Лишьно я при виде шприца / Улыбаюсь и шучу. <...> Почему я встал у стенки? / У меня... дрожат коленки...»

Будем ли мы шутить и улыбаться, доверяясь роботу? Не говоря уже о том, чтобы охотно променять билеты на футбол на добавочный укол? С другой стороны, автономные и колаборативные медицинские роботы выполняют уже довольно-таки много различных медицинских манипуляций, включая сложные операции, например офтальмологические, и делают это лучше людей. Да и на видео процедура венепункции в исполнении робота выглядит не так уж и страшно [4, 5]. Кроме того, такие устройства смогут защитить медицинский персонал от контакта с кровью пациентов, зараженных опасными вирусами, такими как гепатиты, ВИЧ, Эбола, теми, что природа подготовила нам на будущее, или теми, что люди сами придумают, последнее не исключается. ●

## ЛИТЕРАТУРА

- Leipheimer J. M., Balter M. L., Chen A. I., Pantin E. J., Davidovich A. E., Labazzo K. S., Yarmush M. L. First-in-human evaluation of a hand-held automated venipuncture device for rapid venous blood draws. www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2339547819500067?journalCode=techology.
- www.researchgate.net/publication/338751969\_First-in-human\_evaluation\_of\_a\_hand-held\_automated\_venipuncture\_device\_for\_rapid\_venous\_blood\_draws.
- Schweber B. Medical «Vampire» Robot Seeks Human Vein, Inserts Needle, Sucks Blood // Electronic Design. Jul 05, 2020.
- Venipuncture Device Video Human Study. www.youtube.com/watch?v=443qkaEj0sw&feature=emb\_logo.
- Watch this robot draw blood from a patient. www.youtube.com/watch?v=lpdTeGPrufA.



**РИС. 3. ▶**

Программное обеспечение портативного роботизированного устройства для венепункции: основные дисплеи графического интерфейса пользователя