

ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ О СОДЕРЖАНИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВОЛОСАХ И НОГТЯХ ПАЦИЕНТОВ С РПЖ И ДГПЖ В РАЗЛИЧНЫХ СТРАНАХ МИРА

М.Б. Хуссейн¹, И.И. Лапин^{1,2*}, Х. Эль Яу Мусса¹, Т.В. Коробейникова^{1,2}¹ Первый МГМУ им. И.М. Сеченова;
Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Трубецкая д.8, стр.2² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»;
Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

РЕЗЮМЕ. Рак предстательной железы (РПЖ) и доброкачественная гиперплазия предстательной железы (ДГПЖ) являются одними из наиболее распространенных заболеваний предстательной железы, которые встречаются у пожилых мужчин. Эти заболевания имеют общие симптомы, но вместе с тем разные патологические и клинические течения. Получены данные, свидетельствующие о том, что дисбаланс микроэлементов может играть ключевую роль в возникновении и прогрессировании обоих состояний. В обзоре обобщены современные знания о концентрациях и последствиях дефицита и избытка микроэлементов, таких как цинк, селен, медь, кадмий, мышьяк и свинец, в образцах волос и ногтей у пациентов с РПЖ и ДГПЖ.

Элементный состав волос и ногтей способен отражать долгосрочное воздействие на организм неблагоприятных факторов, а также накопление эссенциальных и токсичных элементов. Дисбалансы в элементных профилях данных биосубстратов могут свидетельствовать о повышенном уровне окислительного стресса, воспаления или о гормональных нарушениях, связанных с развитием указанных заболеваний. В ряде источников указываются на более низкие уровни цинка и селена и более высокие уровни кадмия и меди у пациентов с РПЖ. Образцы волос и ногтей пациентов с ДГПЖ также характеризуются рядом отклонений в содержании микроэлементов, но отличными от тех, что наблюдаются при РПЖ.

Подчеркивается потенциал микроэлементного профилирования с использованием элементного состава волос и ногтей для раннего выявления, дифференциации РПЖ и ДГПЖ и терапевтического мониторинга.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рак предстательной железы, доброкачественная гиперплазия предстательной железы, микроэлементы, волосы, ногти, ИСП-МС.

Для цитирования: Хуссейн М.Б., Лапин И.И., Эль Яу Мусса Х., Коробейникова Т.В. Сравнительный анализ данных о содержании химических элементов в волосах и ногтях пациентов с РПЖ и ДГПЖ в различных странах мира. Микроэлементы в медицине. 2025;26(2):3–19. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-2-3-19.

ВВЕДЕНИЕ

Современные исследования свидетельствуют, что рак предстательной железы (РПЖ) в настоящее время занимает второе место по распространенности среди видов рака в мире и пятое место по уровню смертности от рака (Siegel et al., 2020). Патогенез РПЖ является многофакторным и включает в себя сложную взаимосвязь генетических факторов, гормональных изменений, образа жизни и воздействия окружающей среды (Costello, Franklin, 2017; Rawla, 2019). В частности, продолжаются исследования, направленные на определение роли микроэлементов в возникновении и прогрессировании РПЖ (Saleh et al., 2020). Это заболевание поражает в основ-

ном пожилых мужчин, причем в большинстве случаев возраст начала заболевания составляет более 50 лет.

Патогенез РПЖ возникает из сложного взаимодействия генетических, гормональных и экологических факторов. Предрасположенности генов, инкапсулированных с родителями, такими как *BRCA1* и *BRCA2*, наряду с другими факторами вызывают более высокие риски (Benafif et al., 2018; Pernar et al., 2018). Наибольшие факторы риска, связанные с РПЖ, включают в себя: старение, семейный анамнез, расу и образ жизни. Большинство пациентов с РПЖ принадлежат к афроамериканскому сообществу, статистически известно, что они имеют самый высокий риск.

* Адрес для переписки:

Лапин Илья Игоревич

E-mail: lapin_i_i@staff.sechenov.ru

Ожирение и потребление продуктов, богатых жирами, также повышают риск развития заболевания (Ferlay et al., 2015; Bancroft et al., 2021).

Доброкачественная гиперплазия предстательной железы (ДГПЖ) – это возрастное доброкачественное увеличение предстательной железы, которое, как правило, становится более распространенным у мужчин по мере их старения. Эта патология гистологически обнаруживается почти у 50% мужчин в возрасте старше 60 лет и у 90% людей старше 70 лет (Goh et al., 2015). С медицинской точки зрения она характеризуется чрезмерной пролиферацией пограничных зон или стромы и эпителия предстательной железы, которая приводит к симптомам нижних мочевыводящих путей, таким как частые и императивные позывы к мочеиспусканию, никтурия и слабая струя мочи (Singh et al., 2023).

Патофизиология ДГПЖ включает в себя динамический и статический компоненты. Статический проявляется в виде увеличения размеров предстательной железы, что приводит к сдавливанию уретры (Lim, 2017).

Динамический компонент характеризуется повышением тонуса гладких мышц простаты и шейки мочевого пузыря, вызванным альфа-адренергическими рецепторами. Известны факторы риска ДГПЖ, включающие в себя возраст, гормональные влияния и метаболический синдром (Cai et al., 2019). Существует очевидная связь с компонентами метаболического синдрома (ожирение, инсулинорезистентность, дислипидемия и т. д.) и объемом простаты. В исследовании Sciarra et al. (2007) обсуждается, что хроническое воспаление может привести к ДГПЖ, а воспалительные инфильтраты, обнаруженные в ткани простаты у лиц, страдающих от ДГПЖ, обычно хорошо документированы.

Рак предстательной железы и доброкачественная гиперплазия характеризуются схожей симптоматикой, однако различны в своем патогенезе. В то время как РПЖ представляет из себя онкологическое заболевание с высоким риском метастазирования, ДГПЖ с патогенетической точки зрения – доброкачественный процесс с симптомами обструктивного характера (Chan et al., 2018). Кроме того, ДГПЖ возникает в переходной зоне, тогда как РПЖ обычно поражает ткани в периферической зоне железы.

Ц е л ь о б з о р а – сравнение содержания химических элементов в волосах и ногтях пациентов с раком предстательной железы и доброка-

чественной гиперплазией предстательной железы, а также выявление закономерностей в элементном статусе, связанных с этими заболеваниями, с использованием существующей литературы.

ПАТОФИЗИОЛОГИЯ И ЭПИДЕМИОЛОГИЯ РПЖ И ДГПЖ

Рак простаты возникает вследствие злокачественной трансформации железистых клеток в простате, что приводит к неконтролируемой клеточной пролиферации, локальной инвазии и потенциальному метастазированию. Это самый распространенный некожный рак у мужчин во всем мире, причем показатели заболеваемости различаются в разных популяциях и, как правило, увеличиваются с возрастом (Bostwick et al., 2004; Wang et al., 2024). Как утверждают Crawford et al. (2019), на возникновение РПЖ влияет ряд факторов, которые следует учитывать; генетические факторы, гормональные факторы (особенно андрогены) и факторы окружающей среды являются этиологией РПЖ.

Heinlein, Chang (2004) заявили, что андрогены, особенно дигидротестостерон, играют центральную роль как в нормальном развитии простаты, так и в патогенезе РПЖ. Генетические мутации в генах репарации ДНК, таких как *BRCA1* и *BRCA2*, связаны с наследственными формами заболевания. Ранняя стадия РПЖ часто протекает бессимптомно, но по мере прогрессирования заболевания симптомы могут включать в себя обструкцию мочевыводящих путей, гематурию и, если возникают метастазы, боль в костях и системные симптомы (Sigel et al., 2023). Скрининг и раннее выявление имеют решающее значение, поскольку локализованное заболевание часто излечимо, тогда как запущенное заболевание имеет плохой прогноз (Crawford et al., 2019).

Доброкачественная гиперплазия предстательной железы – это нераковое увеличение предстательной железы, в первую очередь затрагивающее область вокруг уретры (Bushman, 2009). Происходит быстрое накопление стромальных и эпителиальных клеток, вызывающее рост простаты и давление на уретру, что приводит к проблеме с мочеиспусканием. Основная причина ДГПЖ не совсем понятна, но тесно связана со старением и гормоном дигидротестостероном, который вырабатывается из тестостерона при участии 5 α -редуктазы (Nazarko, 2023). Доброкачественная гиперплазия предстательной железы становится бо-

лее выраженной с возрастом: по оценкам, у 50% мужчин в возрасте 60 лет и около 90% мужчин в возрасте 90 лет при посмертном вскрытии обнаруживаются те или иные признаки ДГПЖ (Madersbacher, Sampson et al., 2019). Помимо старения, воспаление, метаболические механизмы и нейроэндокринные факторы также могут играть роль в возникновении ДГПЖ.

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ФАКТОРЫ РИСКА И КЛИНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РПЖ И ДГПЖ

Оба заболевания, РПЖ и ДГПЖ, являются распространенными возрастными заболеваниями простаты, они различаются по своей патофизиологии, факторам риска и клиническим проявлениям (Zhou et al., 2018; Wang et al., 2024). Возраст является наиболее значимым фактором риска для обоих заболеваний, но на РПЖ также влияют раса (более высокая заболеваемость и агрессивность у афроамериканских мужчин), семейный анамнез и унаследованные генетические мутации (Chen et al., 2025). Напротив, ДГПЖ в первую очередь связана со старением и гормональными изменениями, с менее четким вкладом генетических или экологических факторов (Cannarella et al., 2021). Семейный анамнез может играть роль в ДГПЖ, но эта связь менее надежна, чем для РПЖ.

Клинически ранний РПЖ часто протекает бессимптомно, а симптомы, если они присутствуют, могут быть схожи с симптомами ДГПЖ, например частое мочеиспускание и слабая струя мочи (Tshoni, Mbonane et al., 2024). Однако РПЖ также может проявляться гематурией, эректильной дисфункцией или симптомами, связанными с метастазами, такими как боль в костях. С другой стороны, ДГПЖ характеризуется прогрессирующей системой нижних мочевыводящих путей из-за обструкции выходного отверстия мочевого пузыря, включая никтuriю, императивные позывы, слабую струю и неполное опорожнение мочевого пузыря (Zaichick V., Zaichick S., 2019). Симптомы ДГПЖ, как правило, медленно ухудшаются с течением времени, но не у всех мужчин с ДГПЖ развиваются выраженные симптомы. Осложнения ДГПЖ включают в себя задержку мочи, инфекции мочевыводящих путей и редко – повреждение мочевого пузыря или почек.

Рак предстательной железы многофакторное заболевание, на развитие и прогрессирование которого влияют многочисленные факторы.

Генетическая предрасположенность. Генетическая восприимчивость вносит значительный вклад в РПЖ, при этом исследования демонстрируют, что унаследованные и приобретенные генетические мутации являются критическими детерминантами заболеваемости РПЖ. Унаследованные мутации составляют 10% случаев, причем наследственные мутации считаются значимым генетическим фактором риска, включая некоторые мутации гена *HOXB13* в некоторых локусах, таких как 8q24 (Eeles, 2014; Mustafa et al., 2016). Также установлена семейная связь с раком молочной железы, что демонстрирует значение генетических факторов в риске рака. Как указано в исследовании Mucci et al., риск РПЖ объясняется генетическими факторами в 57% случаев (Mucci et al., 2016). Исследования показывают, что у мужчин, в семейном анамнезе которых были случаи рака молочной железы, риск увеличивается на 21%, в то время как у тех, у кого в семейном анамнезе есть случаи РПЖ, риск повышается на 68% (Barber et al., 2018).

Гормональные факторы. Хорошо известно, что тестостерон и его более биологически активный метаболит дигидротестостерон (ДГТ) стимулируют пролиферацию опухолевых клеток при РПЖ, а избыточное количество андрогенов или большая чувствительность рецепторов могут увеличить вероятность развития опухоли (Cai et al., 2019). Несмотря на то, что андрогенная депривационная терапия является основным методом лечения, при значительной длительности последней она может привести к кастрат-резистентной вариации РПЖ, устойчивой к хирургическому лечению посредством орхиэктомии (Mohler et al., 2018).

Роль лекарственных средств и хронических инфекций. Лекарственные средства, в том числе, метформин и статины, также связаны с исходами РПЖ; хотя метформин может иметь противоопухолевую активность, метааналитическое исследование показало, что использование метформина не было связано с риском РПЖ (Feng et al., 2019). Статины, однако, продемонстрировали снижение смертности от РПЖ среди пользователей на 34% (Yu et al., 2014). Хронические воспалительные заболевания и инфекции также, возможно, увеличивают риск рака, поскольку заболевания, такие, например, как простатит, могут вызывать клеточные изменения, которые предрасполагают к развитию РПЖ (Alavanja et al., 2003; Jiang et al., 2013).

Факторы, связанные с образом жизни.

Факторы образа жизни, в том числе ожирение и метаболический синдром, также вносят значительный вклад в риск РПЖ. Метааналитические исследования показывают, что на каждые 5 кг/м² увеличения индекса массы тела (ИМТ) приходится соответствующее 20%-ное увеличение риска смертности от РПЖ (Cao et al., 2011; Allott, Hursting, 2015). Эта связь, по всей вероятности, возникает из-за гормональных изменений, связанных с ожирением, метаболизмом IGF-1 и половых гормонов, а также адипокинов, включая адипонектин, которые все независимо связаны с риском развития РПЖ (Liao et al., 2015; Smith et al., 2018).

Кроме того, важны факторы образа жизни, такие как употребление табака и алкоголя. Хотя само по себе курение не всегда связано с повышением заболеваемости, у заядлых курильщиков существенно выше уровень смертности от РПЖ (Huncharek et al., 2010). Показано, что более высокие уровни потребления алкоголя связаны с повышенным риском РПЖ (Zhao et al., 2016).

**МИКРОЭЛЕМЕНТЫ:
БИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ И ЗНАЧЕНИЕ
ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ ПРОСТАТЫ**

Микроэлементы – это химические элементы, необходимые в ничтожно малых количествах для оптимальных физиологических функций (Al-Fartusie, Mohssan, 2017). Они присутствуют в организме в концентрациях менее 0,01% от массы тела, однако играют огромную роль в здоровье человека, в том числе предстательной железы (Zaichick V., Zaichick S., 2017). Микроэлементы необходимы для различных биохимических функций в организме, таких как активация ферментов, выработка гормонов, экспрессия генов и поддержание клеточной структуры и гомеостаза (Liu et al., 2020). Элементы подразделяются на жизненно необходимые, или эссенциальные, (например, Zn, Se, Cu, Mn, Fe) и токсичные (например, Cd, Pb, Hg, As), каждый из которых влияет на здоровье простаты через отдельный механизм (Tshoni, Mbonane, 2024). Баланс между эссенциальными и токсичными микроэлементами имеет решающее значение, поскольку дисбаланс может способствовать развитию как ДГПЖ, так и РПЖ.

Железо (Fe), цинк (Zn), медь (Cu), селен (Se) и йод (I) являются эссенциальными микроэлементами и выполняют важные биологические функции в организме человека. Железо играет ключевую роль в образовании гемоглобина и

миоглобина для транспортировки и хранения кислорода в клетках человека (Tshoni, Mbonane et al., 2024). Цинк участвует в более чем 300 ферментативных реакциях, влияя на синтез ДНК, иммунную функцию и заживление ран. Медь необходима для митохондриального дыхания, она участвует в качестве кофактора в ферментативных реакциях, которые вырабатывают энергию и обеспечивают антиоксидантную защиту. (Tapiero et al., 2003; Strachan, 2010).

Селен используется в сочетании с селенопротеинами, которые являются антиоксидантами и участвуют в метаболизме гормонов щитовидной железы. Селен действует как антиоксидант через селенопротеины, которые защищают клетки от окислительного стресса. (Prashanth et al., 2015; Da Silva, 2024). Йод является источником для производства гормонов щитовидной железы, которые также играют роль в метаболизме и развитии. Молибден (Mo) используется в качестве кофактора, в то время как марганец (Mn) и хром (Cr) являются менее изученными элементами, которые участвуют в активности ферментов и метаболизме глюкозы соответственно (Скальный, 2018).

Отмечены регуляторные эффекты микроэлементов на иммунную функцию. Селен и цинк критически важны для пролиферации иммунных клеток, а также для антиоксидантной защиты; токсичные элементы могут способствовать иммунной дисфункции и влиять на развитие аутоиммунных заболеваний, таких как диабет 1-го типа и рассеянный склероз (Cannas et al., 2020). Влияние окружающей среды (например, промышленное загрязнение), загрязненная вода и пища приводят к накоплению токсичных микроэлементов в организме (Da Silva, 2024).

Патологические последствия дисбаланса микроэлементов. Патологические последствия дисбаланса микроэлементов возникают как из-за дефицита, так и вследствие избытка основных и второстепенных элементов, каждый из которых способствует возникновению спектра нарушений здоровья. Эссенциальные микроэлементы, такие как Fe, Zn, Cu, Se и I имеют решающее значение для биохимических функций, включая активацию ферментов, иммунную регуляцию и клеточный метаболизм (Prasad, 2014; Skalny, 2018). Нарушения в их гомеостазе могут спровоцировать как острые, так и хронические заболевания.

Дефицит железа, наиболее распространенный дефицит питательных веществ в мире, при-

водит к анемии, характеризующейся усталостью, нарушением когнитивных функций и повышенным риском сердечной недостаточности, особенно у беременных женщин и детей (Attar, 2020). И наоборот, перегрузка железом может вызвать окислительное повреждение тканей, печеночную недостаточность, диабет и даже смерть, если ее не лечить (Mozrzymas, 2018; Da Silva, 2024).

Дефицит цинка приводит к задержке роста, задержке полового созревания и повышенной восприимчивости к инфекциям, в то время как избыток цинка может нарушить усвоение меди и иммунную функцию (Al-Fartusie, Mohssan, 2017; Da Silva, 2024).

Дефицит меди связан с неврологическими и гематологическими нарушениями, тогда как избыток этого элемента, как это наблюдается при болезни Вильсона, приводит к печеночным и неврологическим повреждениям (Tapiero et al., 2003).

Дефицит селена связан с болезнью Кешана, кардиомиопатией и нарушением антиоксидантной защиты, в то время как избыток этого элемента может привести к селенозу, вызывающему желудочно-кишечные и неврологические симптомы (Attar, 2020).

Дефицит йода является основной причиной зоба и гипотиреоза, причем тяжелые случаи приводят к умственной отсталости и задержкам развития (Al-Fartusie, Mohssan, 2017). Избыточное потребление йода подавляет функцию щитовидной железы (Da Silva, 2024).

Дефицит молибдена может приводить к нарушению множества неврологических и метаболических процессов (Cannas et al., 2020).

Свинец, кадмий, ртуть и мышьяк токсичны даже при низких концентрациях. Хроническое воздействие свинца ухудшает неврологическое развитие у детей (Liang et al., 2023) и вызывает когнитивную дисфункцию и повреждение почек у взрослых (Goldhaber, 2003). Накопление кадмия влияет на функцию почек и здоровье костей, в то время как ртуть нейротоксична и может привести к когнитивным дефицитам. Воздействие мышьяка связано с поражениями кожи, раком и сердечно-сосудистыми заболеваниями (Cannas et al., 2020; Brewer, Prasad, 2020; Tshoni, Mbonane et al., 2024). Раннее выявление и коррекция статуса микроэлементов имеют важное значение для предотвращения заболеваемости и смертности, связанных с этими дисбалансами.

Окислительный стресс и микроэлементы.

Регуляция окислительного стресса является одним из главных путей, посредством которого микроэлементы влияют на здоровье простаты. Такие эссенциальные элементы, как селен и цинк, помогают поддерживать клеточный окислительно-восстановительный баланс, поддерживая антиоксидантные ферменты и подавляя активные формы кислорода (ROS) (Guntupalli et al., 2007; Zaichick V., Zaichick S., 2017). Напротив, дефицит этих элементов связан с повышенным окислительным повреждением и нарушением иммунной функции, что может predispose к развитию РПЖ. Токсичные элементы (Cd, Pb и As) вызывают окислительный стресс, генерируя свободные радикалы и нарушая клеточную антиоксидантную защиту. Повышенные уровни этих металлов в ткани простаты связаны с повреждением ДНК, воспалением и злокачественной трансформацией, что подчеркивает их роль в канцерогенезе простаты.

Гомеостаз микроэлементов при канцерогенезе и доброкачественных заболеваниях.

Поддержание гомеостаза микроэлементов имеет решающее значение для профилактики как злокачественных, так и доброкачественных заболеваний предстательной железы. При РПЖ изменения в профилях микроэлементов очевидны; факт увеличения содержания Mn, Cu и Mo и уменьшения содержания ванадия (V) и Se у пациентов с РПЖ по сравнению со здоровыми контрольными лицами отмечается во многих исследованиях (Aydin et al., 2006; Shahrokhi Nejad et al., 2024). Кроме того, ДГПЖ связана с измененным статусом микроэлементов, хотя закономерности различны. Например, сообщалось, что у пациентов с ДГПЖ наблюдаются более низкие концентрации V, Mg и Se, но повышенное содержание Mo. Эти изменения могут представлять собой нарушения в других клеточных процессах, таких как метаболизм, окислительный стресс и воспаление (Zaichick V., Zaichick S., 2019).

Известно, что элементы в небольших количествах имеют большое значение для предстательной железы; эссенциальные элементы помогают в системе защиты, ферментах, клеточной активности, в то время как токсичные элементы наносят вред через окислительный стресс и разрушение ДНК (Liu et al., 2025). Изменения в равновесии микроэлементов являются фактором развития как РПЖ, так и ДГПЖ. Следовательно, достаточное количество этих элементов имеет

решающее значение для здоровья простаты и профилактики заболевания (Tshoni et al., 2024).

Корреляция микроэлементов с клиническими параметрами. Множественные связи между количеством элементов в организме и клиническими факторами стали считаться важными для лучшего понимания течения заболевания, его причин и последствий. Многочисленные исследования оценивали связь микроэлементов с клиническими маркерами, такими как уровень ПСА, селенопротеины, индекс Глисона, возраст, образ жизни, диета и стадия опухоли.

Патологические параметры. Простатический специфический антиген является широко используемым биомаркером для скрининга и лечения РПЖ, наряду с оценкой по шкале Глисона, которая дает гистопатологическую меру агрессивности опухоли. Так, ПСА и оценка по шкале Глисона надежно предсказывают стадию заболевания и прогрессирование; однако их связь с концентрациями микроэлементов менее ясна (Fujita et al., 2022). Селенопротеин Р (SELENOP), важный антиоксидантный белок, заметно снижен в опухолях предстательной железы, что указывает на меньшую защиту от окислительного стресса по сравнению с доброкачественными тканями и, следовательно, на сниженную защиту от повреждения, опосредованного активными формами кислорода (ROS) (о чем свидетельствуют более низкие уровни мРНК и белка). Аналогичным образом селенсвязывающий белок 1 (SBP1), другой вероятный супрессор опухолевого процесса, показал более низкие уровни ядерного SBP1, заметно коррелирующие с более высокими оценками по шкале Глисона и биохимическим рецидивом после простатэктомии, что позволяет предположить, что SBP1 является кандидатом на прогностический биомаркер для более агрессивного заболевания.

В некоторых исследованиях сообщается только о слабых или статистически незначимых связях между уровнями микроэлементов (например, цинк в ногтях пальцев ног) и ПСА или показателем Глисона (Zhou et al., 2018). Однако другие исследования подчеркивают, что определенные профили микроэлементов, такие как повышенный уровень кобальта, марганца и стронция в моче, связаны с повышенным риском смертности при РПЖ, часто в сочетании с высоким ПСА и повышенным показателем Глисона (Siegel et al., 2023; Mbey et al., 2025). И наоборот, более высокие уровни меди в тканях способны оказы-

вать защитный эффект. Эти результаты свидетельствуют о том, что дисбаланс микроэлементов может влиять на прогрессирование и исход заболевания, хотя механизмы требуют дальнейшего выяснения.

Возраст, образ жизни и диета. Возраст является общим фактором риска как для РПЖ, так и для ДГПЖ, причем у пожилых мужчин чаще встречается прогрессирующее заболевание (Lin et al., 2019; Miah, Catto, 2014). Факторы образа жизни и питания также участвуют в абсорбции, воздействии и метаболизме микроэлементов и могут способствовать риску и прогрессированию рака. Однако нет никаких потенциальных ассоциаций воздействия, которые зависят от примеров межиндивидуальной изменчивости абсорбции, метаболизма и выведения микроэлементов.

Стадия и прогрессирование опухоли. Поздняя стадия опухоли и прогрессирование РПЖ часто связаны с измененными профилями микроэлементов. Как отметили Aydin et al. (2006), изменения в концентрациях Mn, Fe, Cu и Zn в тканях коррелируют с клинической стадией и степенью по шкале Глисона, отражая сложные биологические процессы, лежащие в основе роста опухоли. Эти изменения могут указывать на окислительный стресс, воспаление или метаболическое перепрограммирование, связанные с прогрессированием рака. Баллы по шкале Глисона и ПСА остаются центральными для принятия клинических решений при РПЖ, анализ микроэлементов дает дополнительную информацию о биологии и прогрессировании заболевания. Необходимы дальнейшие исследования для выяснения причинно-следственных связей и оптимизации клинической полезности профилирования микроэлементов.

Цинк (Zn). Цинк является важным микроэлементом, который регулирует несколько физиологических функций, в том числе рост, развитие и иммунные процессы. Функция около 3000 белков также влияет на более чем 2000 сигнальных молекул (Patil et al., 2023). Sugimoto et al., (2024) сообщили, что дефицит цинка, который затрагивает более двух миллиардов человек во всем мире связан с нарушением заживления ран, анемией и иммунной дисфункцией. Цинк действует биохимическим образом, влияя на синтез ДНК, транскрипцию и апоптоз. Гомеостаз цинка регулируется транспортерами ZIP и ZnT, которые предотвращают чрезмерное деление клеток и апоптоз (Oteiza, 2012). В предстательной железе наблюда-

ется высокое накопление цинка, что подразумевает, что этот элемент выполняет определенные функции в поддержании здоровья простаты (Zaichick V., Zaichick S., 2019).

Изучалась связь между уровнями цинка и риском РПЖ. В некоторых исследованиях обнаружено, что концентрации этого элемента в сыворотке и тканях у пациентов с РПЖ ниже, чем у здоровых лиц, что свидетельствует о защитной роли цинка (Singh et al., 2016; Saleh et al., 2020). Например, исследование ученых из Судана выявило значительно более низкие уровни цинка у пациентов с РПЖ по сравнению с контрольной группой (Khedir Abdelmajid et al., 2022). Исследование из Медицинского университета короля Георга в Индии продемонстрировало значительно более низкую концентрацию цинка в биологических образцах тканей РПЖ, чем в образцах пациентов с ДГПЖ (Singh et al., 2023). Amadi, Aleme (2020) также обнаружили, что 69,1% пациентов с РПЖ имели дефицит цинка по сравнению с 21,8% в контрольной группе. Интересно, что дефицит цинка наблюдался у 78,3% пожилых пациентов с РПЖ, что объясняется высокой частотой заболевания.

Напротив, несколько исследований сообщили о более высоких концентрациях цинка у пациентов с РПЖ, чем в контрольной группе, особенно в определенных популяциях. В исследовании с участием нигерийской популяции более высокая концентрация цинка в ногтях пальцев ног показала связь с РПЖ, однако не было никакой связи между концентрацией цинка и прогрессированием заболевания (Igbokwe et al., 2021). Пути действия цинка на риск РПЖ сложны и имеют несколько способов влияния, поскольку известно, что этот элемент играет решающую роль в опосредовании апоптоза и прогрессировании клеточного цикла в злокачественных клетках простаты (Oteiza, 2012). Показано, что цинк оказывает ингибирующее действие на активность ферментов, участвующих в прогрессировании РПЖ, таких как матриксные металлопротеиназы (Costello et al., 2005). Кроме того, высказано предположение, что цинк может проявлять антиоксидантный потенциал, защищая от окислительного стресса и повреждения клеток (Prasad, 2014).

Несоответствия, которые окружают новую связь цинка с риском развития РПЖ, могут быть связаны с соответствующими изученными популяциями, методом, используемым для количественной оценки концентрации цинка, и стадией

диагностики РПЖ. Таким образом, требуются дополнительные исследования, чтобы определить роль цинка в возникновении риска развития РПЖ и понять, обеспечит ли добавление цинка защитный эффект (если таковой имеется) против возможных последующих вариантов лечения РПЖ.

Селен (Se). Важный микроэлемент с антиоксидантными и противораковыми свойствами селен (Rayman, 2012) привлек пристальное внимание исследователей РПЖ. Селенопротеины, названные так в честь входящего в их состав селена, защищают от окислительного повреждения и помогают регулировать иммунитет (Mariotti, Gladyshev, 2022). Растущие данные подчеркивают критическую активность селена и селенопротеинов в РПЖ, направляя многие исследовательские усилия на такие процессы, как сигнализация андрогеновых рецепторов (AR), гибель клеток и ангиогенез. Благодаря своему уникальному разнообразию преимуществ, селен демонстрирует большой потенциал для профилактики, прогрессирования и лечения РПЖ; таким образом, появляются новые возможности для скрининга новых агентов (Jiang et al., 2023).

Связь между уровнями селена и заболеваемостью РПЖ изучалась в многочисленных исследованиях. В нескольких исследованиях сообщалось о более низких уровнях селена в сыворотке и/или тканях пациентов с РПЖ по сравнению со здоровыми людьми, что указывает на возможность его защитной функции (Saleh et al., 2020; Lubiński et al., 2023). Lubiński et al. (2023) сообщили, что более высокий уровень селена у онкологических пациентов впоследствии был связан с более низкими показателями смертности. Исследование Saleh et al. (2020) из Университета Умм-эль-Кура (Саудовская Аравия), показало, что у всех пациентов наблюдаются более низкие концентрации селена. Singh et al. (2016) также сообщили о более низких концентрациях селена в тканях пациентов с РПЖ, чем у пациентов с ДГПЖ (Singh et al., 2016; Saleh et al., 2020).

Предложенные механизмы действия, посредством которых селен оказывает удар по РПЖ, включают в себя удаление свободных радикалов, клеточную антиоксидантную защиту и регуляцию иммунных реакций. Считается, что они действуют посредством своей антиоксидантной эффективности и усиления активности НК-клеток (Liu et al., 2020). Селен может открыть пути для исследования новых агентов из-за его набора свойств. Таким образом, хотя есть

исследование, которое не выявило значительной связи между уровнями селена и риском РПЖ, несколько других исследований предположили вероятное увеличение риска РПЖ при повышенном потреблении селена. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы лучше понять роль селена в профилактике РПЖ и дополнительно уточнить анализы, касающиеся того, какие добавки селена для человека могут принести наибольшую пользу.

Медь (Cu). Медь – это микроэлемент, который влияет на различные ферментативные реакции и играет важную роль в ангиогенезе и процессе роста кровеносных сосудов (Brewer, 2009). Хотя медь необходима для нормальной работы клеток, повышенный уровень этого элемента связан с развитием рака. В нескольких исследованиях изучались уровни меди и их связь с риском РПЖ. В некоторых исследованиях были выявлены повышенные уровни меди в сыворотке и ткани простаты пациентов с РПЖ по сравнению со здоровыми лицами (Saleh et al., 2020; Khedir Abdelmajid et al., 2022). Khedir Abdelmajid et al. (2022) также сообщают, что в группе с РПЖ концентрации меди были значительно выше, чем в контрольной группе. Saleh et al. (2020) обнаружили, что у пациентов с РПЖ был повышен уровень меди по сравнению с лицами без РПЖ. Уровень меди также был положительно связан с более высоким отношением риска смертности от рака (Lubiński et al., 2023).

Медь способствует развитию рака, усиливая ангиогенез, при котором кровеносные сосуды расширяются для снабжения кислородом и питательными веществами делящихся раковых клеток, а также во время метастазирования (Cong et al., 2025). Медь является проангиогенным фактором, который вызывает ангиогенез и метастазирование опухолей (Bian et al., 2023). Медь-зависимые ферменты, такие как SOD и церулоплазмины, повышают устойчивость раковых клеток к окислительному стрессу; это увеличивает выживаемость и деление раковых клеток (Tisato et al., 2018). Регуляция гомеостаза меди была исследована как терапевтический подход для РПЖ (Ishida et al., 2013).

Медь, выступая в качестве кофактора для таких ферментов, как лизилоксидаза, способствует образованию поперечных связей коллагена и эластина во внеклеточном матриксе для формирования кровеносных сосудов.

Ионы меди могут связываться с фактором

роста эндотелия сосудов (VEGF) и способствовать димеризации, ускоряя процесс связывания VEGF с его рецептором, тем самым инициируя пути передачи сигнала, которые способствуют ангиогенезу (Kong, Sun, 2023). Первая анодная блокада Cu-зависимого ангиогенеза отвечает за рост опухоли. Нацеливаясь на метаболизм, медь может представлять собой потенциальный путь лечения РПЖ. Лекарственные препараты, способные связывать ионы меди и способствовать усилению её экскреции, достаточно давно показали свою эффективность в терапии различных видов рака (Brewer, 2009).

Кадмий (Cd). Кадмий, известный канцероген, может способствовать развитию РПЖ посредством различных механизмов (Waalkes, 2003; Neslund-Dudas et al., 2018). Воздействие кадмия связано с повышенным риском заболеваний легких, почек и РПЖ. Многочисленные исследования, тщательно изучив связь между уровнями кадмия и развитием РПЖ, обнаружили повышенные уровни кадмия в крови, моче и тканях пациентов с РПЖ по сравнению со здоровыми лицами (Bede-Ojima et al., 2023; Tyagi et al., 2023; Drozd-Afelt et al., 2024). Ткани опухоли имели повышенные уровни кадмия по сравнению с соседними тканями, в то время как уровни кадмия в моче у 70% пациентов были выше пределов CDC (Tyagi et al., 2023). Эти примеры также были связаны с более высоким уровнем мышьяка, который обычно можно обнаружить вместе с кадмием в той же группе. Кроме того, выборка пациентов с РПЖ сравнивалась с популяцией без РПЖ (Drozd-Afelt et al., 2024). Bede-Ojima et al. (2023) заявили, что высокие уровни кадмия в моче увеличивают вероятность развития РПЖ.

Кадмий вызывает окислительный стресс, создавая активные формы кислорода (ROS), которые борются с ДНК, белками и липидами в клетке. Кроме того, кадмий влияет на сигнализацию андрогеновых рецепторов, что важно для роста клеток простаты (Rapisarda et al., 2018). Исследования подтвердили, что кадмий обладает способностью связываться с AR, подавляя его нормальную функцию (Neslund-Dudas et al., 2018). Хотя эпидемиологические данные показали, что воздействие кадмия увеличивает риск РПЖ, некоторые исследования продемонстрировали, что увеличение не имеет смысла. В другом исследовании воздействие кадмия вызвало злокачественную трансформацию в клетках простаты (Pal et al.,

2017). Уменьшение воздействия кадмия посредством вмешательств общественного здравоохранения и установления экологических норм может быть важным для профилактики РПЖ.

Мышьяк (As). Мышьяк – еще один токсичный элемент с признанными канцерогенными свойствами (IARC, 2012). Воздействие мышьяка связано с повышенным развитием кожи, легких, мочевого пузыря и РПЖ. Drozd-Afelt et al. (2024) сообщили о высоких уровнях мышьяка у пациентов с РПЖ. Tuagi et al. (2023) обнаружили повышенные уровни мышьяка в опухолевых тканях по сравнению со здоровыми соседними тканями.

Были предложены различные механизмы, посредством которых мышьяк влияет на инициацию РПЖ, включая его способность подавлять репарацию ДНК, оказывать окислительный стресс и опосредовать гормональную сигнализацию (IARC, 2012). Так, повышение уровня окислительного стресса, индуцированного интоксикацией мышьяком, коррелирует с увеличением в организме концентрации ферментов, необходимых для репарации ДНК.

Кроме того, окислительный стресс может быть вызван генерацией активных форм кислорода, которые способны повреждать ДНК, белки и липиды. Мышьяк также может нарушать сигнализацию андрогенных рецепторов, участвующих в росте и дифференцировке клеток предстательной железы (Saleh et al., 2020; Khedir Abdelmajid et al., 2022). Что касается снижения воздействия As с помощью определенных вмешательств в область общественного здравоохранения, экологические нормы могут в значительной степени способствовать профилактике РПЖ.

Свинец (Pb). Свинец оказывает токсическое воздействие на здоровье и связан со многими заболеваниями, включая задержки развития, неврологические повреждения и рак (ATSDR, 2000). В то же время в прелиминарном исследовании Njale et al. (2025) представлены результаты, свидетельствующие об отрицательной корреляции между интоксикацией свинцом, а также алюминием и заболеваемостью РПЖ.

Фактические механизмы, посредством которых свинец может способствовать развитию РПЖ, не совсем ясны. Вместе с тем существуют постулированные механизмы, посредством которых свинец может способствовать канцерогенезу простаты посредством вмешательства в механизмы восстановления ДНК, окислительного

стресса и вмешательства в гормональную сигнализацию (ATSDR, 2000). Свинец может блокировать активность ферментов восстановления ДНК, тем самым способствуя накоплению повреждений ДНК, что приводит к повышенному риску мутаций. Свинец может способствовать окислительному стрессу посредством генерации ROS, что приводит к повреждению ДНК, белков и липидов (Ebrahimi et al., 2020). Следует учитывать эти факторы для профилактики РПЖ путем снижения воздействия свинца посредством инициатив общественного здравоохранения и экологических правил и положений.

Железо (Fe). Согласно метаанализу, изложенному в исследовании Ying et al., (2022), концентрация сывороточного железа и уровень насыщения трансферрина не могут быть использованы для диагностики РПЖ вследствие обнаруженных противоречий в результатах независимых друг от друга исследований, посвященных поиску корреляций между значениями данных показателей и риском заболеваемости РПЖ.

Хотя железо необходимо для клеточного метаболизма, перегрузка железом способствует канцерогенезу ввиду ускорения реакции Фентона при увеличении активности ионов Fe^{3+} (Kell, 2009), приводящей к образованию гидроксильного радикала, являющегося сильным окислителем. Индуцированный таким образом окислительный стресс приводит к повреждению ДНК тканей, сопровождающийся образованием новых опухолевых клеток (Torti S., Torti F., 2013; Gao et al., 2019).

ВОЛОСЫ И НОГТИ КАК БИОМАРКЕРЫ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

Волосы и ногти стали важными неинвазивными биомаркерами для оценки статуса микроэлементов и воздействия на людей (Bali et al., 2023). Эти богатые кератином ткани накапливают микроэлементы посредством различных механизмов, отражающих как статус питания, так и воздействие окружающей среды с течением времени (He, 2011; Gutiérrez-González et al., 2019). Использование образцов волос и ногтей широко признано за их простоту сбора, стабильность при комнатной температуре и способность обеспечивать непрерывную запись концентраций микроэлементов, что делает их ценными инструментами в клинических и эпидемиологических исследованиях (Bali et al., 2023, Siegel et al., 2023).

Биологическая основа. Волосы и ногти в основном состоят из кератина, белка, который в

процессе синтеза включает в себя микроэлементы. По мере роста этих тканей они интегрируют элементы из кровотока, обеспечивая интегрированную во времени меру воздействия или состояния питания (Qayyum, Shah, 2014; Liu et al., 2025). Волосы растут со средней скоростью около 1 см в месяц, в то время как ногти на руках растут примерно на 3,5 мм в месяц, на ногах – на 1,6 мм в месяц, что позволяет проводить ретроспективную оценку воздействия в течение нескольких недель или месяцев (Yaemsiri et al., 2010).

Клиническая значимость. Клиническая значимость измерения волос и ногтей имеет большое значение. Измерение определенных элементов актуально, поскольку пониженные и повышенные уровни определенных микроэлементов имеют некоторые ассоциации с различными заболеваниями, такими как нарушения обмена веществ, нейродегенеративные заболевания и рак (Gutiérrez-González et al., 2019).

Биообразцы ногтей и волос легко собирать, для этого не требуется использование инвазивных процедур, что обеспечивает более простой способ изучения уровня присутствующих микроэлементов. Karimi et al. (2012) описали преимущества использования волос и ногтей в клинических и эпидемиологических исследованиях, которые могут включать в себя стандартизированные процедуры сбора и анализа для снижения загрязнения и повышения качества данных.

Преимущества использования волос и ногтей для анализа микроэлементов. Использование волос и ногтей для анализа микроэлементов имеет ряд существенных преимуществ, что делает их ценными биосубстратами в клинических, экологических и эпидемиологических исследованиях.

Неинвазивный и простой сбор. Волосы и ногти можно собирать неинвазивно, не вызывая дискомфорта и не требуя специализированных медицинских процедур (He, 2011). Такая простота сбора облегчает повторный отбор проб и особенно полезна для исследований с участием детей или больших популяций (Bali et al. 2023).

Оценка долгосрочного воздействия. Рост волос и ногтей служит точным маркером воздействия микроэлементов и состояния питания в течение длительных промежутков времени. Биосинтетическое удержание элементов позволяет, например, проводить оценку по волосам и ногтям на ногах в течение интервалов от нескольких недель до месяцев для волос и до года для ногтей

на ногах (Mehra, Juneja, 2004; Bali et al., 2023). Такие периоды позволяют проводить ретроспективную оценку в отличие от образцов крови или мочи, которые отображают мгновенный снимок.

Стабильность и хранение. Образцы волос и ногтей остаются стабильными при комнатной температуре и могут храниться в течение длительного времени без каких-либо существенных изменений в содержании микроэлементов. Эта характеристика делает их полезными для целей биобанкинга, а также ретроспективного анализа в крупномасштабных исследованиях (Saleh et al., 2020).

Соотношение между эссенциальными и токсичными элементами. И волосы, и ногти, как правило, демонстрируют наличие в своем составе эссенциальных микроэлементов, таких как Zn и Se, наряду с токсичными элементами, такими как Pb, Cd, As и др. Этот факт вносит большой вклад в исследования, касающиеся особенностей питания, метаболической активности и воздействия загрязнителей окружающей среды (Saleh et al., 2020; Bali et al., 2023).

Использование в различных областях исследований. Анализ волос и ногтей имеет множество применений в различных областях, таких как клиническая медицина, оценка загрязнения окружающей среды, судебная медицина и общественное здравоохранение. Они приняты некоторыми органами, например, Агентством по охране окружающей среды США (He, 2011; Bali et al., 2023), как действительные и надежные биомаркеры для оценки токсического воздействия на людей.

Смешивающие переменные и ограничения, касающиеся анализа волос и ногтей. Анализы биомаркеров волос и ногтей сталкиваются с некоторыми ограничениями, такими как сложные функциональные ограничения и потенциальные искажающие факторы. По словам Coradduzza et al., (2024), анализ волос чрезвычайно чувствителен к внешнему загрязнению из таких источников окружающей среды, как пыль, вода, пот, средства для тела и средства по уходу за волосами (шампуни, краски и отбеливатели), которые могут повышать уровень микроэлементов и затруднять дифференцировку внутренних и внешних факторов, воздействующих на организм. Kumar et al. (2023) заявляют, что косметические процедуры для волос (окрашивание, обесцвечивание и химическая завивка), могут значительно увеличивать или уменьшать концентрацию микроэлементов в образцах волос; это затрудняет точную интерпретацию результатов.

Кроме того, не существует общепринятых процедур очистки волос, что приводит к вариативности результатов между лабораториями и затрудняет сравнение данных (Singh et al., 2024). Изменчивость усугубляется межлабораторной вариативностью, поскольку различные методы и протоколы могут приводить к разным измерениям одного и того же образца (Verma, Rani et al., 2020). Для некоторых элементов, таких как марганец, концентрации в волосах не обязательно могут надежно отражать внутреннюю нагрузку организма и поэтому ограничены в качестве биомаркеров (Kumar et al., 2023).

Анализ ногтей не может быть полностью защищен от загрязнения. Ногти по-прежнему уязвимы для загрязнения через воздействие окружающей среды, лака для ногтей и загрязненных кусочек для ногтей, а также методов очистки, которые обычно никогда полностью не очищают от загрязнения (Karimi et al., 2012; Smith et al., 2023). Реакция биомаркеров в ногтях на определенные элементы (например, Al, Mg, Cu и Zn) не получила такого же внимания, как реакция на Se, As, Cr, Hg и Cd (Coradduzza et al., 2024). Общие факторы (шампунь и кондиционер, уход за волосами, типы и рост ногтей) имеют неизвестные сопутствующие эффекты, также могут искажать результаты. Вместе с тем возраст, пол, метаболическое состояние и состояние здоровья снижают полезность ногтей и волос в качестве биомаркеров микроэлементов и показывают, что существует необходимость в стандартных протоколах (Coradduzza et al., 2024; Johnson et al., 2024).

МЕТОДЫ МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА В ИССЛЕДОВАНИЯХ РАКА ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Существуют различные методы обнаружения микроэлементов у пациентов с РПЖ. Ниже приведены наиболее часто используемые и надежные методы.

Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС). Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой – высокочувствительный метод обнаружения и анализа микроэлементов в биологических образцах. Метод особенно полезен для определения основных элементов, таких как цинк и медь, в сыворотке и тканях, поскольку эти металлы необходимы для понимания динамики микроэлементов в развитии рака (Zaichick V., Zaichick S., 2018). Метод

ИСП-МС позволяет определить концентрацию десятков элементов одновременно, тем самым получая большой объем информации о содержании микроэлементов, участвующих в патогенезе РПЖ, в разумные сроки.

ИСП-МС имеет некоторые преимущества, такие как высокая чувствительность с низкими пределами обнаружения, что позволяет измерять концентрации некоторых следовых элементов в частях на триллион (ppt) (Fleming, 2022). Важное применение этого уровня чувствительности – в биологических образцах, где определения следовых элементов обычно включают низкие пределы концентрации (Zang et al., 2025). Из-за большего количества исследований с использованием ИСП-МС, подтверждающих более низкие уровни цинка и меди среди пациентов с РПЖ по сравнению со здоровыми лицами, отмечается потенциал этих элементов в качестве биомаркеров начала и прогрессирования РПЖ (Liu et al., 2025). Поскольку все больше исследователей начинают изучать и надеяться на взаимосвязь между микроэлементами и РПЖ, разрабатываются целевые вмешательства для профилактики и лечения заболеваний.

Несмотря на преимущества ИСП-МС, у этого метода есть некоторые недостатки. Как указано в работе Becker (2014), минерализация образцов может привести либо к контаминации, либо к снижению концентрации летучих химических элементов (Becker et al., 2014). Дополнительные ограничения вытекают из высоких эксплуатационных расходов на оборудование, что может ограничить использование ИСП-МС в некоторых областях исследований. Независимо от этого, более подробная информация о микроэлементах, полученная с помощью ИСП-МС, действительно помогает в исследовании РПЖ, в частности, в установлении перечня элементов-биомаркеров для раннего обнаружения и оценки риска.

Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС). Другим более распространенным методом проведения анализа микроэлементов в биологических образцах является использование атомно-абсорбционной спектроскопии. Этот метод основан на испарении образца с последующей его атомизацией и измерении поглощения света свободными атомами на определенных длинах волн, которые соответствуют определенным интересующим элементам. Отмечено, что метод ААС не только специфичен и надежен в отношении элементного анализа, но также заяв-

лен как чувствительный и недорогой, что особенно важно при анализе таких металлов, как железо и кадмий в тканях предстательной железы человека (Hussain et al., 2024).

Наряду с преимуществами, использование ААС имеет некоторые препятствия по сравнению с другими передовыми методами, такими как ИСП-МС. Так, ААС не может анализировать несколько элементов одновременно, что делает его более трудоемким при анализе сложных биологических образцов (Niedzielski et al., 2002; El Haddad et al., 2014). Кроме того, известно, что ААС имеет меньшую чувствительность к определенным элементам, чем ИСП-МС, что делает данный метод более склонным к занижению концентраций определенных следовых металлов. Несмотря на это, ААС остается полезным для использования в исследовательских целях. Простота применения для определения ряда элементов, связанных с риском развития рака, остается одним из ключевых преимуществ.

СТРАТЕГИИ ПРОФИЛАКТИКИ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Вполне возможно, что изменения в диете и образе жизни, направленные на максимизацию статуса микроэлементов, могут быть профилактическими методами против РПЖ. Достаточное количество микроэлементов, особенно цинка и селена, имеет решающее значение, поскольку дефицит этих минералов коррелирует с повышенным риском РПЖ (Shah et al., 2015). Селен обладает химиопрофилактическими свойствами через механизмы усиления иммунных реакций и подавления воспаления (оба из которых необходимы для предотвращения рака) (Christensen, 2014).

Помимо обеспечения необходимого запаса эссенциальных микроэлементов в рационе, для снижения риска РПЖ также потребуется снижение воздействия токсичных микроэлементов Cd, As и Pb. Эти металлы могут нарушать многие функции клеток и способствовать развитию рака, по причине их способности индуцировать окислительный стресс (Tuagi et al., 2023). Во многих эпидемиологических исследованиях также сообщается, что более высокие уровни этих токсичных металлов значительно коррелируют с более высоким риском развития РПЖ, что еще раз подчеркивает потенциал факторов окружающей среды для профилактики заболеваний (Popescu, Stanescu, 2019).

Таким образом, усилия общественного здравоохранения, направленные на снижение токсического воздействия Cd, As и Pb, должны оказать существенное влияние на заболеваемость РПЖ.

Потребуется дополнительные исследования для обоснования потенциала эссенциальных микроэлементов для предотвращения РПЖ и создания надежных и воспроизводимых анализов для демонстрации этого потенциала. Текущие знания о благотворном влиянии цинка и селена очевидны, однако расхождения с результатами различных исследований демонстрируют необходимость дальнейших исследований для лучшего выяснения адекватных дозировок добавок данных элементов (Mydlo, Godec, 2015; Lin et al., 2019). Эти предложения подчеркивают необходимость лучшего понимания синергических эффектов воздействия диеты и окружающей среды при разработке планов профилактики РПЖ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные исследования дают ценную информацию о роли микроэлементов в патогенезе РПЖ. Однако остается ряд проблем и пробелов в знаниях.

Литература по микроэлементам и РПЖ часто противоречива: некоторые исследования сообщают о положительных ассоциациях, другие – об отрицательных, третьи – об отсутствии ассоциаций. Эти несоответствия могут быть вызваны различиями в исследуемых популяциях, методах элементного анализа и стадии РПЖ на момент постановки диагноза.

Несмотря на достигнутый прогресс в понимании механизмов, посредством которых микроэлементы могут влиять на развитие РПЖ, многое остается неизвестным. Необходимы дальнейшие исследования для выяснения конкретных молекулярных путей, вовлеченных в этот процесс, и для определения ключевых целевых генов и белков.

Большинство рассмотренных исследований были поперечными или исследованиями "случай-контроль", которые не смогли установить основное понимание. Необходимы перспективные исследования, чтобы определить, можно ли с помощью оценки микроэлементного статуса предсказать риск заболеваемости РПЖ. Будущие исследования должны быть сосредоточены на группах населения с высоким риском РПЖ, таких как афроамериканцы, белые (европейцы) и светлокожие (южноазиатские) популяции. Сле-

дует обратить внимание на различия, связанные с питанием, профессиональные различия, а также на мужчин с семейным анамнезом РПЖ. Многие

люди в этих группах могут иметь уникальные сигнатуры микроэлементов и получить пользу от целевых рекомендаций.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Alavanja M.C., Samanic C., Dosemeci M., et al. Use of agricultural pesticides and prostate cancer risk in the Agricultural Health Study cohort. *American journal of epidemiology*. 2003; 157(9): 800–814.
- Al-Fartusie F.S., Mohssan S.N. Essential trace elements and their vital roles in human body. *Indian J Adv Chem Sci*. 2017; 5(3): 127–136.
- Allott E.H., Hursting S.D. Obesity and cancer: Mechanistic insights from transdisciplinary studies. *Endocrine-Related Cancer*. 2015 Dec; 22(6): R365–386. DOI: 10.1530/ERC-15-0400.
- Amadi C., Aleme B.M. The prevalence of zinc deficiency among men with and without prostate cancer in port harcourt, Nigeria. *Nutrition and cancer*. 2020; 72(6): 1018–1025.
- ATSDR (Agency for toxic substances and disease registry). A mini-review on importance and role of trace elements in the human organism. *Chemical review and Letters*. 2020; 3(3): 117–130.
- ATSDR (Agency for toxic substances and disease registry). Prepared by clement international corp., under contract no. 205-88-0608.
- Aydin A., Arsova-Sarafinovska Z., Sayal A., et al. Oxidative stress and antioxidant status in non-metastatic prostate cancer and benign prostatic hyperplasia. *Clinical biochemistry*. 2006; 39(2): 176–179.
- Bali V., Khajuria Y., Maniyar V., et al. Quantitative analysis of human hairs and nails. *Biophysical Reviews*. 2023; 15(3): 401–417.
- Bancroft E.K., Raghallaigh H.N., Page E.C., Eeles R.A. Updates in prostate cancer research and screening in men at genetically higher risk. *Current Genetic Medicine Reports*. 2021; 1–12.
- Barber L., Gerke T., Markt S.C., et al. Family history of breast or prostate cancer and prostate cancer risk. *Clinical Cancer Research* 2018; 24(23); 5910–5917.
- Becker J.S., Matusch A., Wu B. Bioimaging mass spectrometry of trace elements—recent advance and applications of LA-ICP-MS: a review. *Analytica chimica acta*. 2014; 835: 1–18.
- Bede-Ojimadu O., Nnamah N., Onuegbu J., et al. Cadmium exposure and the risk of prostate cancer among Nigerian men: Effect modification by zinc status. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2023; 78: 127168.
- Benafif S., Kote-Jarai Z., Eeles R.A. A review of prostate cancer genome-wide association studies (GWAS). *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*. 2018; 27(8): 845–857.
- Bian C., Zheng Z., Su J., Chang S., et al. Copper homeostasis and cuproptosis in tumor pathogenesis and therapeutic strategies. *Frontiers in Pharmacology*. 2023; 14: 1271613.
- Bostwick D.G., Burke H.B., Djakiew D., et al. (). Human prostate cancer risk factors. *Cancer: Interdisciplinary International Journal of the American Cancer Society*. 2004; 101(S10): 2371–2490.
- Brewer G.J. The risks of copper toxicity contributing to cognitive decline in the aging population and to Alzheimer's disease. *Journal of the American College of Nutrition*. 2009; 28(3): 238–242.
- Brewer G.J., Prasad A.S. (Eds.). *Essential and toxic trace elements and vitamins in human health*. Academic Press. 2020.
- Bushman W. Etiology, epidemiology, and natural history. *Urologic Clinics*, 2009; 36(4): 403–415.
- Cai T., Santi R., Tamanini I., Galli I.C., Perletti G., Bjerklund Johansen T.E., Nesi G. Current knowledge of the potential links between inflammation and prostate cancer. *International journal of molecular sciences*. 2019; 20(15): 3833.
- Cannarella R., Condorelli R.A., Barbagallo F., La Vignera S., Calogero A.E. Endocrinology of the aging prostate: current concepts. *Frontiers in Endocrinology*. 2021; 12: 554078.
- Cannas D., Loi E., Serra M., Firinu D., Valera P., Zavattari P. Relevance of essential trace elements in nutrition and drinking water for human health and autoimmune disease risk. *Nutrients*. 2020; 12(7): 2074.
- Chan J.J., Kwok Z.H., Chew X.H., et al. A FTH1 gene: pseudogene: microRNA network regulates tumorigenesis in prostate cancer. *Nucleic acids research*. 2018; 46(4): 1998–2011.
- Chen X., Yang S., He Z., et al. Comprehensive analysis of the global, regional, and national burden of benign prostatic hyperplasia from 1990 to 2021. *Scientific Reports*. 2025; 15(1): 5644.
- Christensen M.J. Selenium and prostate cancer prevention: what next—if anything? *Cancer prevention research*. 2014; 7(8): 781–785.
- Cong Y., Li N., Zhang Z., Shang Y., Zhao H. Cuproptosis: molecular mechanisms, cancer prognosis, and therapeutic applications. *Journal of Translational Medicine*. 2025; 23(1): 104.
- Coradduzza D., Congiargiu A., Azara E., Mammani I.M.A., De Miglio M.R., Zinellu A., Carru C., Medici S. Heavy metals in biological samples of cancer patients: a systematic literature review. *Biometals: an international journal on the role of metal ions in biology, biochemistry, and medicine*, 2024; 37(4): 803–817; <https://doi.org/10.1007/s10534-024-00583-4>.
- Costello L.C., Franklin R.B. A comprehensive review of the role of zinc in PCa. *Cancer & Metastasis Reviews*. 2017; 36(2): 291–311.
- Costello L.C., Franklin R.B., Feng P., Tan M., Bagasra O. Zinc and prostate cancer: a critical scientific, medical, and public interest issue (United States). *Cancer Causes & Control*. 2005; 16: 901–915.
- Crawford E.D., Heidenreich A., Lawrentschuk N., et al. Androgen-targeted therapy in men with prostate cancer: evolving practice and future considerations. *Prostate cancer and prostatic diseases*. 2019; 22(1): 24–38.

- Da Silva J.A.L. Essential Trace Elements in the Human Metabolism. *Biology*. 2024; 13(11): 908.
- Drozd-Afelt J. M., Koim-Puchowska B., Kaminski, P. Concentration of trace elements in blood of Polish patients with prostate cancer. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 2024; 107: 104425.
- Ebrahimi M., Khalili N., Razi S., Keshavarz-Fathi M., Khalili N., Rezaei N. Effects of lead and cadmium on the immune system and cancer progression. *Journal of Environmental Health Science and Engineering* 2020; 18: 335–343.
- Eeles R., Goh C., Castro E., et al. The genetic epidemiology of prostate cancer and its clinical implications. *Nature reviews Urology*. 2014; 11(1): 18–31.
- El Haddad J., Canioni L., Bousquet B. Good practices in LIBS analysis: Review and advices. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 2014; 101: 171–182.
- Feng Z., Zhou X., Liu N., Wang J., Chen X., Xu X. Metformin use and prostate cancer risk: A meta-analysis of cohort studies. *Medicine*. 2019; 98(12): e14955.
- Ferlay J., Soerjomataram I., Dikshit R. Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012. *International journal of cancer*. 2015; 136(5): E359–E386.
- Fleming D.E. The measurement of trace elements in human nails and nail clippings using portable X-ray fluorescence: A review. *X-Ray Spectrometry*. 2022; 51(3): 328–337.
- Fujita K., Matsushita M., Banno E., De Velasco M. A., Hatano K., Nonomura, N., Uemura H. Gut microbiome and prostate cancer. *International Journal of Urology*. 2022; 29(8): 793–798.
- Gao J., et al. Iron metabolism in PCa: A double-edged sword. *Cancer Letters*. 2019; 451: 57–66.
- Goh H.J., Kim S.A., Nam J.W., Choi B.Y., Moon H.S. Community-based research on the benign prostatic hyperplasia prevalence rate in Korean rural area. *Korean journal of urology*. 2015; 56(1): 68.
- Goldhaber S.B. Trace element risk assessment: essentiality vs. toxicity. *Regulatory toxicology and pharmacology*. 2003; 38(2): 232–242.
- Guntupalli J.N.R., Padala S., Gummuluri A.R.M., et al. Trace elemental analysis of normal, benign hypertrophic and cancerous tissues of the prostate gland using the particle-induced X-ray emission technique. *European Journal of Cancer Prevention*. 2007; 16(2): 108–115.
- Gutiérrez-González E., García-Esquinas E., de Larrea-Baz N.F., Toenails as biomarker of exposure to essential trace metals: A review. *Environmental research*. 2019; 179: 108787.
- He K. Trace elements in nails as biomarkers in clinical research. *European journal of clinical investigation*. 2011; 41(1): 98–102.
- Heinlein C.A., Chang C. Androgen receptor in prostate cancer. *Endocrine reviews*. 2004; 25(2): 276–308.
- Huncharek M., Haddock K.S., Reid R., Kupelnick B. Smoking as a risk factor for prostate cancer: a meta-analysis of 24 prospective cohort studies. *American journal of public health*. 2010; 100(4): 693–701.
- Hussain M.B., Ghaleb S.H.E., Mahjabeen M.R., Rashid S., Durrani S., Rasheed N., Munir A. Evaluating the impact of smog-induced pollution on trace element concentrations in blood. *Afr. j. biol. Sci*. 2024; 6(16): 725–741. DOI: 10.48047/AFJBS.6.16.2024.1511-1528.
- Igbokwe M., Salako A., Badmus T., et al. Tissue Zinc Concentration in Prostate Cancer: Relationship with Prostate Specific Antigen and Gleason Score in a Cohort of Nigerian Men. *Asian Pacific Journal of Cancer Biology*. 2021; 6(2): 147–153.
- International Agency for Research on Cancer. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. *IARC Sci Publ*. 2012; 100: 385.
- Ishida S., Andreux P., Poitry-Yamate C., Auwerx J., Hanahan D. Bioavailable copper modulates oxidative phosphorylation and growth of tumors. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2013; 110(48): 19507–19512.
- Jiang J., Chen B., Tang B., Wei Q. Selenium in prostate cancer: Prevention, progression, and treatment. *Pharmaceuticals*. 2023; 16(9): 1250.
- Jiang J., Li J., Yunxia Z., Zhu H. Liu J., Pumill C. The role of prostatitis in prostate cancer: meta-analysis. *PloS one*. 2013; 8(12): e85179.
- Johnson J.R., Mavingire N., Woods-Burnham L., et al. The complex interplay of modifiable risk factors affecting prostate cancer disparities in African American men. *Nature Reviews Urology*. 2024; 21(7): 422–432.
- Karimi G., Shahar S., Homayouni N., et al. Association between trace element and heavy metal levels in hair and nail with prostate cancer. *Asian Pacific journal of cancer prevention: APJCP*. 2012; 13(9): 4249–4253.
- Kell D.B. Iron behaving badly: Inappropriate iron chelation as a major contributor to disease. *BMC Medical Genomics*. 2009; 2(1): 2.
- Kheir Abdelmajid L.M., Hessen R.I.E., Dafalla A.M., Hassan M.I., Mohammed Y.A. Serum Zinc and Copper Levels among Patients with Prostatic Cancer Attending National Cancer Institute, Gezira University, Sudan. *Sudan Medical Laboratory Journal*. 2022; 10(2): 69–77.
- Kong R., Sun G. Targeting copper metabolism: a promising strategy for cancer treatment. *Frontiers in Pharmacology*. 2023; 14: 1203447.
- Kumar R., Sena L.A., Denmeade S.R., Kachhap S. The testosterone paradox of advanced prostate cancer: mechanistic insights and clinical implications. *Nature Reviews Urology*. 2023; 20(5): 265–278.
- Liang Y., Pan Z., Zhu M., Gao R., Wang Y., Cheng Y., Zhang N. Exposure to essential and non-essential trace elements and risks of congenital heart defects: A narrative review. *Frontiers in Nutrition*. 2023; 10: 1121826.
- Liao Q., Long C., Deng Z., Bi X., Hu J. The role of circulating adiponectin in prostate cancer: a meta-analysis. *The international journal of biological markers*. 2015; 30(1): 22–31.
- Lim K.B. Epidemiology of clinical benign prostatic hyperplasia. *Asian journal of urology*. 2017; 4(3): 148–151.
- Lin P.H., Aronson W., Freedland S.J. An update of research evidence on nutrition and prostate cancer. In *Urologic Oncology*:

Seminars and Original Investigations. 2019; 37(6): 387–401.

Liu R., Zhang Q., Yan X., Lv Y. A critical review on the relevance, essentiality and analytical techniques of trace elements in human cancer. *Metallomics*. 2025; 17(2): mfaf005. DOI: 10.1093/mtomcs/mfaf005.

Liu T., Xu L., He L., Zhao J., Zhang Z., Chen Q., Chen T. Selenium nanoparticles regulates selenoprotein to boost cytokine-induced killer cells-based cancer immunotherapy. *Nano Today*; 2020; 35: 100975.

Lubiński A., et al. Serum Element Concentrations and Survival in Patients with Breast, Prostate, Lung and Laryngeal Cancers. *Scientific Reports*. 2023; 13(1): 1–10.

Madersbacher S., Sampson N., Culig Z. Pathophysiology of benign prostatic hyperplasia and benign prostatic enlargement: a mini-review. *Gerontology*. 2019; 65(5): 458–464.

Mariotti M., Gladyshev V.N. Selenocysteine-containing proteins. In *Redox Chemistry and Biology of Thiols*. 2022: 405–42. Academic Press.

Mbey P.M., Diangienda P.D.K., Mukuku O., et al. Evaluation of Mortality Risk Factors in Prostate Cancer: Impact of Demographic, Clinical, Laboratory, Therapeutic, and Trace Element Influences. *Cancer Reports*. 2025; 8(3): e70166.

Mehra R., Juneja M. Atomic absorption spectrophotometry determination of Pb, Cd, Cu, Mn, Cr, Ni and Fe levels in human hair. Influence of age, hair colour and smoking habit. *JOURNAL-INDIAN CHEMICAL SOCIETY*. 2004; 81(4): 349–350.

Miah S., Catto J. BPH and prostate cancer risk. *Indian Journal of Urology*. 2014; 30(2): 214–218.

Mohler J.L., et al. Androgen deprivation therapy in prostate cancer. *Molecular and Cellular Endocrinology*. 2018; 465(1): 97–104.

Mozzrymas R. Trace elements in human health. *Recent advances in trace elements*. 2018; 373–402.

Mucci L.A., Hjelmberg J.B., Harris J.R., et al. Familial risk and heritability of cancer among twins in Nordic countries. *Jama*. 2016; 315(1): 68–76.

Mustafa M., Salih A.F., Illzam E.M., Sharifa A. M., Suleiman M., Hussain S.S. Prostate cancer: pathophysiology, diagnosis, and prognosis. *IOSR Journal of Dental and Medical Sciences*. 2016; 15(6): 04–11.

Mydlo J.H., Godec C.J. (Eds.). *Prostate cancer: science and clinical practice*. Academic Press. 2015.

Nazarko L. A guide to diagnosing and treating benign prostatic hypertrophy. *British Journal of Community Nursing* 2023; 28(7): 344–350.

Neslund-Dudas C.M., McBride R.B., Kandedgedara A., et al. Association between cadmium and androgen receptor protein expression differs in prostate tumors of African American and European American men. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2018; 48: 233–238.

Niedzielski P., Siepak M., Przybyłek J., Siepak J. Atomic absorption spectrometry in determination of arsenic, antimony and selenium in environmental samples. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2002; 11(5): 457–466.

Njale E., Shilla D.J., Dharsee N., Mahugija J.A., Mbare N.S. Association between single and mixed exposure to potentially toxic trace metals and the risk of prostate cancer: a case-control study in Tanzania. *Environmental Geochemistry and Health*. 2025; 47(6): 1–18.

Oteiza P.I. Zinc and the modulation of redox homeostasis. *Free Radical Biology and Medicine*. 2012; 53(9): 1748–1759.

Pal D., Suman S., Kolluru V., et al. Inhibition of autophagy prevents cadmium-induced prostate carcinogenesis. *British Journal of Cancer*. 2017; 117(1): 56–64.

Patil R., Sontakke T., Biradar A., Nalage D. Zinc: an essential trace element for human health and beyond. *Food Health*. 2023; 5(3): 13.

Pernar C.H., Ebot E.M., Wilso, K.M., Mucci L. A. The epidemiology of prostate cancer. *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*. 2018; 8(12): a030361.

Popescu E., Stanescu A.M.A. Trace elements and cancer. *Mod. Med*. 2019; 26: 169–175.

Prasad A.S. Zinc is an antioxidant and anti-inflammatory agent: its role in human health. *Frontiers in nutrition*. 2014; 1: 100515.

Prashanth L., Kattapagari K.K., Chitturi R.T., Baddam V.R.R., Prasad L. K. A review on role of essential trace elements in health and disease. *Journal of Dr. YSR University of Health Sciences*. 2015; 4(2): 75–85.

Qayyum M.A., Shah M.H. Comparative study of trace elements in blood, scalp hair and nails of prostate cancer patients in relation to healthy donors. *Biological trace element research*. 2014; 162: 46–57.

Rapisarda V., Miozzi E., Loreto C., Matera S., Fenga C., Avola R., Ledda C. Cadmium exposure and prostate cancer: insights, mechanisms and perspectives. *Front Biosci (Landmark Ed)*. 2018; 23(9): 1687–1700.

Rawla P. Epidemiology of prostate cancer. *World Journal of Oncology*, 2019; 10(2): 63–89.

Rayman M.P. Selenium and human health." *Lancet*. 2012; 379(9822): 1256–1268.

Saleh S.A., Adly H.M., Abdelkhaliq A.A., Nassir A.M. Serum levels of selenium, zinc, copper, manganese, and iron in prostate cancer patients. *Current urology*. 2020; 14(1): 44–49.

Sciarra A., Di Silverio F., Salciccia S., Gomez A.M.A., Gentilucci A., Gentile V. Inflammation and chronic prostatic diseases: evidence for a link? *European urology*. 2007; 52(4): 964–972.

Shah S.I.A., Minhas U., Khan H.A. Trace minerals and heavy metals: implications in prostate cancer. *Bangladesh Journal of Medical Biochemistry*. 2015; 8(1): 27–32.

Shahrokh Nejad S., Golzari Z., Zangiabadian M., Salehi Amniyeh Khozani, A.A., Ebrahimi R., Nejadghaderi S.A., Aletaha A. The association between zinc and prostate cancer development: A systematic review and meta-analysis. *Plos one*. 2024; 19(3): e0299398.

Siegel R.L., et al. *Cancer Statistics*. 2020. CA: A Cancer Journal for Clinicians. 2020; 70(1): 7–30.

Siegel R.L., Miller K.D., Wagle N.S., Jemal A. *Cancer statistics*, 2023. CA: a cancer journal for clinicians. 2023; 73(1): 17–48.

- Singh C.K., Malas K.M., Tydrick C., Siddiqui I.A., Iczkowski K.A., Ahmad N. Analysis of zinc-exporters expression in prostate cancer. *Scientific reports*. 2016; 6(1): 36772.
- Singh S., Pathak A.K., Kural S., et al. miRNA Biomarkers in Prostate Cancer: Leveraging Machine Learning for Improved Diagnostic Accuracy. *bioRxiv*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1101/2024.10.25.618146>.
- Singh V., Madeshiya A.K., Ansari N.G., Singh M.K., Abhishek A., CYP1A1 gene polymorphism and heavy metal analyses in benign prostatic hyperplasia and prostate cancer: An explorative case-control study. In *Urologic Oncology: Seminars and Original Investigations*. 2023; 41(8): 355-e9.
- Smith L.A. O'Flanagan C.H., Bowers L.W., Allott E.H., Hursting S.D. Translating mechanism-based strategies to break the obesity– cancer link: a narrative review. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. 2018; 118(4): 652–667.
- Smith. A.M., Humphries M.L., Mbilishaka A.M., Auguste E.E. Hair Messages: A Context for Exploring Racial Socialization Among African American Males. *Journal of Black Psychology*. 2023; 49(5): 684–715.
- Strachan S. Trace elements. *Current Anaesthesia & Critical Care*. 2010; 21(1): 44–48.
- Sugimoto R., Lee L., Tanaka Y., Morita Y., Hijioka M., Hisano T., Furukawa M. (). Zinc deficiency as a general feature of cancer: a review of the literature. *Biological Trace Element Research*. 2024; 202(5): 1937–1947.
- Tapiero H., Townsend D.Á., Tew K.D. Trace elements in human physiology and pathology. Copper. *Biomedicine & pharmacotherapy*. 2003; 57(9): 386–398.
- Tisato V., Gallo S., Melloni E., et al. TRAIL and ceruloplasmin inverse correlation as a representative crosstalk between inflammation and oxidative stress. *Mediators of Inflammation*. 2018; 2018(1): 9629537. DOI: 10.1155/2018/9629537.
- Torti S.V., Torti F.M. Iron and cancer: more ore to be mined. *Nature Reviews Cancer*. 2013; 13(5): 342–355.
- Tshoni U.A., Mbonane T.P., Rathebe P.C. The Role of Trace Metals in the Development and Progression of Prostate Cancer. *International journal of molecular sciences*. 2024; 25(19): 10725.
- Tyagi B., Chandrasekaran B., Tyagi A., et al. Exposure of environmental trace elements in prostate cancer patients: A multiple metal analysis. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 2023; 479: 116728.
- Verma S., Rani S., Yadav A. An emanation of nail lacquer in the management of nail disorders: a comprehensive review. *World J Pharm Res*. 2020; 10(1): 870–98.
- Waalkes M.P. Cadmium carcinogenesis. *Mutation Research*. 2003; 533(1-2): 107–120.
- Wang S., Zhu J., Wang P., et al. Nail psoriasis in China: A prospective multicentre study. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 2024; 38(3): 549–556.
- Yaemsiri S., Hou N., Slining M.M., He K. Growth rate of human fingernails and toenails in healthy American young adults. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*. 2010; 24(4): 420–423.
- Ying J., Wang B., Han S., et al. Genetically predicted iron status was associated with the risk of prostate cancer. *Frontiers in Oncology*. 2022; 12: 959892.
- Yu O., Eberg M., Benayoun S., Aprikian A., Batist G., Suissa S., Azoulay L. Use of statins and the risk of death in patients with prostate cancer. *Journal of Clinical Oncology*. 2014; 32(1): 5–11.
- Zaichick V., Zaichick S. Significance of trace element quantities in the prostatic secretion of patients with benign prostatic hyperplasia and prostate cancer. *Journal of Cancer Metastasis and Treatment*. 2019; 5: N-A.
- Zaichick V., Zaichick S. Trace element levels in prostate gland as carcinoma's markers. *Journal of Cancer Therapy*. 2017; 8(2): 131–145.
- Zang Z., Liu X., Wang M., & Wang Z. The Application of Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry in Cancer Research. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*. 2025; 1–25.
- Zhao J., Stockwell T., Roemer A., Chikritzhs T. Is alcohol consumption a risk factor for prostate cancer? A systematic review and meta-analysis. *BMC cancer*. 2016; 16: 1–13.
- Zhou L., Liu Y., Wang F., et al. Classification analyses for prostate cancer, benign prostate hyperplasia and healthy subjects by SERS-based immunoassay of multiple tumour markers. *Talanta*. 2018; 188: 238–244.

Информация об авторах:

Мухаммад Бакир Хуссейн – аспирант

Центра биолэлементологии и экологии человека Научно-технологического парка биомедицины;
ORCID: 0009-0007-5425-9180

Илья Игоревич Лапин – лаборант лаборатории молекулярной диетологии

Центра биолэлементологии и экологии человека; аспирант кафедры медицинской элементологии;
ORCID: 0009-0005-5176-9770; SPIN: 5281-1047

Эль Яу Мусса Хабубакар – аспирант Центра биолэлементологии и экологии человека

Научно-технологического парка биомедицины

Татьяна Викторовна Коробейникова – к.т.н., зав. лабораторией молекулярной диетологии

Центра биолэлементологии и экологии человека Научно-технологического парка биомедицины; доцент кафедры медицинской элементологии;
ORCID: 0000-0002-1373-6354; SPIN: 7764-6486

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA ON THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE HAIR AND NAILS OF PATIENTS WITH PCA AND BPH IN DIFFERENT COUNTRIES OF THE WORLD

M.B. Hussain¹, I.I. Lapin^{1,2}, Elh Yaou Moussa H.¹, T.V. Korobeinikova^{1,2}*

¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University,
8 Trubetskaya St., bldg. 2, Moscow, 119991, Russian Federation

² Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia,
6 Miklukho-Maklay str., Moscow, 117198, Russian Federation

ABSTRACT. Prostate cancer (PCa) and benign prostatic hyperplasia (BPH) both are among the most common prostate disorders that occur in older men and share symptoms though they have different pathological and clinical courses. Emerging evidence suggests that trace element imbalances may play a pivotal role in the onset and progression of both conditions. This review synthesizes current knowledge regarding the concentrations and implications of trace elements such as zinc, selenium, copper, cadmium, arsenic, and lead in hair and nail samples from PCa and BPH patients.

Hair and nail specimens serve as valuable non-invasive biomarkers due to their ability to reflect long-term exposure and internal accumulation of essential and toxic elements. Imbalance level in these elemental profiles may induce oxidative stress, inflammation, or hormonal disturbances associated with disease development. Several studies reveal lower zinc and selenium and higher levels of cadmium and copper in PCa patients, suggesting a potential diagnostic or prognostic significance. BPH also demonstrates trace element variations but with distinct patterns from PCa. The review underscores the potential of trace element profiling using hair and nails for early detection, disease differentiation, therapeutic monitoring and techniques used for detection of trace elements. Further standardized, population-based, and mechanistic studies are warranted to validate these associations and enhance clinical practices.

KEYWORDS: Prostate cancer, benign prostate hyperplasia, trace elements, hair, nails, ICP-MS.

For citation: Hussain M.B., Lapin I.I., Elh Yaou Moussa H., Korobeinikova T.V. Comparative analysis of data on the content of chemical elements in the hair and nails of patients with pca and bph in different countries of the world. Trace elements in medicine. 2025;26(2):3–13. DOI: 10.19112/2413-6174-2025-26-2-3-19.

Information about the authors:

Muhammad Bakir Hussain – PhD-student of the Center for Bioelementology and Human Ecology of the Scientific and Technological Park of Biomedicine;
ORCID: 0009-0007-5425-9180

Ilya I. Lapin – Laboratory Assistant of the Laboratory of Molecular Dietetics of the Center for Bioelementology and Human Ecology of the Scientific and Technological Park of Biomedicine;
PhD-student of the Department of Medical Elementology;
ORCID: 0009-0005-5176-9770; SPIN: 5281-1047; AuthorID: 1167413

Elh Yaou Moussa Habubakar – PhD-student of the Center for Bioelementology and Human Ecology of the Scientific and Technological Park of Biomedicine

Tatyana V. Korobeinikova – Ph.D. (Tech.), Head of the Laboratory of Molecular Dietetics of the Center for Bioelementology and Human Ecology of the Scientific and Technological Park of Biomedicine;
Associate Professor of the Department of Medical Elementology;
ORCID: 0000-0002-1373-6354; SPIN: 7764-6486; Author ID: 894665

Conflict of interest

The authors declare no obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Поступила 10 апреля 2025 года
Принята к публикации 31 мая 2025 года