

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«РЕСПУБЛИКАНСКИЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ОНКОЛОГИИ И МЕДИЦИНСКОЙ РАДИОЛОГИИ  
им. Н.Н. АЛЕКСАНДРОВА»

Объект авторского права

УДК 616.65-006.6-073.43-073.756.8

**ШИМАНЕЦ**  
**Сергей Валерьевич**

**ДИАГНОСТИКА РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭЛАСТОГРАФИИ  
И МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ**

**Автореферат диссертации  
на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук**

**по специальности 14.01.13 – лучевая диагностика, лучевая терапия**

Минск 2026

Научная работа выполнена в государственном учреждении «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова»

**Научный руководитель** **Карман Андрей Вениаминович**, кандидат медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник диагностической лаборатории с группой лучевой диагностики государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова»

**Официальные оппоненты:** **Малевич Эльвира Евгеньевна**, доктор медицинских наук, профессор, врач-рентгенолог рентгеновского отделения государственного учреждения «Республиканский клинический медицинский центр» Управления делами Президента Республики Беларусь  
**Нечипоренко Анна Степановна**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры лучевой диагностики учреждения образования «Гродненский государственный медицинский университет»

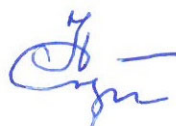
**Оппонирующая организация** учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет»

Защита состоится 1 апреля 2026 г. в 14:00 на заседании совета по защите диссертаций Д 03.12.01 при государственном учреждении «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова» (223040, Минский р-н, агр. Лесной, e-mail: N.Artemova@omr.by, тел. +375 17 389 95 61).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке государственного учреждения «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова».

Автореферат разослан «19» февраля 2026 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций  
доктор медицинских наук, профессор



Н.А. Артемова

## ВВЕДЕНИЕ

Рак предстательной железы (РПЖ) – распространенное злокачественное новообразование (ЗНО) у мужчин (GLOBOCAN 2022). По данным Белорусского канцер-регистра, в 2023 году отмечен рост заболеваемости РПЖ: зарегистрировано 6588 новых случаев и 920 случаев смерти. В диагностике РПЖ выявляемость на I и II стадиях увеличилась с 45,2% в 2013 году до 64,0% в 2023 году, однако этот показатель остается недостаточно высоким [Поляков С. Л. и др., 2021; Красный С. А. и др., 2021]. Следует совершенствовать диагностику заболевания на ранних стадиях [Суконко О. Г. и др., 2016; Океанов А. Е. и др., 2024; Marhold M. et al., 2022].

Пациентам с повышенным уровнем простатспецифического антигена (ПСА) рекомендуется выполнять систематическую биопсию (СБ) предстательной железы (ПрЖ) под контролем трансректального ультразвукового исследования (ТрУЗИ) [Hoskins A. et al., 2021; Eastham J. A. et al., 2023; Schaeffer M. et al., 2024; Moses A. et al., 2024]. СБ представляет собой взятие заданных столбиков ткани ПрЖ по установленной стандартной схеме. В клинической практике УЗИ в В-режиме используется как инструмент навигации при биопсии, а не как метод диагностики; однако новые режимы получают широкое распространение и включаются в рекомендации по ведению РПЖ [Correas J. et al., 2021; Cornford P. et al., 2024].

Мультипараметрическая магнитно-резонансная томография (МРТ) считается эффективным методом при планировании биопсии, демонстрируя высокую диагностическую информативность (ДГИ) с чувствительностью до 75% и специфичностью до 90% для выявления РПЖ. Возможности обнаружения опухоли размером менее 0,5 см<sup>3</sup> с суммой баллов Глисона  $\leq 7$ , соответствующей Grade Group (GG)  $\leq 2-3$  лимитированы, и существуют ограничения для МРТ [Chatfield M. et al., 2019; Zhang M. et al., 2019]. Завершающим этапом диагностики РПЖ является гистологическое исследование биопсийного материала, а его информативность может быть повышена методами визуализации [Epstein J. I. et al., 2016; Amin M. V., 2017].

Существующие стандартные методы раннего выявления РПЖ достигли предела своих диагностических возможностей. Целевой этап биопсии (ЦЭБ) под контролем ТрУЗИ с эластографией сдвиговой волны (ЭСВ, ТрУЗИ-ЭСВ) в сочетании с СБ повышает частоту выявления РПЖ, особенно в более жестких тканях [Митьков В.В. и др., 2015; Борсуков А.В. и др., 2017; Barr R.G. et al., 2017]. Ограничения методов визуализации ранних стадий РПЖ стимулировали развитие мультипараметрического подхода в радиологии [Postema A. et al., 2015; Zhang M. et al., 2019]. Эластография имеет преимущества в выявлении РПЖ при локализации очагов в области верхушки

и периферической зоны (ПфЗ) задних отделов органа, тогда как мультипараметрическая МРТ лучше визуализирует базальную и переходную зону (ПрЗ) спереди [Shiina T. et al., 2015; Harvey H. et al., 2016; Woo S. et al., 2017; Yang Y. et al., 2019].

Разработка подхода, включающего применение обоих методов – мультипараметрической МРТ и ТрУЗИ-ЭСВ для диагностики РПЖ, актуальна и клинически оправдана, что обосновывает необходимость проведения проспективного исследования, уточняющего показания для принятия решения о биопсии [Shiina T. et al., 2015; Huang R. et al., 2019; Sharen G. et al., 2022; Gurwin A. et al., 2022]. Эффективность диагностики РПЖ может быть повышена благодаря клиническим, биохимическим и комбинированным лучевым методам, в сравнении со стандартным подходом, что позволит более точно исключить или подтвердить наличие ЗНО.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с научными программами (проектами), темами**

Диссертация выполнена на базе ГУ «Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова» (РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова) в рамках темы научного задания «Разработать и внедрить методы комплексной диагностики рака предстательной и поджелудочной желез с использованием ультразвуковой эластографии», номер госрегистрации 20192091 от 16.08.2019, 2019–2024 гг. (ГНТП «Научно-техническое обеспечение качества и доступности медицинских услуг», подпрограмма «Злокачественные опухоли»).

Диссертационное исследование соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2016–2020 гг., утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 22.04.2015 № 166 (пункт 4. Медицина, фармацевтика, медицинская техника: технологии профилактики, диагностики и лечения заболеваний), и приоритетным направлениям научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг., утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г. № 156 (пункт 2. Биологические, медицинские, фармацевтические и химические технологии и производства: диагностика, медицинская профилактика и лечение инфекционных, включая вирусной этиологии, и неинфекционных заболеваний, экспертиза качества медицинской помощи).

## **Цель, задачи, объект и предмет исследования**

**Цель исследования:** повысить эффективность диагностики РПЖ путем разработки метода, включающего трансректальное УЗИ с ЭСВ и мультипараметрическую МРТ.

### **Задачи исследования:**

1. Разработать методику ТрУЗИ-ЭСВ для анализа изменений предстательной железы, включая установление норм жесткости для периферической зоны (ПфЗ) и переходной зоны (ПрЗ), а также определение пороговых значений жесткости для диагностики РПЖ.

2. Разработать метод диагностики РПЖ, включая ТрУЗИ-ЭСВ и мультипараметрическую МРТ с учетом данных ЦЭБ, и определить их диагностическую информативность при совместном использовании.

3. Оценить диагностические возможности ТрУЗИ-ЭСВ в выявлении очагов РПЖ, не визуализируемых на мультипараметрической МРТ, и провести анализ показателей ультразвуковой ЭСВ при оценке подозрительных очагов РПЖ, выявленных на мультипараметрической МРТ.

4. Разработать модель прогнозирования риска клинически значимого РПЖ (кзРПЖ)  $GG \geq 2$  в биопсии с использованием данных мультипараметрической МРТ и ТрУЗИ-ЭСВ, оценить эффективность метода диагностики РПЖ при применении ЦЭБ в сравнении со стандартной СБ.

**Объект исследования:** пациенты, которым в РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова в период с 2017 по 2021 гг. были проведены диагностические мероприятия в связи с подозрением на РПЖ.

**Предмет исследования:** эффективность совместного использования ТрУЗИ-ЭСВ и мультипараметрической МРТ для диагностики РПЖ.

### **Научная новизна**

1. Разработана методика ТрУЗИ-ЭСВ предстательной железы, включающая следующие этапы: В-режим, режим васкуляризации и анализ жесткости; создана новая стандартизированная система описания и терминология (СОТ) с категориями оценки вероятности РПЖ. Установлены оптимальные пороговые значения жесткости ТрУЗИ-ЭСВ, которые позволяют выявлять подозрительные на РПЖ очаги в ПфЗ и ПрЗ.

2. Впервые разработан метод диагностики РПЖ на основе совместного

применения ТрУЗИ-ЭСВ и мультипараметрической МРТ, диагностическая эффективность которого подтверждена по результатам ЦЭБ; ЭСВ обладает высокой чувствительностью и позволяет локализовать участки с повышенной жесткостью, а использование двух визуализирующих методов лучевой диагностики повышает информативность обследования.

3. Проанализировано ТрУЗИ-ЭСВ для оценки подозрительных очагов предстательной железы, выявленных на мультипараметрической МРТ, впервые с определением пороговых уровней жесткости; показана возможность дополнительного выявления очагов РПЖ с помощью ТрУЗИ у пациентов, у которых злокачественная опухоль не была обнаружена на МРТ.

4. Применение нового метода позволило выявить РПЖ у 57,9% пациентов в группе из 164 мужчин, среди которых клинически значимые опухоли ( $GG \geq 2$ ) составили 45,3%. Доказана эффективность диагностики РПЖ с использованием МРТ и ТрУЗИ-ЭСВ: ЦЭБ улучшил выявляемость РПЖ на 11,3%, а клинически значимого РПЖ (кзРПЖ) на 34,2% в сравнении с СБ. Для прогнозирования риска РПЖ в биопсии объединены данные показателя плотности ПСА Пр3, мультипараметрической МРТ и трансректального УЗИ с ЭСВ, на основе которых разработана диагностическая модель.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Разработана методика ТрУЗИ-ЭСВ, включающая детальный анализ структурных изменений предстательной железы посредством оценки эхогенности, васкуляризации и жесткости ткани, на основе которых устанавливаются категории оценки, характеризующие вероятность РПЖ. Медианные (Me) нормы жесткости ткани без признаков злокачественной патологии у пациентов с повышенным уровнем ПСА составляют: для периферической зоны (ПфЗ) – 19,4 кПа [14,7; 24,0], для ПрЗ – 27,8 кПа [20,0; 33,6]. Для диагностики РПЖ пороговыми значениями являются выраженное повышение жесткости в ПфЗ – более 85,0 кПа и  $>2,0$  коэффициент жесткости (КфЖ), в ПрЗ – более 95,0 кПа и  $>3,0$  КфЖ.

2. При выявлении подозрительных очагов на мультипараметрической МРТ и/или ТрУЗИ-ЭСВ разработанный метод диагностики РПЖ позволяет в ЦЭБ подтвердить заболевание у 49,2% мужчин, из которых опухоль  $GG \geq 2$  диагностируется у 27,4%. Совместное использование методов, рассчитанное с использованием линейной логистической регрессии, демонстрирует диагностическую точность 67,7% (площадь под кривой [ППК] 0,8;  $p < 0,001$ ) для выявления опухолей  $GG \geq 2$ .

3. ТрУЗИ-ЭСВ позволяет дополнительно выявить 16,7% очагов РПЖ, которые не обнаруживаются на МРТ, из которых в 46,2% случаев

диагностируется  $GG \geq 2$ ; 84,6% этих очагов локализуются в задних отделах органа. При анализе показателей ТрУЗИ-ЭСВ для подозрительных очагов предстательной железы, выявленных на мультипараметрической МРТ, определяется пороговый уровень, характерный для злокачественной опухоли – повышение жесткости  $\geq 70$  кПа и  $\geq 1,5$  КфЖ.

4. Разработанная модель прогнозирования риска кзРПЖ  $GG \geq 2$  в биопсии на основе линейной логистической регрессии включает данные мультипараметрической МРТ, ТрУЗИ-ЭСВ и плотности ПСА Пр3. Модель обладает высокой диагностической информативностью: чувствительность – 79,1%, специфичность – 69,4%, точность – 72,0% (ППК 0,823;  $p < 0,001$ ). В группе из 164 пациентов злокачественная опухоль верифицируется у 57,9%, из которых 45,3% имеют  $GG \geq 2$ , что подтверждает высокую диагностическую эффективность метода раннего выявления РПЖ. ЦЭБ увеличивает выявление РПЖ на 11,3% и кзРПЖ на 34,2% по сравнению с СБ ( $p < 0,05$ ). При высоких категориях оценки 4–5 выявляемость РПЖ/кзРПЖ составляет 61,1%/43,1%, вероятность РПЖ в 3,2 раза и кзРПЖ в 7,7 раза больше при высокой категории оценки, чем при значении 1–3. Медианы доли РПЖ-позитивных столбиков и опухолевой ткани при ЦЭБ значительно выше, чем при СБ ( $p < 0,001$ ).

### **Личный вклад соискателя ученой степени**

Автор принимал участие в выполнении исследовательской работы, включая следующие этапы: обоснование и формулировка темы диссертации совместно с научным руководителем; постановка целей и задач; разработка дизайна исследования и его реализация; проведение патентного и литературного поисков с анализом отечественных и зарубежных источников; разработка методики исследования предстательной железы с использованием ТрУЗИ-ЭСВ и СОТ для оценки вероятности РПЖ по результатам визуализации; организация и проведение диагностических мероприятий, наблюдение за пациентами; участие в диагностике, обработке медицинской документации и создании базы данных пациентов в Excel, а также ее анализ в SPSS; выполнение статистического анализа; подготовка выводов и рекомендаций; подготовка публикаций по результатам исследования в научных изданиях.

«Метод диагностики рака предстательной железы с использованием ультразвуковой эластографии» разработан автором в соавторстве, подготовлена соответствующая инструкция по применению [19–А] и рационализаторское предложение «Способ оценки выявленных на мультипараметрической магнитно-резонансной томографии подозрительных очагов предстательной железы с помощью ультразвуковой эластографии

сдвиговой волны». Вклад автора в общий объем работы 89%. Работа сотрудников, участвовавших в исследовании, отражена в совместных публикациях [1–А; 2–А; 3–А; 4–А; 6–А; 7–А].

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Основные результаты исследования представлены на съездах, конференциях: научно-практическая конференция ГУ «РНПЦ онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова», 22 марта 2018 г., Лесной, Республика Беларусь; Евразийская конференция по скринингу рака, 17–18 мая 2018 г., Минск, Республика Беларусь; научно-практическая конференция с международным участием «Актуальные вопросы диагностической, интервенционной радиологии (рентгенохирургии) и хирургических технологий», 28–30 июня 2018 г., Владикавказ, Российская Федерация; V съезд специалистов по лучевой диагностике и лучевой терапии Сибирского федерального округа, 20–22 сентября 2018 г., Иркутск, Российская Федерация; VI съезд специалистов ультразвуковой диагностики Юга России, 18–20 октября 2018 г., Геленджик, Российская Федерация; научная сессия Белорусского государственного медицинского университета (БГМУ), секция «Онкология», 24 января 2019 г., Минск, Республика Беларусь; конференция Совета молодых ученых РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова, 16 апреля 2019 г., Лесной, Республика Беларусь; 6th Baltic meeting in conjunction with the European Association of Urology, 24–25 мая 2019 г., Таллин, Эстония; научно-практическая конференция с международным участием «Актуальные вопросы диагностической, интервенционной радиологии (рентгенохирургии) и хирургических технологий», 27–29 июня 2019 г., Владикавказ, Российская Федерация; научно-практическая конференция с международным участием «Радиология просветления», 14 декабря 2021 г., Минск, Республика Беларусь; VIII съезд врачей-специалистов лучевой диагностики Сибирского федерального округа, 10–11 июня 2024 г., Кемерово, Российская Федерация; школа медицинской визуализации, 1–5 июля 2024 г., Гомель, Республика Беларусь.

Разработанный метод и результаты диссертационного исследования внедрены в лечебно-диагностический процесс следующих учреждений: РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова, РНПЦ радиационной медицины и экологии человека, в учебный процесс на кафедрах онкологии Белорусской медицинской академии последипломного образования и Витебского государственного медицинского университета.

## **Опубликование результатов диссертации**

По теме диссертации опубликованы 19 научных работ: 1 монография, 6 статей в рецензируемых журналах (1 в зарубежном, 1 в моноавторстве), 11 тезисов докладов на научных конференциях, 1 инструкция по применению, утвержденная Министерством здравоохранения Республики Беларусь. Разработано рационализаторское предложение. Всего имеется 6 публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий. Общее количество авторских листов статей – 4,6 (с монографией 13,1).

## **Структура и объем диссертации**

Диссертация изложена на 134 страницах и состоит из введения, общей характеристики работы, обзора литературы, материала и методов исследования, результатов собственных исследований, представленных в двух главах, заключения и списка использованных источников, включающего 273 наименования литературы, 19 публикаций соискателя. Работа содержит 35 таблиц, 5 формул, иллюстрирована 8 рисунками.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

### **Материал и методы исследования**

Материалом проспективного исследования послужили данные 186 пациентов с подозрением на РПЖ, обследованных в период 2017–2021 гг., на основе анализа включенной группы была разработана методика ТрУЗИ-ЭСВ с СОТ.

Дизайн исследования включал следующие этапы: 1) исследование показателей жесткости ткани ( $n=130$ ), разработку пороговых значений жесткости для очагов ( $n=126$ ); 2) оценку ДГи и эффективности ЭСВ для ПфЗ и ПрЗ ( $n=140/142$ ), мультипараметрической МРТ ( $n=143$ ), ТрУЗИ-ЭСВ ( $n=128$ ), совместного использования МРТ и ТрУЗИ-ЭСВ ( $n=133$ ); 3) оценку подозрительных очагов на МРТ при ЭСВ ( $n=126/87$ ); 4) диагностику РПЖ с УЗ ЭСВ и МРТ ( $n=164$ ); 5) сравнение СБ и ЦЭБ ( $n=133$ ), сравнение групп ( $n=164$ ) с РПЖ и доброкачественными изменениями (ДБИ); 6) прогнозирование риска наличия в биопсии РПЖ  $GG \geq 1$  и  $GG \geq 2$  ( $n=164$ ).

Использованы определение уровня изоформ ПСА с вычислением его расчетных значений, включая плотность ПСА ПрЖ и ПрЗ, мультипараметрическая МРТ в соответствии с PI-RADS v2.1 (система

описания и обработки данных лучевых исследований ПрЖ), ТрУЗИ-ЭСВ, выполняемое на аппарате экспертного класса с использованием внутрисполостного датчика с диапазоном частот 4,0–9,0 МГц, СБ и ЦЭБ с раздельной маркировкой полученного материала.

Предстательная железа оценивалась на ТрУЗИ-ЭСВ с помощью разработанной комбинации режимов: В-режим – серая шкала, эхогенность; васкуляризация – цветное доплеровское картирование (ЦДК), энергетическое доплеровское картирование (ЭДК), микрососудистая визуализация (SMI); жесткость – ЭСВ.

Вероятность РПЖ при ТрУЗИ-ЭСВ стратифицировалась на основе разработанной в рамках данного исследования системы в зависимости от количества подозрительных признаков (таблица 1).

Таблица 1 – Система описания и терминология при анализе данных ТрУЗИ-ЭСВ с заключительными категориями оценки вероятности РПЖ

Категории оценки	Признаки и параметры				
	Вероятность РПЖ	Характеристика очагов, признак учитывается при структурном соответствии контуров в разных режимах	Жесткость	Гипоэхогенность	Васкуляризация
1 – очень низкая	очень маловероятно	без подозрительных очагов	–	–	–
2 – низкая	маловероятно	без подозрительных очагов с выраженным признаком	±	±	±
3 – промежуточная	сомнительно	наличие очага с одним признаком	+ или ±	+ или ±	+ или ±
4 – высокая	вероятно	наличие очага с двумя признаками, один из них выраженный	+	+ или ±	+ или ±
5 – очень высокая	высокововероятно	наличие очага с тремя признаками, два из них выраженные	+	+	+ или ±

Подозрительным на РПЖ считался очаг при выявлении гипоэхогенности, гиперваскулярности и высокой жесткости. Для анализа данных ЦЭБ выбирался доминантный очаг, выявленный на МРТ или ТрУЗИ-ЭСВ.

Биопсия проводилась амбулаторно. Медиана длины биопсии составила 292 мм. В 11,8% случаев биопсия не проводилась (низкий ПСА, отсутствие очагов); в данной группе РПЖ не был выявлен при медиане наблюдения  $\geq 3$  лет. Диагностика РПЖ и его классификация проводились согласно ВОЗ и шкале Глисона с учетом рекомендаций ISUP (Международное общество урологических патологов) по прогностическим группам (GG). РПЖ с Глисон  $\geq 3+4$  (GG  $\geq 2$ ) считался клинически значимым (кзРПЖ).

Статистический анализ включал медиану, интерквартильный размах, критерий Шапиро-Уилка,  $\chi^2$  Пирсона, ROC-анализ и линейную логистическую регрессию; для обработки данных использовалась программа SPSS.

## РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1 Ультразвуковая эластография для оценки жесткости

При использовании ультразвуковой ЭСВ анализировалась ткань всей предстательной железы правой и левой долей отдельно, определены нормальные значения жесткости ткани без выявляемой патологии для ПфЗ – 19,4 кПа [14,7; 24,0] и ПрЗ – 27,8 кПа [20,0; 33,6].

Разработанная СОТ ТрУЗИ-ЭСВ позволяет детально оценивать структурные изменения, включая эхогенность, васкуляризацию и жесткость ткани предстательной железы. На основании оценки количественных параметров жесткости нормальной ткани и участков, подозрительных на РПЖ, были разработаны диагностические показатели ЭСВ. Клинически применимые пороговые значения жесткости очагов установлены следующие: при умеренном увеличении показателей в ПфЗ –  $\geq 35,0$  кПа и  $> 2$  КфЖ, в ПрЗ –  $\geq 40,0$  кПа и  $> 2$  КфЖ; при выраженном увеличении показателей: в ПфЗ –  $> 85,0$  кПа и  $> 2$  КфЖ, в ПрЗ –  $> 95,0$  кПа и  $> 3,0$  КфЖ.

Уровни жесткости определены в проспективной группе при анализе ЭСВ в ПфЗ и ПрЗ с сопоставлением с гистологическими данными по материалу СБ и ЦЭБ.

Анализ всех режимов ТрУЗИ (эхогенность, васкуляризация, жесткость) для установления заключительной категории оценки вероятности РПЖ является более эффективным.

В данном диссертационном исследовании разработана обоснованная стандартизованная СОТ для ТрУЗИ-ЭСВ. По ней вероятность РПЖ стратифицируется в зависимости от количества признаков подозрительности очага. Установлены стандартизованные категории оценки от 1 до 5 на основе комбинации признаков; признак учитывается в зависимости от структурного соответствия контуров очага в различных режимах.

### 2 Ультразвуковая эластография и мультипараметрическая МРТ в планировании систематической и целевой биопсии

Определение диагностической точности ультразвуковой ЭСВ для выявления подозрительных очагов РПЖ проводилось отдельно для ПфЗ и ПрЗ. Коэффициент жесткости (ratio) очага рассчитывался на основе отношения жесткости подозрительного очага (кПа) к нормальной ткани в аналогичной зоне предстательной железы.

На карт-схеме предстательной железы выявлено 266 очагов с помощью мультипараметрической МРТ и 255 очагов с помощью ТрУЗИ-ЭСВ. Частота выявления РПЖ увеличивалась по мере повышения категории оценки очагов, что подтверждено данными СБ и ЦЭБ ( $p < 0,001$ ;  $\chi^2$  Пирсона).

Для выявления злокачественных опухолей  $GG \geq 1$  и  $GG \geq 2$

мультипараметрическая МРТ показала диагностическую точность в диапазоне 58,7–72,7%, ТрУЗИ-ЭСВ продемонстрировало точность в диапазоне 58,6–68,8%. Совместное использование мультипараметрической МРТ и ТрУЗИ-ЭСВ позволило повысить общую диагностическую точность до 65,9–67,7% (ППК 0,7–0,8;  $p < 0,001$ ) для выявления опухолей  $GG \geq 1$  –  $GG \geq 2$  соответственно.

Наиболее информативными методы ТрУЗИ и МРТ оказались для диагностики РПЖ  $GG \geq 2$  с порогом категории оценки  $\geq 4$ , что позволяет достичь высокой точности с максимальной площадью под кривой (ППК). При наличии подозрительных очагов на мультипараметрической МРТ и/или ТрУЗИ-ЭСВ РПЖ обнаруживался у 49,2% мужчин, из которых у 27,4% диагностировался  $GG \geq 2$ . Несмотря на высокие показатели диагностической точности методов визуализации, СБ остается важным и обязательным этапом в диагностике РПЖ.

### **3 Подозрительные очаги на мультипараметрической МРТ с использованием ультразвуковой эластографии**

Анализ подозрительных очагов на мультипараметрической МРТ с использованием ультразвуковой ЭСВ проводился у 126 пациентов, из которых 87 включены в анализ доминантных очагов с данными обследований, учитывающими глубину и локализацию зоны интереса при ТрУЗИ.

Частота диагностики РПЖ при ЦЭБ составила не более 50%. ТрУЗИ-ЭСВ выявило дополнительные очаги РПЖ у 13/78 (16,7%) пациентов, не выявленные на МРТ; у 6/13 (46,2%) из них диагностирован  $GG \geq 2$ , большинство очагов локализованы в задних отделах органа.

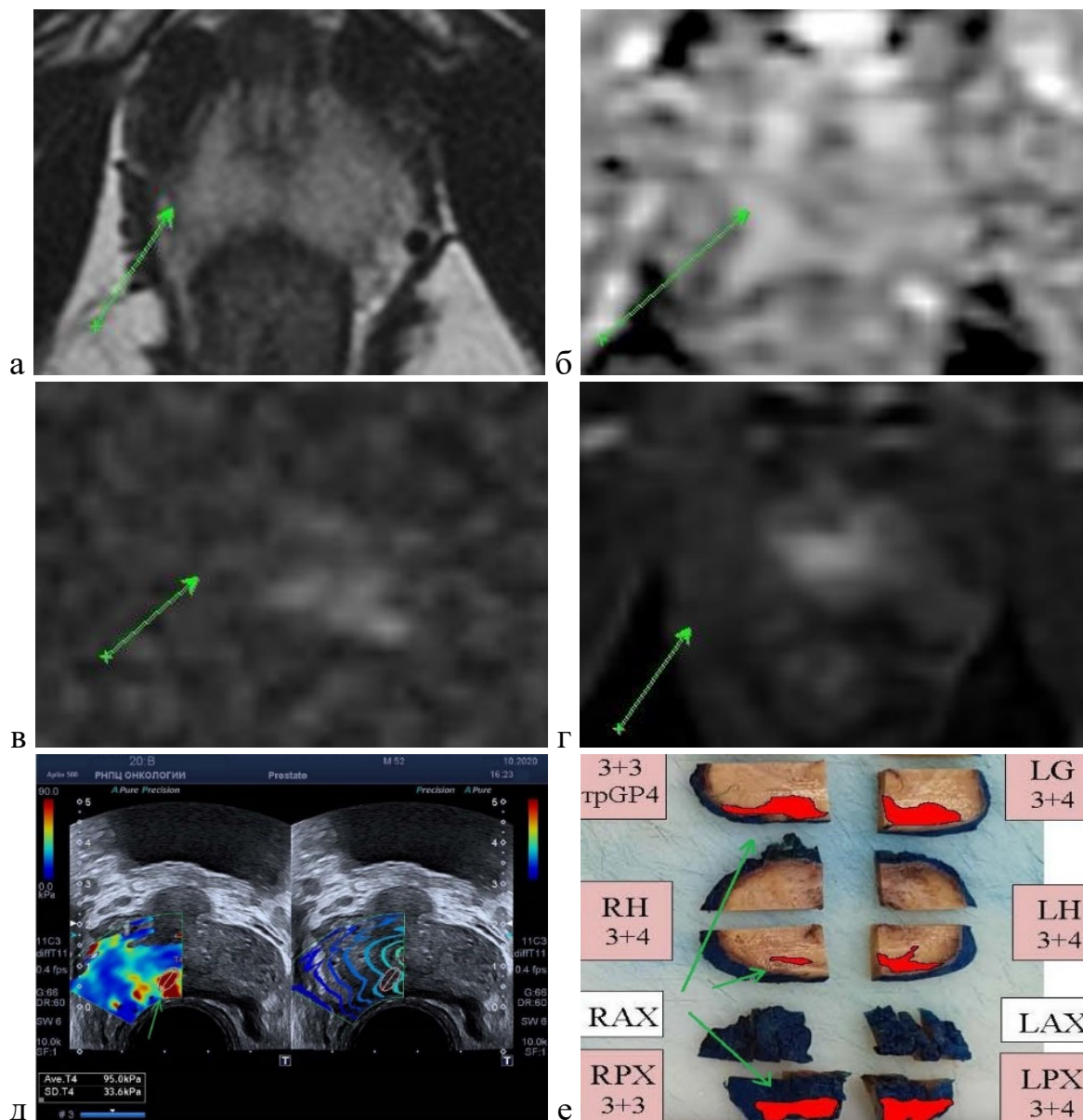
В 10,3% случаев РПЖ был выявлен при ЦЭБ, когда при СБ опухоль не верифицирована, и 50% из них не определялись на МРТ.

Среди всех РПЖ-очагов ( $n=45$ ) медиана жесткости составила 45,5 кПа [25,5; 98,7], КфЖ – 1,9 [1,2; 3,6]. В ПфЗ ( $n=29$ ) – 46,7 кПа [25,2; 108,3], КфЖ – 2,1 [1,4; 4,1]; в ПрЗ ( $n=16$ ) – 42,7 кПа [27,5; 75,8], КфЖ – 1,4 [1,1; 2,5].

Этот анализ позволил установить клинически применимые показатели жесткости и улучшить СОТ предстательной железы при ТрУЗИ-ЭСВ, дополнив следующую формулировку:

– при описании значения показателя жесткости ткани в подозрительных очагах предстательной железы, выявленных на мультипараметрической МРТ: наличие умеренного подозрительного признака – умеренное повышение жесткости более уровня  $\geq 25,0$  кПа и  $\geq 1,5$  КфЖ для очага в ПфЗ,  $\geq 30,0$  кПа и  $\geq 1,5$  КфЖ для очага в ПрЗ; наличие выраженного подозрительного признака – выраженное увеличение жесткости более уровня  $\geq 70,0$  кПа и  $\geq 1,5$  КфЖ для очага в ПфЗ и ПрЗ.

Пример выявления дополнительного очага РПЖ с помощью ЭСВ при ТрУЗИ, который не был виден на мультипараметрической МРТ, представлен на рисунке 1.



а – T2-взвешенные изображения МРТ; б – карта измеряемого коэффициента диффузии; в – диффузионно-взвешенное изображение; г – динамическое контрастное усиление; д – эластография сдвиговой волны трансректального УЗИ; е – макропрепарат предстательной железы с очагами злокачественной опухоли (радикальная простатэктомия)

**Рисунок 1 – Мультипараметрическая МРТ, ТрУЗИ-ЭСВ и макропрепарат предстательной железы пациента 52 лет (ПСА 3,8 нг/мл): в периферической зоне справа определяется подозрительный очаг с жесткостью 90,5 кПа, не визуализирующийся на МРТ; в данном очаге по результатам целевой биопсии и радикальной простатэктомии верифицирован РПЖ (Глисон 3+4, GG 2)**

Совместное использование показателей PI-RADS, жесткости (кПа) и КфЖ повышает диагностическую точность. Обнаружение подозрительных участков на ТрУЗИ-ЭСВ позволило выявить очаги РПЖ, не визуализировавшиеся на МРТ.

В случае PI-RADS  $\leq 3$  и ЭСВ  $< 70,0$  кПа с КфЖ  $< 1,5$  от биопсии можно отказаться у 19,5% (17/87) пациентов. При принятии решения об отказе от биопсии учитываются данные МРТ, ТрУЗИ-ЭСВ и плотность ПСА к объему ПрЗ, при значении которого  $\geq 0,3$  нг/мл/см<sup>3</sup> показано выполнение процедуры.

#### **4 Модель прогнозирования и метод диагностики РПЖ**

Разработан новый метод диагностики РПЖ, включающий мультипараметрическую МРТ, ТрУЗИ-ЭСВ и СБ, дополненную ЦЭБ. Метод направлен на выявление подозрительных признаков ЗНО предстательной железы. Показания для биопсии включают: положительный результат (PI-RADS  $\geq 4$ ) по данным мультипараметрической МРТ таза и/или по результатам трансректального УЗИ (оценка  $\geq 4$ ); подозрительный очаг на МРТ (PI-RADS  $\geq 3$ ) с жесткостью  $\geq 70$  кПа и КфЖ  $\geq 1,5$  на ЭСВ; положительный результат пальцевого ректального исследования; плотность общего ПСА к объему предстательной железы  $\geq 0,15$  нг/мл/см<sup>3</sup>; плотность общего ПСА к объему ПрЗ  $\geq 0,30$  нг/мл/см<sup>3</sup>; соотношение свободный/общий ПСА  $\leq 15\%$ ; индекс здоровья предстательной железы  $\geq 25-45$ . На основании диагностических мероприятий определяются показания для выполнения биопсии предстательной железы. Решение о процедуре принимается с учетом индивидуальной оценки риска (возраст, ожидаемая продолжительность жизни, наследственность и др.). Никакой из диагностических критериев не может быть абсолютным для отказа от выполнения биопсии.

Диагностическая точность нового метода подтверждена в группе из 164 пациентов, верификация РПЖ составила 57,9% (95 из 164 мужчин), из которых у 45,3% (43/95) выявлена клинически значимая опухоль (GG  $\geq 2$ , Глисон  $\geq 3+4$ ), во всех случаях диагностирована аденокарцинома. Большинство пациентов (95,8%) имели раннюю I-II стадию РПЖ, распределение по категориям было следующим: cT1c – 51,6% (49/95), cT2a – 20% (19/95), cT2b-c – 24,2% (23/95), более высокая категория cT3a-b встречалась у 4,2% (4/95). Медиана общей длины биопсийных столбиков составила 292 мм [184,6; 348,8]. Медиана доли РПЖ-позитивных столбиков составила 17,6% [7,4; 32,4], медиана доли опухолевой ткани – 4,7% [1,3; 12,8].

Выполнено сравнение гистологических результатов СБ и ЦЭБ предстательной железы. При выявлении злокачественной опухоли описаны гистологический тип, степень дифференцировки и показатели РПЖ-позитивных столбиков с учетом данных визуальной диагностики.

Общее выявление РПЖ при биопсии составило 80/133 (60,2%) обследуемых в данной группе, с медианой длины опухолевой ткани 14,5 мм [2,8; 34,3]. За счет ЦЭБ из подозрительных очагов было увеличение выявления РПЖ на 11,3% и кзРПЖ на 34,2% по сравнению с СБ ( $p < 0,05$ ). Медианы количества столбиков ( $24/6=4$ ) и длины биопсийных столбиков ( $240/69=3,5$ ) при ЦЭБ были в 3–4 раза меньше, чем при СБ ( $p < 0,001$ ). Одновременно с этим доли РПЖ-позитивных столбиков и опухолевой ткани для ЦЭБ были довольно высокими – 45,5% [28,6; 73,2] и 17,8% [4,4; 32,0] соответственно, что статистически значимо ( $p < 0,001$ ) больше, чем при СБ, где медианы составили 16,7% [8,3; 33,3] и 4,4% [1,4; 9,4] соответственно. ЦЭБ при меньшем объеме биопсийного материала обеспечивает более высокое выявление, прежде всего клинически значимого РПЖ.

При наличии подозрительных очагов на мультипараметрической МРТ и/или трансректальном УЗИ-ЭСВ с категориями оценки 3 и 4–5, выявление РПЖ и кзРПЖ в ЦЭБ было следующим: 34,0% и 6,0% для РПЖ, 61,1% и 43,1% для кзРПЖ соответственно. Доли выявления РПЖ при СБ и ЦЭБ были сопоставимы. Это подчеркивает необходимость проведения СБ.

В группе 164 обследованных пациентов медиана общего ПСА составила 8,0 нг/мл [5,1; 12,6], медиана плотности ПСА – 0,14 нг/мл/см<sup>3</sup> [0,09; 0,24]. В группе мужчин с ДБИ плотность ПСА была 0,11 нг/мл/см<sup>3</sup> [0,07; 0,18], при выявленном РПЖ – 0,15 нг/мл/см<sup>3</sup> [0,10; 0,31]. Особенно высокие значения наблюдались при кзРПЖ  $GG \geq 2$  – 0,25 нг/мл/см<sup>3</sup> [0,14; 0,36] ( $p < 0,001$ ).

На мультипараметрической МРТ и трансректальном УЗИ-ЭСВ категории оценок 4–5 у пациентов с РПЖ встречались в 64/95 случаев (67,4%), тогда как при ДБИ – в 27/69 (39,1%) ( $p < 0,001$ , критерий  $\chi^2$  Пирсона). Вероятность РПЖ в 3,2 раза выше при высоких категориях оценок (4–5), чем при оценках 1–3 (95% ДИ: 1,6–6,1).

В группе мужчин с кзРПЖ категории 4–5 наблюдались в 37/43 случаев (86,0%), а при ДБИ и  $GG 1$  – в 54/121 (44,6%) ( $p < 0,001$ , критерий  $\chi^2$  Пирсона). Вероятность кзРПЖ была в 7,7 раза выше при высоких категориях оценок 4–5, с 95% доверительным интервалом (ДИ): 3,0–19,5.

Установлены статистически значимые различия ( $p < 0,05$ ) при сравнении групп пациентов с выявленным РПЖ и ДБИ по следующим показателям: изоформы ПСА и их расчетные значения, категории оценок на мультипараметрической МРТ и ТрУЗИ-ЭСВ. Наиболее значимые различия наблюдались у пациентов с кзРПЖ  $GG \geq 2$ .

Разработана модель прогнозирования на основе линейного регрессионного анализа для оценки риска наличия РПЖ при диагностике, включающей мультипараметрическую МРТ, трансректальное УЗИ с ЭСВ и СБ, дополненной ЦЭБ с учетом изоформ ПСА и его расчетных значений.

Разработаны формулы 1 и 2 для расчета вероятностей (Р) наличия РПЖ и кзРПЖ, соответственно:

$$P(\text{РПЖ}) = 1 / (1 + e^{-(x_1 \times 2,881 + x_2 \times 0,315 + x_3 \times 0,246 - 2,523)}), \quad (1)$$

$$P(\text{кзРПЖ}) = 1 / (1 + e^{-(x_1 \times 1,702 + x_2 \times 0,395 + x_3 \times 0,576 - 5,237)}), \quad (2)$$

где  $e$  – основание натурального логарифма;  $x_1$  – плотность ПСА к объему ПрЗ (нг/мл/см<sup>3</sup>);  $x_2$  – категория оценки мультипараметрической МРТ PI-RADS от 1 до 5;  $x_3$  – категория оценки ТрУЗИ-ЭСВ от 1 до 5.

Параметры модели характеризуются как хорошие и очень хорошие, что позволяет точно прогнозировать вероятность РПЖ/кзРПЖ. Для РПЖ при пороговом значении вероятности  $P > 0,503$  показатели составляют: чувствительность – 68,4%, специфичность – 68,1% и точность – 68,3% (ППК 0,741;  $p < 0,001$ ). Для кзРПЖ  $GG \geq 2$  при пороговом значении  $P > 0,219$ : чувствительность – 79,1%, специфичность – 69,4% и точность – 72,0% (ППК 0,823;  $p < 0,001$ ). Модель показала высокую ДгИ и может быть использована для клинической практики при принятии решения о биопсии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработана методика ТрУЗИ-ЭСВ, позволяющая анализировать изменения в ПфЗ и ПрЗ предстательной железы с использованием режимов, оценивающих эхогенность, васкуляризацию и жесткость ткани. Определены медианные нормы жесткости ткани без признаков злокачественной патологии у пациентов с повышенным уровнем ПСА: в ПфЗ – 19,4 кПа [14,7; 24,0], в ПрЗ – 27,8 кПа [20,0; 33,6] соответственно. Определены клинически применимые пороговые значения жесткости, превышение которых при умеренном повышении показателя для ПфЗ соответствует  $\geq 35,0$  кПа и  $> 2$  КфЖ, для ПрЗ –  $\geq 40,0$  кПа и  $> 2$  КфЖ и при выраженном увеличении для ПфЗ  $> 85,0$  кПа и  $> 2$  КфЖ, для ПрЗ  $> 95,0$  кПа и  $> 3,0$  КфЖ, что рассматривается как признак вероятности РПЖ. Разработана СОТ, позволяющая устанавливать стандартизованные категории оценки вероятности РПЖ от 1 до 5, в которой учтено структурное соответствие в разных режимах при характеристике подозрительных очагов [2–А; 3–А; 4–А; 6–А; 8–А; 12–А; 15–А; 19–А].

2. При наличии подозрительных очагов на ТрУЗИ-ЭСВ и/или мультипараметрической МРТ в ЦЭБ РПЖ выявляется у 49,2% мужчин, из которых  $GG \geq 2$  диагностирован в 27,4% случаев. ТрУЗИ-ЭСВ демонстрирует

диагностическую точность в диапазоне 58,6–68,8%, а мультипараметрическая МРТ – 58,7–72,7% для выявления злокачественной опухоли GG  $\geq 1$ –GG  $\geq 2$  соответственно. Ультразвуковая ЭСВ при изолированном применении имеет чувствительность 71,8% и 78,1% соответственно. Совместное использование мультипараметрической МРТ и ТрУЗИ-ЭСВ повышает общую диагностическую точность до 65,9–67,7% (ППК 0,7–0,8;  $p < 0,001$ ) для выявления опухолей GG  $\geq 1$ –GG  $\geq 2$  соответственно [1–А; 4–А; 6–А; 8–А; 9–А; 10–А; 11–А; 12–А; 13–А; 14–А; 15–А; 16–А; 17–А].

3. Определены клинически значимые пороговые уровни жесткости, характерные для злокачественной опухоли при использовании ЭСВ для оценки очагов предстательной железы, выявленных на МРТ: умеренное повышение –  $\geq 25$  кПа и  $\geq 1,5$  КфЖ для ПфЗ,  $\geq 30$  кПа и  $\geq 1,5$  КфЖ для ПрЗ; выраженное –  $\geq 70$  кПа и  $\geq 1,5$  КфЖ для обеих зон. ТрУЗИ-ЭСВ выявляет дополнительно 16,7% очагов РПЖ, не определенных на мультипараметрической МРТ, из них GG  $\geq 2$  у 46,2% мужчин, большинство очагов были локализованы в задних отделах; совместное использование показателей PI-RADS, жесткости (кПа), КфЖ и плотности ПСА ПрЗ позволило достичь точности 72,4% (ППК 0,8;  $p \leq 0,001$ ) [5–А; 6–А; 19–А].

4. Разработанный метод диагностики РПЖ, включающий мультипараметрическую МРТ, ТрУЗИ-ЭСВ и ЦЭБ, характеризуется высокой эффективностью, которая составила 57,9% верифицированных случаев злокачественного заболевания, из них кзРПЖ GG  $\geq 2$  – 45,3% случаев. Медиана общей длины биопсии была – 292 мм [184; 349]; в показателе опухолевой ткани медиана доли РПЖ-позитивных столбиков была 17,6% [7,4; 32,4] [4–А; 6–А; 12–А; 14–А; 16–А; 17–А; 19–А].

5. Доказана эффективность диагностики РПЖ при проведении ЦЭБ на основе данных мультипараметрической МРТ и ТрУЗИ-ЭСВ в сравнении с систематическим получением материала. ЦЭБ из подозрительных очагов увеличил выявление РПЖ на 11,3% и кзРПЖ на 34,2% по сравнению с СБ ( $p < 0,05$ ). Медианы количества столбиков и длины биопсии при ЦЭБ были в 3–4 раза меньше, чем при СБ ( $p < 0,001$ ). Доли РПЖ-позитивных столбиков и опухолевой ткани для ЦЭБ были выше и составили 45,5% [28,6; 73,2] и 17,8% [4,4; 32,0] соответственно, что статистически значимо ( $p < 0,001$ ) больше, чем при СБ. Вероятность РПЖ в 3,2 раза и кзРПЖ в 7,7 раза больше при высокой категории оценки, чем при значении 1–3 (95% ДИ: 1,6–6,1 и 3,0–19,5 соответственно) [1–А; 4–А; 5–А; 6–А; 14–А; 15–А].

6. Разработана модель прогнозирования наличия в биопсии РПЖ GG  $\geq 1$  и кзРПЖ GG  $\geq 2$ , основанная на данных мультипараметрической МРТ, ТрУЗИ-ЭСВ и показателе плотности ПСА ПрЗ. Она показала высокую ДгИ: для РПЖ – чувствительность 68,4%, специфичность 68,1% (ППК 0,741;  $p < 0,001$ ); для

кзРПЖ GG  $\geq 2$  – чувствительность 79,1%, специфичность 69,4% (ППК 0,823;  $p < 0,001$ ). Модель с учетом пороговых значений вероятности РПЖ/кзРПЖ может быть применена в клинической практике для определения показаний и формулировки рекомендаций при решении вопроса о биопсии [7–А; 18–А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

Для повышения эффективности диагностики РПЖ рекомендуется совместное применение мультипараметрической МРТ и ТрУЗИ-ЭСВ, что увеличивает диагностическую точность обнаружения злокачественных опухолей [1–А; 4–А; 6–А; 19–А]. Рекомендуется выполнять ЦЭБ из подозрительных очагов на МРТ или ТрУЗИ-ЭСВ, что повышает выявление РПЖ, особенно при высоких категориях оценки [1–А; 4–А; 6–А; 19–А]. Рекомендуется учитывать пороговые уровни жесткости ткани в очагах, выявленных на МРТ, при отсутствии подозрительных признаков на ЭСВ, с учетом плотности ПСА Пр3 (нг/мл/см<sup>3</sup>), возможен отказ от биопсии [5–А; 6–А; 19–А]. Для улучшения диагностики рекомендуется использовать модель прогнозирования с учетом категорий оценок на МРТ и ТрУЗИ-ЭСВ, а также плотности ПСА Пр3 (нг/мл/см<sup>3</sup>) и разработанных пороговых значений вероятности РПЖ [7–А; 18–А].

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

### Монография

1–А. Красный, С. А. Ранняя диагностика рака предстательной железы с использованием ультразвуковой эластографии и магнитно-резонансной томографии / С. А. Красный, С. В. Шиманец, А. В. Карман. – Минск : Проф. издания, 2024. – 132 с.

### Статьи в журналах, включенных в перечень ВАК

2–А. Эластография при ультразвуковом исследовании предстательной железы (Ч. 1) / С. В. Шиманец, А. В. Карман, С. Р. Хелашвили, Т. А. Карман // Онкологический журнал. – 2017. – Т. 11, № 4. – С. 99–111.

3–А. Эластография при ультразвуковом исследовании предстательной железы (Ч. 2) / С. В. Шиманец, А. В. Карман, С. А. Хоружик, С. Р. Хелашвили, Т. А. Карман // Онкологический журнал. – 2018. – Т. 12, № 3–4. – С. 95–106.

4–А. Ультразвуковая эластография сдвиговой волны с магнитно-резонансной томографией в планировании биопсии предстательной железы / С. В. Шиманец, А. В. Карман, В. А. Захарова, Я. С. Рыбалко, Т. И. Набебина, Т. А. Летковская, С. А. Красный // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2020. – Т. 19, № 1. – С. 161–171.

5–А. Шиманец, С. В. Оценка выявленных на мультипараметрической магнитно-резонансной томографии подозрительных очагов с помощью ультразвуковой эластографии сдвиговой волны в комплексной диагностике ранних форм рака предстательной железы / С. В. Шиманец // Онкологический журнал. – 2021. – Т. 15, № 3. – С. 35–48.

6–А. Ранняя диагностика рака предстательной железы с использованием ультразвуковой эластографии сдвиговой волны / Л. А. Державец, С. А. Красный, Т. А. Летковская, А. В. Карман, Д. М. Максимов, В. А. Бакунович, Е. И. Ванзиндо, С. В. Шиманец // Вестник Витебского государственного медицинского университета. – 2021. – Т. 20, № 6. – С. 43–55.

7–А. Модель прогнозирования рака предстательной железы с использованием мультипараметрической МРТ и трансректального УЗИ с эластографией сдвиговой волны / С. В. Шиманец, А. В. Карман, А. П. Василевский, А. В. Янушевская, Е. А. Абакумова, В. Ф. Гула // Евразийский онкологический журнал. – 2024. – Т. 12, № 1. – С. 9–19.

## Тезисы докладов и материалы конференций

8–А. Ультразвуковая эластография сдвиговой волны в диагностике рака предстательной железы / С. В. Шиманец, А. В. Карман, Е. А. Абакумова, Т. А. Карман // Актуальные вопросы диагностической, интервенционной радиологии (рентгенохирургии) и хирургических технологий : материалы XVIII ежегодной Межрегиональной науч.-практ. конф. с междунар. участием, Владикавказ, 28–30 июня 2018 г. – [Опубл. в журн.] Диагностическая и интервенционная радиология. – 2018. – Т. 12, № 2, прил. – С. 85–86.

9–А. Шиманец, С. В. Трансректальная ультразвуковая эластография сдвиговой волной в диагностике клинически значимого рака предстательной железы / С. В. Шиманец, А. В. Карман, Е. А. Абакумова // VI съезд специалистов ультразвуковой диагностики Юга России : тезисы, Геленджик, 18–20 окт. 2018 г. – [Опубл. в журн.] Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2018. – № 3, прил. – С. S48.

10–А. Шиманец, С. В. Эластография сдвиговой волны при трансректальном УЗИ в диагностике рака предстательной железы / С. В. Шиманец, А. В. Карман, Т. А. Карман // 1-й конгресс Белорус. общества радиологов : сб. тез., Минск, 25–26 окт. 2018 г. / Респ. клинич. мед. центр Управления делами Президента Респ. Беларусь, Белорус. о-во радиологов ; под науч. ред. И. С. Абельской. – Минск, 2018. – С. 52.

11–А. Оценка жесткости ткани предстательной железы ультразвуковой эластографией сдвиговой волны с учетом данных мультипараметрической МРТ в диагностике рака / С. В. Шиманец, А. В. Карман, Е. В. Михалькевич, Е. А. Абакумова, С. А. Красный // Байкальские встречи : материалы VI межрегион. научн. конф. с междунар. участием «Актуальные вопросы лучевой диагностики», Улан-Удэ, 16–17 мая 2019 г. – Иркутск, 2019. – С. 83.

12–А. Shear wave elastography and multiparametric MRI in prostate cancer diagnosis / S. Shimanets, A. Karman, E. V. Mihalkevich, A. Mokhort, A. Minich, S. Krasny // Baltic19 : 6th Baltic meeting in conjunction with the EAU : abstr., Tallinn, 24–25 May 2019. – [Publ.] European Urology Supplements. – 2019. – Vol. 18, № 3. – P. e2434. – URL: [https://www.euroscience.europeanurology.com/article/s1569-9056\(19\)32147-5/abstract](https://www.euroscience.europeanurology.com/article/s1569-9056(19)32147-5/abstract) (date of access: 16.10.2024).

13–А. Диагностическая значимость ультразвуковой эластографии сдвиговой волны с расчетом пороговых значений жесткости в диагностике рака предстательной железы / С. В. Шиманец, А. В. Карман, С. А. Красный, Е. А. Абакумова, Е. А. Леусик, М. В. Трунин, Т. И. Набебина, В. А. Захарова, Я. С. Рыбалко // Конгресс Российского общества рентгенологов и радиологов : сб. тез., Москва, 6–8 нояб. 2019 г. – СПб., 2019. – С. 225–226.

14–А. Ультразвуковая эластография сдвиговой волны с мультипараметрической МРТ в планировании систематического и целевого этапов биопсии при подозрении на рак предстательной железы / С. В. Шиманец, А. В. Карман, С. А. Красный, Е. А. Абакумова, Е. А. Леусик, М. В. Трунин // XI съезд онкологов и радиологов стран СНГ и Евразии : тезисы, Казань, 23–25 апр. 2020 г. – [Опубл. в журн.] Евразийский онкологический журнал. – 2020. – Т. 8, № 2, прил. – С. 577.

15–А. Результаты использования ультразвуковой эластографии сдвиговой волны с мультипараметрической МРТ в планировании систематического и целевого этапов биопсии при подозрении на рак предстательной железы / С. В. Шиманец, А. В. Карман, С. А. Красный, Т. А. Трунина, Е. А. Леусик, Н. В. Рудишкин, А. И. Мурадханов, Е. И. Карман // Актуальные вопросы онкологии : тез. докл. респ. науч.-практ. конф., Минск, 17 дек. 2021 г. – [Опубл. в журн.] Онкологический журнал. – 2021. – Т. 15, № 3, прил. – С. 70–71.

16–А. Диагностические мероприятия в амбулаторных условиях при подозрении на клинически значимый рак предстательной железы / И. В. Юркевич, С. А. Красный, В. Г. Шецко, И. З. Ялонецкий, А. И. Ролевич, Д. М. Рыковский, А. В. Карман, А. И. Петрашевский, Е. А. Леусик, С. В. Шиманец // Инновационные технологии в здравоохранении: новые возможности для внутренней медицины : материалы междунар. науч.-практ. конф., Самарканд, 22 апр. 2022 г. – [Опубл. в журн.] Журнал кардиореспираторных исследований. – 2022. – № SI-1.1. – С. 171.

17–А. Диагностика ранних форм рака предстательной железы с помощью магнитно-резонансной томографии и трансректальной ультразвуковой эластографии / Е. А. Леусик, А. В. Карман, С. А. Красный, С. В. Шиманец, Е. И. Карман, Т. А. Трунина // XIII съезд онкологов и радиологов стран СНГ и Евразии : тезисы, Нур-Султан, 27–29 апр. 2022 г. – [Опубл. в журн.] Евразийский онкологический журнал. – 2022. – Т. 10, № 2, прил. – С. 478–479.

18–А. Янушевская, А. В. Диагностическая модель прогнозирования вероятности наличия клинически значимого рака предстательной железы при использовании мультипараметрической МРТ и трансректального УЗИ с эластографией сдвиговой волны / А. В. Янушевская, С. В. Шиманец, А. В. Карман // XIV съезд онкологов и радиологов стран СНГ и Евразии, посвященный 30-летию АДИОР СНГ и Евразии : тез. докл., Душанбе, 25–27 апр. 2024 г. – [Опубл. в журн.] Евразийский онкологический журнал. – 2024. – Т. 12, № 2, прил. – С. 917.

## **Инструкция по применению**

19–А. Метод диагностики рака предстательной железы с использованием ультразвуковой эластографии : инструкция по применению № 154–1121 : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 28.02.2022 / Респ. науч.-практ. центр онкологии и мед. радиологии им. Н. Н. Александрова ; сост. : С. А. Красный, А. В. Карман, Е. А. Леусик, Е. И. Карман, С. В. Шиманец, В. А. Захарова. – Минск, 2022. – 9 с.

## **Рационализаторское предложение**

– Способ оценки выявленных на мультипараметрической магнитно-резонансной томографии подозрительных очагов предстательной железы с помощью ультразвуковой эластографии сдвиговой волны : рац. предложение : удостов. № 312 : принято к использованию ГУ «РНПЦ онкологии и мед. радиологии им. Н. Н. Александрова» 09.10.2020 / С. В. Шиманец, А. В. Карман, Е. А. Абакумова, Е. А. Леусик.



## РЭЗІЮМЭ

**Шыманец Сяргей Валер'евіч**

**Дыягностыка раку прадсталёвай залозы з выкарыстаннем ультрагукавой эластаграфіі і магнітна-рэзананснай тамаграфіі**

**Ключавыя словы:** трансрэктальнае ўльтрагукавое даследаванне (ТрУГД), эластаграфія зруховай хвалі (ЭЗХ), мультыпараметрычная магнітна-рэзанансная тамаграфія (МРТ), рак прадсталёвай залозы (РПЗ).

**Мэта даследавання:** павысіць эфектыўнасць дыягностыкі РПЗ шляхам распрацоўкі метаду, які ўключае ТрУГД-ЭЗХ і мультыпараметрычную МРТ.

**Матэрыял і метады даследавання:** у праспектыўнае даследаванне ўключаны даныя 186 пацыентаў з падазрэннем на РПЗ. Выкарыстоўваліся метады вызначэння ізаформаў прастатаспецыфічнага антыгена (ПСА), мультыпараметрычная МРТ, трансрэктальнае УГД з ЭЗХ, біяпсія і статыстычны аналіз.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** распрацавана новая метадыка ТрУГД з ЭЗХ, упершыню дапоўненая сістэмай апісання і тэрміналогіі (САТ), якая дазваляе ацэньваць верагоднасць РПЗ. Спалучэнне метадаў мультыпараметрычнай МРТ і ТрУГД-ЭЗХ значна паляпшае дыягнастычную інфарматыўнасць пры мэтавым этапе біяпсіі (МЭБ). Пацверджана дыягнастычная эфектыўнасць ТрУГД-ЭЗХ як дадатковага інструмента да мультыпараметрычнай МРТ пры выяўленні і аналізе ачагоў РПЗ. Распрацаваны метады дыягностыкі дазволіў верыфікаваць РПЗ у 95 з 164 мужчын (57,9%), з якіх у 43 з 95 (45,3%) быў выяўлены клінічна значны РПЗ (кзРПЗ) з Grade Group (GG)  $\geq 2$  (шкала Глісана  $\geq 3+4$ ). Аптымізаваны працэс абследавання дазваляе скараціць колькасць працэдур біяпсіі. Выкарыстанне МЭБ павялічыла выяўленне клінічна значнага РПЗ (GG  $\geq 2$ ) на 34,2% у параўнанні са стандартнай сістэматычнай біяпсіяй ( $p < 0,05$ ). Верагоднасць кзРПЗ павялічваецца ў 7,7 раза пры высокай катэгорыі ацэнкі паводле МРТ і/або ТрУГД-ЭЗХ (95% даверны інтэрвал: 3,0–19,5). Распрацавана новая мадэль прагназавання наяўнасці кзРПЗ GG  $\geq 2$  з улікам найбольш значных фактараў.

**Ступень выкарыстання:** вынікі працы ўкаранёны ў практыку 2 рэспубліканскіх навукова-практычных цэнтраў і на кафедрах 2 універсітэтаў.

**Галіна ўжывання:** прамянёвая дыягностыка, анкалогія, уралогія.

## РЕЗЮМЕ

**Шиманец Сергей Валерьевич**

### **Диагностика рака предстательной железы с использованием ультразвуковой эластографии и магнитно-резонансной томографии**

**Ключевые слова:** трансректальное УЗИ, эластография сдвиговой волны (ЭСВ), мультипараметрическая МРТ, рак предстательной железы (РПЖ).

**Цель исследования:** повысить эффективность диагностики РПЖ путем разработки метода, включающего ТрУЗИ-ЭСВ и МРТ.

**Материал и методы исследования:** в проспективное исследование включены данные 186 пациентов с подозрением на РПЖ. Использовались методы определения изоформ ПСА, мультипараметрическая МРТ, трансректальное УЗИ с ЭСВ, биопсия и статистический анализ.

**Результаты и их новизна:** разработана новая методика ТрУЗИ с ЭСВ, впервые дополненная системой описания и терминологией (СОТ), позволяющей оценивать вероятность РПЖ. Сочетание методов мультипараметрической МРТ и ТрУЗИ-ЭСВ значительно улучшает диагностическую информативность при целевом этапе биопсии (ЦЭБ). Подтверждена диагностическая эффективность ТрУЗИ-ЭСВ как дополнительного инструмента к мультипараметрической МРТ в обнаружении и анализе очагов РПЖ. Разработанный метод диагностики позволил верифицировать РПЖ у 95 из 164 мужчин (57,9%), из которых у 43 из 95 (45,3%) был выявлен клинически значимый РПЖ ( $GG \geq 2$ , Глисон  $\geq 3+4$ ). Оптимизированный процесс обследования позволяет сократить количество процедур биопсии. Использование ЦЭБ увеличило выявление клинически значимого РПЖ (кзРПЖ –  $GG \geq 2$ ) на 34,2% по сравнению с систематической стандартной биопсией ( $p < 0,05$ ). Вероятность кзРПЖ увеличивается в 7,7 раза при высокой категории оценки на МРТ и/или ТрУЗИ-ЭСВ (95% ДИ: 3,0–19,5). Разработана новая модель прогнозирования наличия кзРПЖ  $GG \geq 2$  с учетом наиболее значимых факторов.

**Степень использования:** результаты работы внедрены в практику 2 РНПЦ и на кафедрах 2 университетов.

**Область применения:** лучевая диагностика, онкология, урология.

## SUMMARY

**Shimanets Sergey Valeryevich**

### **Diagnosis of prostate cancer using ultrasound elastography and magnetic resonance imaging**

**Keywords:** transrectal ultrasound (TrUS), shear wave elastography (SWE), multiparametric magnetic resonance imaging (MRI), prostate cancer (PCa).

**Objective of the study:** to improve the efficiency of diagnosis of prostate cancer by developing a method that includes TrUS-SWE and MRI.

**Materials and methods:** this prospective study included data from 186 patients suspected of having prostate cancer. The methods employed were PSA isoform determination, multiparametric MRI, transrectal ultrasound with shear wave elastography, biopsy, and statistical analysis.

**Results and novelty:** a new methodology for transrectal ultrasound with shear wave elastography (TrUS-SWE) has been developed, for the first time complemented by a Reporting and Terminology System (RTS), allowing for the assessment of prostate cancer (PCa) probability. The combination of multiparametric MRI and TrUS-SWE significantly improves diagnostic informativeness during the targeted biopsy phase (TBP). The diagnostic effectiveness of TrUS-SWE as an additional tool to multiparametric MRI in detecting and analyzing PCa lesions has been confirmed. The developed diagnostic method allowed for the verification of PCa in 95 out of 164 men (57.9%), of whom 43 out of 95 (45.3%) were diagnosed with clinically significant PCa (GG  $\geq$ 2, Gleason score  $\geq$ 3+4). The optimized examination process allows for a reduction in the number of biopsy procedures. The use of TBP increased the detection of clinically significant PCa (csPCa – GG  $\geq$ 2) by 34.2% compared to systematic standard biopsy ( $p < 0.05$ ). The probability of csPCa increases 7.7-fold with a high category score on MRI and/or TrUS-SWE (95% confidence interval: 3.0–19.5). A new model for predicting the presence of csPCa (GG  $\geq$ 2), taking into account the most significant factors, has been developed.

**Degree of use:** the results of the work have been implemented in practice at 2 Republican Scientific and Practical Centers and at the departments of 2 universities.

**Scope:** radiology, oncology, urology.

**ШИМАНЕЦ**  
**Сергей Валерьевич**

**ДИАГНОСТИКА РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭЛАСТОГРАФИИ  
И МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук  
по специальности 14.01.13 – лучевая диагностика, лучевая терапия

Подписано в печать 11.02.2026. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печать цифровая.  
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 1,55. Уч.-изд. л. 1,31.  
Тираж 80 экз. Заказ 134.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
государственное учреждение «Национальная библиотека Беларуси».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 1/398 от 02.07.2014.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий № 2/157 от 02.07.2014.

Пр. Независимости, 116, 220114, г. Минск.  
Тел. (+375 17) 293 28 10. Факс (+375 17) 368 97 23.  
E-mail: zav\_izdat@nlb.by.