



Робот-ассистированные технологии для проведения таргетной биопсии предстательной железы: обзор литературы

© Константин Б. Колонтарев, Игорь О. Грицков, Александр В. Говоров, Александр О. Васильев, Дмитрий Ю. Пушкарь

Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова [Москва, Россия]

Аннотация

Важным аспектом в лечении любого онкологического заболевания является своевременная диагностика злокачественных новообразований. Правильная постановка диагноза во многом зависит от алгоритма получения биологического материала. Многие исследования показывают значимое повышение чувствительности и специфичности таргетного метода забора биоптата тканей по сравнению с системным. Однако из-за присутствия в данном алгоритме человеческого фактора возрастает число потенциальных ошибок, которые можно было бы решить при замене метода биопсии на высокотехнологичный. В данном литературном обзоре собрана информация из статей, содержащих данные о разработках в области робот-ассистированной таргетной биопсии. Проведён систематический поиск по базам данных PubMed и Scopus с включением в представленные материалы тех работ, которые свидетельствуют об экспериментах с полуавтоматическими роботическими комплексами. Описаны по данным литературы предпосылки к разработке прицельных полуавтоматических устройств для повышения чувствительности и специфичности диагностики рака предстательной железы. Проведён анализ публикаций, связанных с разработкой программного обеспечения для проведения таргетной биопсии и предназначенного для повышения чувствительности и специфичности данного метода диагностики.

Ключевые слова: рак предстательной железы; прицельная биопсия; роботические технологии; роботический манипулятор; персонализированная медицина; литературный обзор

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки. **Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Вклад авторов:** И.О. Грицков — анализ данных, написание текста рукописи; К.Б. Колонтарев — обзор публикации; А.В. Говоров — критический обзор; А.О. Васильев — научное редактирование; Д.Ю. Пушкарь — научное руководство.

✉ **Корреспондирующий автор:** Игорь Олегович Грицков; grickofoff@mail.ru

Поступила в редакцию: 04.03.2023. **Принята к публикации:** 16.05.2023. **Опубликована:** 26.06.2023.

Для цитирования: Колонтарев К.Б., Грицков И.О., Говоров А.В., Васильев А.О., Пушкарь Д.М. Робот-ассистированные технологии для проведения таргетной биопсии предстательной железы: обзор литературы. *Вестник урологии*. 2023;11(2):132-143. DOI: 10.21886/2308-6424-2023-11-2-132-143.

Robot-assisted technologies for targeted prostate biopsy: a literature review

© Konstantin B. Kolontarev, Igor O. Gritskov, Alexander V. Govorov, Alexander O. Vasiliev, Dmitry Yu. Pushkar

Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry [Moscow, Russian Federation]

Abstract

One key aspect in treating any cancer is timely diagnosis and treatment. Obtaining the right diagnosis depends mainly on running the biopsy algorithm. Most studies show a significant increase in sensitivity and specificity in the targeted tissue sampling method compared to standard biopsy. The human factor can result in more medical errors. This can be solved by replacing the standard biopsy method with a more advanced one. The human factor is excluded from the biopsy sampling process using the semi-automatic robotic biopsy needle guidance. This paper presents a literature review development in robot assisted prostate biopsy. A literature review was performed using PubMed and Scopus databases. Papers reporting on experiments using semi-automatic robotic systems were included. Using

the literature, we described the prerequisites for the development the software for semi-automatic targeted biopsy to increase the sensitivity and specificity of prostate cancer diagnosis.

Keywords: prostate cancer; targeted biopsy; robotic technologies; robotic arm; robotic surgical procedures; personalised medicine; review

Financing. The study was not sponsored. **Conflict of interest.** The authors declare no conflicts of interest. **Authors' contribution:** I.O. Gritskov — data analysis, drafting the manuscript; K.B. Kolontarev — literature review; A.V. Govorov — critical review; A.O. Vasiliev — scientific editing; D.Yu. Pushkar — scientific guidance

✉ **Corresponding author:** Igor O. Gritskov; grickoff@mail.ru

Received: 03/04/2023. **Accepted:** 05/16/2023. **Published:** 06/26/2023.

For citation: Kolontarev K.B., Gritskov I.O., Govorov A.V., Vasiliev A.O., Pushkar D.M. Robot-assisted technologies for targeted prostate biopsy: a literature review. *Urology Herald*. 2023;11(2):132-143. (In Russ.). DOI: 10.21886/2308-6424-2023-11-2-132-143.

Введение

Рак предстательной железы (РПЖ) является одним из самых распространённых онкологических заболеваний. Ежегодно во всем мире РПЖ диагностируется у 1,6 миллиона пациентов, а 366 000 из них заканчиваются смертельным исходом [1]. Согласно статистике, собранной United States Department of Health and Human Services (Американским Департаментом Здравоохранения), за один год возможно выявить 221 000 пациентов с данным диагнозом и в более чем 28 000 случаев злокачественный процесс может привести к смерти [2]. В то же время в России данные заболеваемости показали 43 890 клинических случаев и 16 390 смертельных исходов [3]. В связи с этим нельзя переоценить важность и актуальность вопроса точной диагностики рака предстательной железы. Раннее и достоверное выявление РПЖ оказывает огромное влияние не только на тактику ведения пациента, но и на успех его лечения. В том числе своевременная диагностика и точность поставленного диагноза поможет уменьшить количество осложнений среди пациентов с низкой степенью риска и повысить внимание к клиническим случаям, связанным с высоким риском [4].

Обладая высокой чувствительностью и специфичностью, биопсия является единственным методом верификации для правильной диагностики онкологических заболеваний [5]. При условии наличия правильной интерпретации гистологическое исследование способно помочь предсказать биологическое поведение живых тканей, определить тип, тактику и объём лечения, необходимого пациенту. Общая цель самого процесса получения биоптата — это изъятие из живого организма достаточного для диагностики количества как

патологических клеток, так и окружающих их тканей [6].

На сегодняшний день золотым стандартом диагностики рака предстательной железы является трансректальная 12-точечная биопсия под контролем ультразвукового исследования (УЗИ), в ходе которой производится забор биоптата из разных отделов предстательной железы. Однако существуют работы, демонстрирующие главные недостатки данного метода: субъективность ультразвуковой визуализации и неравномерность взятия биоптатов [7 – 9]. В связи с этим стремительно начали развиваться техники прицельной биопсии, основанные на данных, полученных с помощью мультипараметрической магнитно-резонансной томографии (мпМРТ) или при проведении ультразвукового исследования предстательной железы [10]. Метод гистосканирования предстательной железы основан на программно-аппаратном комплексе, способном к послойному сканированию при помощи трансректального датчика ультразвуковой диагностики с последующей оценкой полученных данных. После обработки изображений методом компьютерного зрения алгоритм выводит на экран трёхмерную реконструкцию простаты с выделением подозрительных в отношении онкологического процесса зон. Врач-уролог выбирает интересующую его зону и производит прицельный забор биоптата под ультразвуковым контролем, ориентируясь на изображения конкретных слоев, полученных в ходе гистосканирования [11]. Несмотря на новизну данной методики, проведённые исследования не всегда демонстрируют хорошую чувствительность и специфичность, что может быть связано с наличием фактора субъективной оценки совпадения изображений на экране ультра-

звукового аппарата и гистоскана [12].

Также распространён такой метод прицельной биопсии предстательной железы, как МРТ-Fusion промежуточная биопсия. Проведённые исследования демонстрируют преимущества использования мпМРТ и описывают метод как имеющий более высокую чувствительность и специфичность [13]. Именно он и используется для первичного получения данных при Fusion-биопсии. После обработки изображений в специальном программном обеспечении на изображение накладывается прицельная матрица, с помощью которой производится промежуточная таргетная биопсия [14]. Одной из проблем, препятствующей повсеместному распространению данного метода, является дороговизна первичного исследования, что не позволяет применять его в рутинной практике [15]. Необходимость в большом количестве дополнительного специфичного оборудования также является барьером для использования Fusion-биопсии [16].

Широкое распространение цифровых устройств и мультидисциплинарный подход к вопросам диагностики онкологических заболеваний может улучшить стандартизированные подходы к биопсийным исследованиям. Основным критерием оценки качества такого диагностического метода является определение чувствительности и специфичности. Многие исследования, представленные ниже, стремятся повысить данные показатели и привнести в алгоритм взятия биопсийного материала новые технологии [17].

Цель исследования заключалась в оценке, анализе и представлении актуальных данных о разработках, связанных с внедрением цифровых технологий и программно-аппаратных комплексов в практику таргетной биопсии предстательной железы.

Алгоритм литературного поиска

Проведён систематический поиск по базам данных PubMed и Scopus по ключевым словам: «робот-ассистированная биопсия», «таргетная биопсия предстательной железы», «роботические технологии». После чего в рукопись были включены те работы, которые свидетельствуют об экспериментах с полуавтоматическими роботическими комплексами.

Таргетная биопсия в урологии

Несмотря на недавние успехи в диагностике и лечении рака предстательной железы (РПЖ), эта патология остается одной из ведущих причин смертности [3]. На сегодняшний день для оценки динамики прогрессирования гиперплазии простаты широко распространена практика повторного взятия биоптата. В 1994 году в исследовании D.W. Keetch et al. было продемонстрировано, что повторное гистологическое исследование, проведенное после первого отрицательного результата, повышает вероятность адекватного выявления патологии [18]. В публикации D. Shepherd et al. было показано, что при попытке повторного проведения исследования из конкретной доли предстательной железы в 35% случаев гистологическое заключение не выявляло патологических процессов, известных ранее. Исследователи заключили, что с целью повышения точности диагностики следует проводить стандартную 12-точечную биопсию, не принимая во внимание результаты предыдущего исследования [19]. Согласно последним клиническим рекомендациям по лечению РПЖ, выполнение повторной биопсии рекомендовано при наличии отрицательного результата первичной биопсии и сохраняющихся показаниях к проведению исследования [20].

Несмотря на впечатляющие результаты рутинного выполнения стандартной 12-точечной биопсии, повышенное количество уколов биопсийной иглы может увеличивать частоту возникновения интра- и послеоперационных осложнений [21]. Также существуют исследования, демонстрирующие отсутствие в необходимости проведения систематической биопсии при использовании техники таргетного забора биоптата [22]. T. Loch в своих научных трудах рассказывает о разработанном программном обеспечении, способном улучшить точность диагностической биопсии предстательной железы при помощи снижения количества биоптатов и введения в практику таргетной биопсии. Принцип работы алгоритма заключается в анализе нейросетью изображений, полученных путём ультразвукового исследования простаты и выделения подозрительных на злокачественное новообразование участков для последующего прицельного забора материала. Анализ изображения происходит независимо от

градации серого цвета на выходном видеосигнале монитора, а сама диагностика производится пятью алгоритмами для оценки информации ультразвукового сигнала. На выходе врач-уролог имел интерпретированные результаты, в которых отмечены подозрительные на онкологическое заболевание участки, в дальнейшем подвергшиеся прицельной биопсии [23, 24]. Целью одной из исследовательских работ T. Loch et al. было определить возможность повышения выявляемости рака у пациентов, при повторной биопсии с помощью специализированного программного обеспечения. В исследование включены 75 пациентов, у 31 (41%) из которых было обнаружено злокачественное заболевание. Результаты этого клинического исследования продемонстрировали, что использование вспомогательного программного обеспечения может повысить точность диагностики клинически значимых случаев РПЖ, которые не могут быть визуализированы и обнаружены с помощью систематической 12-точечной биопсии [25].

Помимо специализированного программного обеспечения, для прицельной биопсии предстательной железы существует программно-аппаратный комплекс, способный повысить частоту выявления онкологического заболевания – HistoScanning™ (“Advanced Medical Diagnostics Holding S.A.”, Waterloo, Belgium) — гистосканирование предстательной железы. Программное обеспечение (ПО) данного оборудования основано на глубоком обучении нейросетей с использованием компьютерного зрения. Алгоритм настроен на обнаружение изменения ультразвукового сигнала, построение 3D-реконструкции и демонстрации на ней подозрительных на онкологию зон тканей предстательной железы. Аппаратная основа данного устройства представляет из себя отдельную стойку с компьютерным процессором, обрабатывающим сигналы, а также специализированную насадку на ультразвуковой трансректальный датчик. Перед проведением биопсии простаты врач-уролог запускает алгоритм гистосканирования, при котором трансректальный датчик ротируется магнитными валами насадки, совершая послойную съёмку и передачу изображений на компьютерный процессор. После обработки полученных данных и получении информации о локализации по-

дозрительных участков есть возможность провести таргетную биопсию прецизионных участков под визуальным контролем УЗИ [26]. Одни из первых исследований эффективности данного метода забора биоптата продемонстрировали его высокую чувствительность и специфичность: от 82% до 90%, и от 72% до 80% соответственно [27]. Однако существует ряд исследований, демонстрирующих, что, несмотря на результаты пилотных исследований, результаты прицельной биопсии предстательной железы с использованием гистосканирования могут сильно зависеть от специалиста, проводящего манипуляцию [28, 29]. Например, в работе J. Schiffmann et al. по сравнению стандартной 12-точечной с таргетной биопсией под контролем гистосканирования были включены 148 пациентов и каждому был проведён как прицельный, так и систематический забор биоптатов. Согласно статистическому анализу, выявлено, что частота ложноположительных результатов с использованием гистосканирования составила 82,6%, что в итоге не позволило авторам исследования рекомендовать данный способ для рутинной диагностики РПЖ [30].

Несмотря на более чем 30-летний период использования трансректального ультразвукового исследования (ТРУЗИ) в качестве средства визуализации предстательной железы, этот метод остается ограниченным для дифференцировки патологических тканей от доброкачественных [31].

В качестве более качественного метода визуализации простаты можно рассматривать мпМРТ. Благодаря высокому качеству изображения, получаемого в ходе исследования, мпМРТ представляет интерес для ранней диагностики клинически значимого РПЖ [32, 33]. Fusion-биопсия представляет собой прицельную промежуточную биопсию предстательной железы, которая осуществляется с помощью наложения на изображение УЗИ результатов мпМРТ с последующим выделением подозрительных зон и наведения биопсийной иглы при помощи матрицы координат, синхронизированной с показаниями датчика [34, 35].

При сравнительных исследованиях мпМРТ-Fusion-биопсии со стандартной 12-точечной биопсией при проведении повторной биопсии прицельный метод забора биоптата зачастую демонстрирует

более высокие показатели чувствительности и специфичности [36, 37]. Несмотря на хорошие статистические показатели данного метода, существует ряд ограничений, препятствующих его широкому распространению. Одним из таких барьеров является высокая стоимость мпМРТ, складывающаяся из стоимости оборудования, его обслуживания, а также содержание квалифицированного персонала, способного работать на данном типе аппаратов [38]. Ещё одним аспектом точной диагностики при помощи мультипараметрической магнитно-резонансной томографии является выбор метода гистологической оценки. В ретроспективном исследовании A.V. Rosenkrantz et al. было проведено сравнение точности диагностики при использовании шкал Prostate Imaging-Reporting and Data System (PI-RADS) и Likert. В исследовании было включено 70 пациентов с подозрением на злокачественную опухоль предстательной железы. После проведения лучевой диагностики каждому больному была выполнена стандартная 12-точечная биопсия, по результатам которой у 67 пациентов был диагностирован РПЖ. Далее было проведено сравнение результатов исследования мпМРТ среди трёх врачей-рентгенологов, имеющих опыт работы не менее 6 лет. Было продемонстрировано, что при использовании шкалы PI-RADS, точность диагностики патологических процессов в переходной зоне была меньше, чем при использовании шкалы Likert [39].

Робот-ассистированная биопсия

Медицинская робототехника представляет из себя быстроразвивающуюся отрасль медицины и используется во многих направлениях (малоинвазивная хирургия, оптимизация больниц для оказания неотложной помощи, протезирование, помощь на дому и т.д.). Нормативные, этические и правовые нормы, накладываемые на автоматизированные медицинские устройства, требуют тщательного рассмотрения и регулирования. Учитывая то, что у автономных транспортных средств подобные правила и категоризации определены [40], для медицинского оборудования в 2017 году была предложена следующая классификация:

Уровень 0 характеризуется отсутствием автономии. К данной группе относят-

ся телеуправляемые роботы или протезы, способные реагировать на голосовые команды пользователя и выполнять их. Сюда же подходят и хирургические робот-ассистированные системы, имеющие полный контроль хирургом-оператором (принцип master-slave).

Уровень 1 — роботы-ассистенты. Подобные аппаратные комплексы обеспечивают механическое руководство или помощь во время выполнения задачи, в то время как человек имеет постоянный контроль над системой. По данному принципу работают роботические системы, предназначенные для таргетной биопсии и функционирующие полуавтоматическим способом.

Уровень 2 — автономные системы, способные выполнять иницилируемые человеком задачи. Отличие от уровня 1 здесь заключается в то, что оператор имеет дискретный контроль и может не осуществлять непрерывный контроль над системой. Примером подобной роботической системы может служить аппарат, способный в автоматическом режиме накладывать швы. Данный автономный ассистент прошел испытания *in vivo*, в ходе которого показал качество анастомоза, сравнимое с работой опытных хирургов [41].

Уровень 3 — роботические системы, имеющие условную автономию, такие как протезы активной конечности, которая получает сигнал от владельца о начале движения и автоматически подстраивается под изменяемые условия движения без прямого контроля человеком.

Уровни 4 и 5 являются теоретическими категориями, в которые входят роботы-хирурги, способные принимать медицинские решения под наблюдением человека или без него [42].

Одним из первых роботических манипуляторов, опробованном в качестве автоматического наведения для прицельной биопсии головного мозга под контролем компьютерной томографии, является Programmable Universal Manipulation Arm (PUMA). Идея использовать промышленный манипулятор в медицинских целях подразумевала снижение влияния человеческого фактора, например естественного тремора рук хирурга во время проведения забора биоптата. Однако данный аппаратный комплекс не получил развития из-за относительно низкой точности при позици-

онировании иглы, что является ключевым аспектом в нейрохирургии [43, 44].

На сегодняшний день превосходство роботических систем было не раз показано в исследованиях кафедры урологии Московского государственного медикостоматологического университета им. А.И. Евдокимова. Роботические хирургические системы способны не только уменьшить интраоперационную кровопотерю, но и уменьшить количество послеоперационных осложнений [45, 46]. Современные робот-ассистированные методы позволяют выполнять целевую биопсию с предельной точностью и в полуавтоматическом режиме, а сопутствующее программное обеспечение облегчает её планирование и выполнение [47]. Так, на смену роботической системе PUMA в неврологию пришли новые, более точные и безопасные образцы [48, 49], некоторые из которых в том числе могут использоваться для микроволновой абляции опухоли и уже имеют коммерчески доступные аналоги [50]. Механические манипуляторы, способные к точному позиционированию иглы, также нашли своё применение в ортопедических операциях [51], а существующие аналоги способны проводить под контролем ультразвука биопсию молочных желез [52]. Разработаны универсальные роботы-ассистенты для прицельного проведения биопсийных игл [53], а также узкоспециализированные, например для биопсии костной ткани [54].

Роботические системы и специализированное программное обеспечение для целевой биопсии предстательной железы

KOELIS Trinity® ("Koelis®", Meylan, France) является специализированным программным обеспечением, предназначенным для обработки изображений, полученных с помощью трансректального ультразвукового датчика с реконструкцией и визуализацией точного положения биопсийной иглы в отсканированном пространстве. Новизна данного комплекса заключается в объединении сразу нескольких функций в одном алгоритме, что можно отнести к уровню 0 согласно вышеописанной классификации [55]. Данное ПО предназначено для совместного использования с аппаратным комплексом Fusion-биопсии и согласно опубликованным исследованиям способно по-

высить специфичность и чувствительность данного метода [56, 57].

Real-Time Virtual Sonography (RVS) ("Hitachi Ltd.", Tokyo, Japan) и Virtual Navigator ("Esaote S.p.A.", Genoa, Italy) являются программным обеспечением, способным в реальном времени сравнивать сигналы ультразвукового датчика с полученными ранее мпМРТ-изображениями, отмечая подозрительные участки на экране, что помогает в прицеливании во время целевой биопсии. К преимуществам этих систем относится меньшая стоимость дополнительного оборудования, включающего в себя только дополнительный компьютер с данным программным обеспечением [58, 59].

bkFusion ("Analogic Corp.", Peabody, MA, USA) также заявляется производителем одного из программных обеспечений, повышающих чувствительность и специфичность Fusion-биопсии. Однако на данный момент в мировой литературе опубликовано крайне мало работ по изучению этого ПО [60].

Artemis Fusion system ("Eigen Health Services, LLC", Grass Valley, CA, USA) является программно-аппаратным комплексом, представляющим из себя роботический манипулятор и ПО для отслеживания точек взятия биоптатов (рис. 1). Одной из дополнительных функций является возможность загрузки результатов мпМРТ с последую-



Рисунок 1. Внешний вид аппаратного комплекса Artemis Fusion system [61]

Figure 1. Artemis Fusion system hardware complex [61]

щей обработкой и совмещения изображений с ультразвукового трансректального датчика. Данный роботический ассистент уже прошел клинические испытания, подтвердившие эффективность 3D-трекинга биопсийной иглы и совмещения результатов двух методов лучевой диагностики [61 – 63].

iSR'obot MonaLisa ("Biobot Surgical Pte Ltd.", Singapore, Republic of Singapore) – роботический манипулятор, предназначенный для трансперинеальной биопсии простаты (рис. 2). В качестве подготовки к операции, включающей в себя использование данного устройства, также требуется загрузка результатов мпМРТ и ТРУЗИ для совместного проектирования 3D-модели предстательной железы и изображения с ультразвукового датчика. Отличительной особенностью данного комплекса является радиус и механика движения прицельного приспособления, имеющего концепцию двойного конуса, которая, по словам разработчиков, гарантирует беспрепятственное проведение биопсии из любой области предстательной железы. Программное обеспечение данной роботической системы также обеспечивает автоматическое определение глубины проникновения биопсийной иглы, что снижает вероятность ошибки при получении биоптата [47, 64].



Рисунок 2. Внешний вид роботического манипулятора iSR'obot MonaLisa [64]

Figure 2. iSR'obot MonaLisa robotic arm [64]



Рисунок 3. Механизм роботизированной системы PROST [59]

Figure 3. PROST robotic system [59]

Идея роботической системы PROST ("ALTAIR Robotics Lab", University of Verona, Verona, Italy) заключается в исключении человеческого фактора при планировании и проведении трансректальной биопсии предстательной железы. Данная биопсийная система имеет двухосевой манипулятор, расположенный на отдельной медицинской стойке и обеспечивающий ротацию и движение трансректального ультразвукового датчика по оси X (рис. 3).

С целью обеспечения позиционирования биопсийной иглы и повышения точности процесса получения биопсийного материала прицельная шахта-проводник для иглы оснащена датчиками и специальным механизмом, способным регулировать направление прокола. Данный аппаратный комплекс оснащён системой искусственного интеллекта, способного обрабатывать сигнал с трансректального ультразвукового датчика и помечать для врача-оператора подозрительные участки. Специалист в свою очередь может выбрать уже конкретную точку прицельной биопсии, на которую роботическая система нацелится в автоматическом режиме. Калибровка всего аппаратного комплекса осуществляется при помощи гелевого фантома простаты. Однако укол биопсийной иглой и забор биоптата производится непосредственно врачом. Все описанные механизмы и ПО обеспечивают прицельную точность в пределах одного миллиметра [59].

S. Lim et al. была разработана роботическая система для прицельной биопсии предстательной железы (рис. 4). Сама конструкция роботического манипулятора

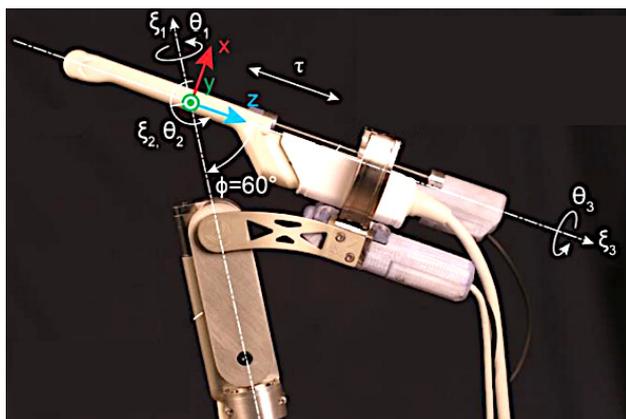


Рисунок 4. Роботический манипулятор, представленный S. Lim et al. [65]
Figure 4. Robotic arm presented by S. Lim et al. [65]

имеет 4 степени свободы, которыми может управлять врач для точного наведения биопсийной иглы. Программное обеспечение данного устройства способно не только минимизировать и предсказать смещение тканей простаты при их деформации трансректальным ультразвуковым датчиком или введением местного анестетика, но и визуализировать систему координат, помогающую специалисту в планировании проведения манипуляции. Данный программно-аппаратный комплекс прошёл 2 стендовых, 1 визуализирующий и 2 теста прицеливания в условиях *in vitro*, а также был испытан в ходе клинических испытаний. Эксперименты показали, что точность наведения биопсийной иглы у данной роботической системы осуществляется в пределах 1 мм, а общее время процедуры в среднем составило 13 минут [65].

Механический штатив, представленный D. Beyersdorff et al. ("Soteria Medical BV", Arnhem, the Netherlands), имеет более простую конструкцию, но без программного обеспечения и роботизированной механики. Это устройство позволяют проводить биопсию предстательной железы под контролем магнитно-резонансной томографии [66]. На основе данной разработки был произведён роботический манипулятор для использования в тех же условиях. Отличительной особенностью этого аппарата является принцип приведения в движение механизированных частей при помощи сжатого воздуха и контроллера, находящихся вне кабинета МРТ [67].

Сегодня из-за широкого распространения цифровой аппаратуры и повсеместного

использования сети Интернет стало возможным аккумулировать огромное количество информации, в том числе и медицинских данных, формирующих целые базы и обозначаемых как Большие данные (Big data). Аналитика больших данных стала распространена не только среди работников экономической сферы, но и привела к новым методам диагностики в здравоохранении. Использование нейросетей, способных искать скрытые взаимосвязи в большом объёме на первый взгляд несвязанных данных, может снижать расходы на медицинские услуги. С приходом понятия Больших данных и методов их анализа стало возможным проводить крупномасштабные генетические исследования и облегчить разработку новых лекарств [68 – 70].

Заключение

Важным аспектом в лечении любого онкологического заболевания является своевременная диагностика онкологических заболеваний. Правильная постановка диагноза во многом зависит от выполнения забора биологического материала. В настоящее время остается нерешённым вопрос о персонализированном подходе при проведении биопсии предстательной железы с сохранением высоких показателей чувствительности и специфичности метода. На результаты гистологического исследования всё ещё имеют сильное влияние такие факторы, как опыт хирурга, локализация поражения, техника взятия биоптатов и другие человеческие факторы. С появлением робот-ассистированных систем и цифровизации огромного количества информации медицина сделала большой шаг вперёд. Многие исследования демонстрируют превосходство хирургических манипуляторов над традиционной хирургией. Повторения этих успехов ожидается и в других сферах медицины, например в диагностике онкологических заболеваний. На сегодняшний день во многих странах отменён скрининг РПЖ. Это связано с большим количеством не оправданных трансректальных биопсий, не способствующих большему числу выявления онкологических заболеваний, но приводящих к увеличению шанса возникновения интра- и послеоперационных осложнений. Отсутствие технологии высокоточного взятия биоптата является

звеном, изменив которое возможно будет улучшить подход к существующему методу гистологической верификации онкологического заболевания путем уменьшения воздействия человеческого фактора. Вышеизложенные результаты работ демонстрируют нам актуальность данной идеи. Ряд роботических манипуляторов, предназначенных для прицельной биопсии, уже

находится на стадии разработки. Несмотря на это, свидетельства о более серьезных достижениях в данной области отсутствуют. Выявленные предпосылки к использованию робот-ассистированной системы для таргетной биопсии предстательной железы обуславливают целесообразность проведения работ по созданию новейших моделей биопсийных манипуляторов.

Список литературы | References

- 1 Pernar CH, Ebot EM, Wilson KM, Mucci LA. The Epidemiology of Prostate Cancer. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2018;8(12):a030361. DOI: 10.1101/cshperspect.a030361
- 2 Moul JW. Population screening for prostate cancer and emerging concepts for young men. *Clin Prostate Cancer*. 2003;2(2):87-97. DOI: 10.3816/cgc.2003.n.015
- 3 Сомов А.Н., Суслин С.А. Рак предстательной железы. Эпидемиология, факторы риска и раннее выявление. *Профилактическая медицина*. 2020;23(3):149-155. Somov AN, Suslin SA. Prostate cancer. Epidemiology, risk factors and early detection. *The Russian Journal of Preventive Medicine*. 2020;23(3):149-155. (In Russian). DOI: 10.17116/profmed202023031149
- 4 Verma S, Choyke PL, Eberhardt SC, Oto A, Tempany CM, Turkbey B, Rosenkrantz AB. The Current State of MR Imaging-targeted Biopsy Techniques for Detection of Prostate Cancer. *Radiology*. 2017;285(2):343-356. DOI: 10.1148/radiol.2017161684
- 5 de Bazelaire C, Coffin A, Cohen S, Scemama A, de Kerviler E. Biopsies in oncology. *Diagn Interv Imaging*. 2014;95(7-8):647-57. DOI: 10.1016/j.diii.2014.04.016
- 6 Withrow SJ. Biopsy principles. *Vet Q*. 1998;20 Suppl 1:S14-5. DOI: 10.1080/01652176.1998.10807385
- 7 Donaldson IA, Moore CM, Emberton M, Ahmed HU. Re: Geometric evaluation of systematic transrectal ultrasound guided prostate biopsy: M. Han, D. Chang, C. Kim, B. J. Lee, Y. Zuo, H.-J. Kim, D. Petrisor, B. Trock, A. W. Partin, R. Rodriguez, H. B. Carter, M. Allaf, J. Kim and D. Stoianovici. *J Urol* 2012; 188: 2404-2409. *J Urol*. 2013;190(1):363-4. DOI: 10.1016/j.juro.2013.02.001
- 8 Mozer P, Baumann M, Chevreau G, Moreau-Gaudry A, Bart S, Renard-Penna R, Comperat E, Conort P, Bitker MO, Chartier-Kastler E, Richard F, Troccaz J. Mapping of transrectal ultrasonographic prostate biopsies: quality control and learning curve assessment by image processing. *J Ultrasound Med*. 2009;28(4):455-60. DOI: 10.7863/jum.2009.28.4.455
- 9 Turkbey B, Xu S, Kruecker J, Locklin J, Pang Y, Bernardo M, Merino MJ, Wood BJ, Choyke PL, Pinto PA. Documenting the location of prostate biopsies with image fusion. *BJU Int*. 2011;107(1):53-7. DOI: 10.1111/j.1464-410X.2010.09483.x
- 10 Gayet M, van der Aa A, Beerlage HP, Schrier BP, Mulders PF, Wijkstra H. The value of magnetic resonance imaging and ultrasonography (MRI/US)-fusion biopsy platforms in prostate cancer detection: a systematic review. *BJU Int*. 2016;117(3):392-400. DOI: 10.1111/bju.13247
- 11 Morozov A, Kozlov V, Rivas JG, Teoh JY, Bezrukov E, Amosov A, Barret E, Taratkin M, Salomon G, Herrmann TRW, Gozen A, Enikeev D; collaboration between ESUT, ESUI and Uro-technology WP of the Young Academic Urologists. A systematic review and meta-analysis of Histoscanning™ in prostate cancer diagnostics. *World J Urol*. 2021;39(10):3733-3740. DOI: 10.1007/s00345-021-03684-8
- 12 Wysock JS, Xu A, Orczyk C, Taneja SS. HistoScanning™ to Detect and Characterize Prostate Cancer—a Review of Existing Literature. *Curr Urol Rep*. 2017;18(12):97. DOI: 10.1007/s11934-017-0747-y
- 13 Бычковский В.А., Макасов Д.А., Тишевская Н.В., Копасов Е.В., Васильков А.Ю., Милютин А.А. Биопсия предстательной железы и дополнительные методы обследования в первичной диагностике рака предстательной железы. *Актуальные вопросы хирургии. Сборник научно-практических работ*. 2016;11. Bychkovsky V.A., Maksakov D.A., Tishevskaya N.V., Kopasov E.V., Vasilkov A.Yu., Milyutin A.A. Biopsy of the prostate gland and additional methods of examination in the primary diagnostic of prostate cancer. *Topical issues of surgery. Collection of scientific and practical works*. 2016;11. (In Russian).
- 14 Das CJ, Razik A, Sharma S. Magnetic Resonance Imaging-Transrectal Ultrasound Fusion Biopsy of the Prostate-An Update. *Semin Roentgenol*. 2018;53(3):219-226. DOI: 10.1053/j.ro.2018.04.003
- 15 Kesch C, Schütz V, Dieffenbacher S, Bonekamp D, Hadaschik BA, Hohenfellner M, Radtke JP. Multiparametric MRI fusion-guided biopsy for the diagnosis of prostate cancer. *Curr Opin Urol*. 2018;28(2):172-177. DOI: 10.1097/MOU.0000000000000461
- 16 Jue JS, Rastinehad AR. MRI Fusion Transperineal Prostate Biopsy Instructions and Troubleshooting. *J Endourol*. 2021;35(S2):S2-S6. DOI: 10.1089/end.2020.1075
- 17 Galosi AB, Maselli G, Sbrollini G, Donatelli G, Montesi L, Tallè M, Montironi R. Cognitive zonal fusion biopsy of the prostate: Original technique between target and saturation. *Arch Ital Urol Androl*. 2016;88(4):292-295. DOI: 10.4081/aiua.2016.4.292
- 18 Keetch DW, Catalona WJ, Smith DS. Serial prostatic biopsies in men with persistently elevated serum prostate specific antigen values. *J Urol*. 1994;151(6):1571-4. DOI: 10.1016/s0022-5347(17)35304-1
- 19 Shepherd D, Keetch DW, Humphrey PA, Smith DS, Stahl D. Repeat biopsy strategy in men with isolated prostatic intraepithelial neoplasia on prostate needle biopsy. *J Urol*.

- 1996;156(2 Pt 1):460-2; discussion 462-3.
DOI: 10.1097/00005392-199608000-00038
- 20 Heidenreich A, Bastian PJ, Bellmunt J, Bolla M, Joniau S, van der Kwast T, Mason M, Matveev V, Wiegel T, Zattoni F, Mottet N; European Association of Urology. EAU guidelines on prostate cancer. part 1: screening, diagnosis, and local treatment with curative intent-update 2013. *Eur Urol*. 2014;65(1):124-37.
DOI: 10.1016/j.eururo.2013.09.046
- 21 Derin O, Fonseca L, Sanchez-Salas R, Roberts MJ. Infectious complications of prostate biopsy: winning battles but not war. *World J Urol*. 2020;38(11):2743-2753.
DOI: 10.1007/s00345-020-03112-3
- 22 Prince M, Foster BR, Kaempf A, Liu JJ, Amling CL, Isharwal S, Chen Y, Coakley FV. In-Bore Versus Fusion MRI-Targeted Biopsy of PI-RADS Category 4 and 5 Lesions: A Retrospective Comparative Analysis Using Propensity Score Weighting. *AJR Am J Roentgenol*. 2021;217(5):1123-1130.
DOI: 10.2214/AJR.20.25207
- 23 Loch T, Leuschner I, Genberg C, Weichert-Jacobsen K, Küppers F, Retz M, Lehmann J, Yfantis E, Evans M, Tsarev V, Stöckle M. Weiterentwicklung des transrektalen Ultraschalls. Artificielle neuronale Netzwerkanalyse (ANNA) in der Erkennung und Stadieneinteilung des Prostatakarzinoms [Improvement of transrectal ultrasound. Artificial neural network analysis (ANNA) in detection and staging of prostatic carcinoma]. *Urologe A*. 2000;39(4):341-7. (In German)
DOI: 10.1007/s001200050367
- 24 Loch T. Computergestützter transrektaler Ultraschall (C-TRUS) in der Diagnostik des Prostatakarzinoms [Computerized supported transrectal ultrasound (C-TRUS) in the diagnosis of prostate cancer]. *Urologe A*. 2004;43(11):1377-84. (In German).
DOI: 10.1007/s00120-004-0710-7
- 25 Loch T. Computerized transrectal ultrasound (C-TRUS) of the prostate: detection of cancer in patients with multiple negative systematic random biopsies. *World J Urol*. 2007;25(4):375-80. Erratum in: *World J Urol*. 2013;31(4):1019.
DOI: 10.1007/s00345-007-0181-8
- 26 Фёдорова А.А., Амосов А.В., Говоров А.В., Зубарев А.В., Васильев А.О., Прилепская Е.А., Ковылина М.В., Окишев А.В., Пушкарь Д.Ю. Гистосканирование предстательной железы. *Методические рекомендации*. Москва; 2019. Fedorova A.A., Amosov A.V., Govorov A.V., Zubarev A.V., Vasiliev A.O., Prilepskaya E.A., Kovylyina M.V., Okishev A.V., Pushkar D.Yu. Histoscan of the prostate. *Guidelines*. Moscow; 2019. (In Russian).
- 27 Simmons LA, Autier P, Zát'ura F, Braeckman J, Peltier A, Romic I, Stenzl A, Treurnicht K, Walker T, Nir D, Moore CM, Emberton M. Detection, localisation and characterisation of prostate cancer by prostate HistoScanning™. *BJU Int*. 2012;110(1):28-35.
DOI: 10.1111/j.1464-410X.2011.10734.x
- 28 Glybochko PV, Alyaev YG, Amosov AV, Krupinov GE, Nir D, Winkler M, Ganzha TM. Evaluation of Prostate HistoScanning as a Method for Targeted Biopsy in Routine Practice. *Eur Urol Focus*. 2019;5(2):179-185.
DOI: 10.1016/j.euf.2017.07.001
- 29 Schiffmann J, Mehring G, Tennstedt P, Manka L, Boehm K, Leyh-Bannurah SR, Karakiewicz PI, Hammerer P, Graefen M, Salomon G. True targeting-derived prostate biopsy: HistoScanning™ remained inadequate despite advanced technical efforts. *World J Urol*. 2016;34(4):495-500.
DOI: 10.1007/s00345-015-1637-x
- 30 Schiffmann J, Fischer J, Tennstedt P, Beyer B, Böhm K, Michl U, Graefen M, Salomon G. Comparison of prostate cancer volume measured by HistoScanning™ and final histopathological results. *World J Urol*. 2014;32(4):939-44.
DOI: 10.1007/s00345-013-1211-3
- 31 Heijmink SW, van Moerkerk H, Kiemeny LA, Witjes JA, Ferauscher F, Barentsz JO. A comparison of the diagnostic performance of systematic versus ultrasound-guided biopsies of prostate cancer. *Eur Radiol*. 2006;16(4):927-38.
DOI: 10.1007/s00330-005-0035-y
- 32 Isebaert S, Van den Bergh L, Haustermans K, Joniau S, Lerut E, De Wever L, De Keyzer F, Budiharto T, Slagmolen P, Van Poppel H, Oyen R. Multiparametric MRI for prostate cancer localization in correlation to whole-mount histopathology. *J Magn Reson Imaging*. 2013;37(6):1392-401.
DOI: 10.1002/jmri.23938
- 33 Hegde JV, Mulkern RV, Panych LP, Fennessy FM, Fedorov A, Maier SE, Tempny CM. Multiparametric MRI of prostate cancer: an update on state-of-the-art techniques and their performance in detecting and localizing prostate cancer. *J Magn Reson Imaging*. 2013;37(5):1035-54.
DOI: 10.1002/jmri.23860
- 34 Hansen N, Patruno G, Wadhwa K, Gaziev G, Miano R, Barrett T, Gnanapragasam V, Doble A, Warren A, Bratt O, Kastner C. Magnetic Resonance and Ultrasound Image Fusion Supported Transperineal Prostate Biopsy Using the Ginsburg Protocol: Technique, Learning Points, and Biopsy Results. *Eur Urol*. 2016;70(2):332-40.
DOI: 10.1016/j.eururo.2016.02.064
- 35 Гулин Г.А., Зырянов А.В., Рубцова Н.А., Артемов В.М., Замятин А.В., Гребенев Е.А. Мультипараметрическая МРТ и комбинированная биопсия предстательной железы: возможности, преимущества и недостатки. *Медицинская визуализация*. 2021;25(2):138-152. Gulin G.A., Zyryanov A.V., Rubtsova N.A., Artyemov V.M., Zamyatin A.V., Grebenev E.A. Multiparametric magnetic resonance imaging and combined prostate biopsy: opportunities, advantages and pitfalls. *Medical Visualization*. 2021;25(2):138-152. (In Russ.)
DOI: 10.24835/1607-0763-1023
- 36 Rothwax JT, George AK, Wood BJ, Pinto PA. Multiparametric MRI in biopsy guidance for prostate cancer: fusion-guided. *Biomed Res Int*. 2014;2014:439171.
DOI: 10.1155/2014/439171
- 37 Peltier A, Aoun F, Lemort M, Kwizera F, Paesmans M, Van Velthoven R. MRI-targeted biopsies versus systematic transrectal ultrasound guided biopsies for the diagnosis of localized prostate cancer in biopsy naïve men. *Biomed Res Int*. 2015;2015:571708.
DOI: 10.1155/2015/571708
- 38 Rais-Bahrami S, Siddiqui MM, Vourganti S, Turkbey B, Rastinehad AR, Stamatakis L, Truong H, Walton-Diaz A, Hoang AN, Nix JW, Merino MJ, Wood BJ, Simon RM, Choyke PL, Pinto PA. Diagnostic value of biparametric magnetic resonance imaging (MRI) as an adjunct to prostate-specific antigen (PSA)-based detection of prostate cancer in men without prior biopsies. *BJU Int*. 2015;115(3):381-8.
DOI: 10.1111/bju.12639
- 39 Rosenkrantz AB, Kim S, Lim RP, Hindman N, Deng FM, Babb JS, Taneja SS. Prostate cancer localization using multiparametric MR imaging: comparison of Prostate Imaging Reporting and Data System (PI-RADS) and Likert scales. *Radiology*. 2013;269(2):482-92.
DOI: 10.1148/radiol.13122233
- 40 Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems (SAE International,

- 2016). Accessed on May 12, 2023.
http://standards.sae.org/j3016_201609/
- 41 Shademan A, Decker RS, Opfermann JD, Leonard S, Krieger A, Kim PC. Supervised autonomous robotic soft tissue surgery. *Sci Transl Med*. 2016;8(337):337ra64.
DOI: 10.1126/scitranslmed.aad9398
- 42 Yang GZ, Cambias J, Cleary K, Daimler E, Drake J, Dupont PE, Hata N, Kazanzides P, Martel S, Patel RV, Santos VJ, Taylor RH. Medical robotics-Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy. *Sci Robot*. 2017;2(4):eaam8638.
DOI: 10.1126/scirobotics.aam8638
- 43 Kwoh YS, Hou J, Jonckheere EA, Hayati S. A robot with improved absolute positioning accuracy for CT guided stereotactic brain surgery. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1988;35(2):153-60.
DOI: 10.1109/10.1354
- 44 Theodore N, Arnold PM, Mehta AI. Introduction: the rise of the robots in spinal surgery. *Neurosurg Focus*. 2018;45(VideoSuppl1):Intro.
DOI: 10.3171/2018.7.FocusVid.Intro
- 45 Пушкарь Д.Ю., Дьяков В.В., Котенко Д.В., Васильев А.О. Сравнение функциональных результатов после радикальной позадилоной и робот-ассистированной простатэктомии, выполненных по нервосберегающей методике хирургами с опытом более 1000 операций. *Урология*. 2017;(1):50-53.
Pushkar D.Yu., Dyakov V.V., Kotenko D.V., Vasiliev A.O. Comparison of functional results after radical retropubic and robot-assisted prostatectomy performed by surgeons with more than 1000 operations experience using a nerve-sparing technique. *Urology*. 2017;(1):50-53. (In Russian).
DOI: 10.18565/urolog.2017.1.50-53
- 46 Пушкарь Д.Ю., Говоров А.В., Васильев А.О., Колонтарев К.Б., Прилепская Е.А., Ковылина М.В., Садченко А.В., Сидоренко А.В. Московская программа ранней диагностики и лечения РПЖ. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2019;27:677-686.
Pushkar DY, Govorov AV, Vasilyev AO, Kolontarev KB, Prilepenskaya EA, Kovylyina MV, Sadchenko AV, Sidorenkov AV. [Moscow program of early detection and treatment of prostate cancer]. *Probl Sotsialnoi Gig Zdravookhranennii Istor Med*. 2019;27(Special Issue):677-686. (In Russian).
DOI: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-677-686
- 47 Wetterauer C, Trotsenko P, Matthias MO, Breit C, Keller N, Meyer A, Brantner P, Vlajnic T, Bubendorf L, Winkel DJ, Kwiatkowski M, Seifert HH. Diagnostic accuracy and clinical implications of robotic assisted MRI-US fusion guided target saturation biopsy of the prostate. *Sci Rep*. 2021;11(1):20250.
DOI: 10.1038/s41598-021-99854-0
- 48 Karasin B, Hardinge T, Eskuchen L, Watkinson J. Care of the Patient Undergoing Robotic-Assisted Brain Biopsy With Stereotactic Navigation: An Overview. *AORN J*. 2022;115(3):223-236.
DOI: 10.1002/aorn.13622
- 49 Spyrtantis A, Woebbecke T, Constantinescu A, Cattani A, Quick-Weller J, Willems LM, Marquardt G, Seifert V, Freiman TM. Comparison of frame-less robotic versus frame-based stereotactic biopsy of intracranial lesions. *Clin Neurol Neurosurg*. 2021;207:106762.
DOI: 10.1016/j.clineuro.2021.106762
- 50 Smakic A, Rathmann N, Kostrzewa M, Schönberg SO, Weiß C, Diehl SJ. Performance of a Robotic Assistance Device in Computed Tomography-Guided Percutaneous Diagnostic and Therapeutic Procedures. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2018;41(4):639-644.
DOI: 10.1007/s00270-017-1841-8
- 51 Wiewiorski M, Valderrabano V, Kretzschmar M, Rasch H, Markus T, Dziergwa S, Kos S, Bilecen D, Jacob AL. CT-guided robotically-assisted infiltration of foot and ankle joints. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2009;18(5):291-6.
DOI: 10.1080/13645700903059193
- 52 Groenhuis V, Visentin F, Siepel FJ, Maris BM, Dall'alba D, Fiorini P, Stramigioli S. Analytical derivation of elasticity in breast phantoms for deformation tracking. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2018;13(10):1641-1650.
DOI: 10.1007/s11548-018-1803-x
- 53 Hiraki T, Kamegawa T, Matsuno T, Sakurai J, Komaki T, Yamaguchi T, Tomita K, Uka M, Matsui Y, Iguchi T, Gobara H, Kanazawa S. Robotic needle insertion during computed tomography fluoroscopy-guided biopsy: prospective first-in-human feasibility trial. *Eur Radiol*. 2020;30(2):927-933.
DOI: 10.1007/s00330-019-06409-z
- 54 Groetz S, Wilhelm K, Willinek W, Pieper C, Schild H, Thomas D. A new robotic assistance system for percutaneous CT-guided punctures: Initial experience. *Minim Invasive Ther Allied Technol*. 2016;25(2):79-85.
DOI: 10.3109/13645706.2015.1110825
- 55 Leroy A, Baumann M, Mozer P, Troccaz J, Daanen V., inventors; System and method for imaging and locating punctures under prostatic echography. US Patent US8369592B2. February 05, 2013.
- 56 Lacetera V, Cervelli B, Cicetti A, Gabrielloni G, Montesi M, Morcellini R, Parri G, Recanatini E, Giglioni G, Galosi AB, Beatrice V. MRI/US fusion prostate biopsy: Our initial experience. *Arch Ital Urol Androl*. 2016;88(4):296-299.
DOI: 10.4081/aiua.2016.4.296
- 57 Jacewicz M, Günzel K, Rud E, Lauritzen PM, Galtung KF, Hinz S, Magheli A, Baco E. Multicenter transperineal MRI-TRUS guided outpatient clinic prostate biopsies under local anesthesia. *Urol Oncol*. 2021;39(7):432.e1-432.e7.
DOI: 10.1016/j.urolonc.2020.11.009
- 58 Miyagawa T, Ishikawa S, Kimura T, Suetomi T, Tsutsumi M, Irie T, Kondoh M, Mitake T. Real-time Virtual Sonography for navigation during targeted prostate biopsy using magnetic resonance imaging data. *Int J Urol*. 2010;17(10):855-60.
DOI: 10.1111/j.1442-2042.2010.02612.x
- 59 Maris B, Tenga C, Vicario R, Palladino L, Murr N, De Piccoli M, Calanca A, Puliatti S, Micali S, Tafuri A, Fiorini P. Toward autonomous robotic prostate biopsy: a pilot study. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2021;16(8):1393-1401.
DOI: 10.1007/s11548-021-02437-7
- 60 Caldwell B, Greenwald D, Moreira D, Tain RW, Coogan C, Xie K, Mar W, Pfanner P, Abern M. Constructing and Pilot Testing a Novel Prostate Magnetic Resonance Imaging/Ultrasound Fusion Biopsy Phantom. *Urology*. 2019;124:33-37.
DOI: 10.1016/j.urology.2018.10.029
- 61 Natarajan S, Marks LS, Margolis DJ, Huang J, Macairan ML, Lieu P, Fenster A. Clinical application of a 3D ultrasound-guided prostate biopsy system. *Urol Oncol*. 2011;29(3):334-42.
DOI: 10.1016/j.urolonc.2011.02.014
- 62 Sonn GA, Natarajan S, Margolis DJ, MacAiran M, Lieu P, Huang J, Dorey FJ, Marks LS. Targeted biopsy in the detection of prostate cancer using an office based magnetic resonance ultrasound fusion device. *J Urol*. 2013;189(1):86-91.
DOI: 10.1016/j.juro.2012.08.095
- 63 Mesko S, Marks L, Ragab O, Patel S, Margolis DA, Demanes DJ, Kamrava M. Targeted Prostate Biopsy Gleason Score Heterogeneity and Implications for Risk Stratification. *Am J Clin Oncol*. 2018;41(5):497-501.
DOI: 10.1097/COC.0000000000000308

- 64 Miah S, Servian P, Patel A, Lovegrove C, Skelton L, Shah TT, Eldred-Evans D, Arya M, Tam H, Ahmed HU, Winkler M. A prospective analysis of robotic targeted MRI-US fusion prostate biopsy using the centroid targeting approach. *J Robot Surg*. 2020;14(1):69-74. DOI: 10.1007/s11701-019-00929-y
- 65 Lim S, Jun C, Chang D, Petrisor D, Han M, Stoianovici D. Robotic Transrectal Ultrasound Guided Prostate Biopsy. *IEEE Trans Biomed Eng*. 2019;66(9):2527-2537. DOI: 10.1109/TBME.2019.2891240
- 66 Beyersdorff D, Winkel A, Hamm B, Lenk S, Loening SA, Taupitz M. MR imaging-guided prostate biopsy with a closed MR unit at 1.5 T: initial results. *Radiology*. 2005;234(2):576-81. DOI: 10.1148/radiol.2342031887
- 67 Vilanova JC, Pérez de Tudela A, Puig J, Hoogenboom M, Barceló J, Planas M, Sala S, Thió-Henestrosa S. Robotic-assisted transrectal MRI-guided biopsy. Technical feasibility and role in the current diagnosis of prostate cancer: an initial single-center experience. *Abdom Radiol (NY)*. 2020;45(12):4150-4159. DOI: 10.1007/s00261-020-02665-6
- 68 Wang L, Alexander CA. Big data analytics in medical engineering and healthcare: methods, advances and challenges. *J Med Eng Technol*. 2020;44(6):267-283. DOI: 10.1080/03091902.2020.1769758
- 69 Ngiam KY, Khor IW. Big data and machine learning algorithms for health-care delivery. *Lancet Oncol*. 2019;20(5):e262-e273. Erratum in: *Lancet Oncol*. 2019;20(6):293. DOI: 10.1016/S1470-2045(19)30149-4
- 70 Parikh RB, Gdowski A, Patt DA, Hertler A, Mermel C, Bekelman JE. Using Big Data and Predictive Analytics to Determine Patient Risk in Oncology. *Am Soc Clin Oncol Educ Book*. 2019;39:e53-e58. DOI: 10.1200/EDBK_238891

Сведения об авторах

Константин Борисович Колонтарев — д-р мед. наук; профессор кафедры урологии ФГБОУ ВО «МГМСУ им. А.И. Евдокимова» Минздрава России
г. Москва, Россия
<https://orcid.org/0000-0003-4511-5998>
kb80@yandex.ru

Игорь Олегович Грицков — ординатор кафедры урологии ФГБОУ ВО «МГМСУ им. А.И. Евдокимова» Минздрава России
г. Москва, Россия
<https://orcid.org/0000-0002-4708-1683>
grickoff@mail.ru

Александр Викторович Говоров — д-р мед. наук; профессор кафедры урологии ФГБОУ ВО «МГМСУ им. А.И. Евдокимова» Минздрава России
г. Москва, Россия
<https://orcid.org/0000-0003-3299-0574>
msmsu@msmsu.ru

Александр Олегович Васильев — кан. мед. наук; ассистент кафедры урологии ФГБОУ ВО «МГМСУ им. А.И. Евдокимова» Минздрава России
г. Москва, Россия
<https://orcid.org/0000-0001-5468-0011>
alexvasilyev@me.com

Дмитрий Юрьевич Пушкар — д-р мед. наук, профессор, академик РАН; заведующий кафедрой урологии ФГБОУ ВО «МГМСУ им. А.И. Евдокимова» Минздрава России
г. Москва, Россия
<https://orcid.org/0000-0002-6096-5723>
pushkardm@mail.ru

Information about the authors

Konstantin B. Kolontarev — M.D., Dr.Sc.(Med); Prof., Dept. of Urology, Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry
Moscow, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0003-4511-5998>
kb80@yandex.ru

Igor O. Gritskov — Resident, Dept. of Urology, Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry
Moscow, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0002-4708-1683>
grickoff@mail.ru

Alexander V. Govorov — M.D., Dr.Sc.(Med); Prof., Department of Urology, Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry
Moscow, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0003-3299-0574>
msmsu@msmsu.ru

Alexander O. Vasilyev — M.D., Cand..Sc.(Med); Assist. Prof., Department of Urology, Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry
Moscow, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0001-5468-0011>
alexvasilyev@me.com

Dmitry Yu. Pushkar — M.D., Dr.Sc.(Med), Full Prof., Acad. of the RAS; Head, Dept. of Urology, Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry
Moscow, Russian Federation
<https://orcid.org/0000-0002-6096-5723>
pushkardm@mail.ru