

МИКРОВОЛНОВАЯ АБЛЯЦИЯ, КАК МЕТОД ЛЕЧЕНИЯ ОЧАГОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПЕЧЕНИ

Зинкевич Д.А.*¹, Шостка К.Г.^{1,2}, Белоусов А.М.¹,
Мулендеев С.В.², Сизоненко Н.А.², Кошелев Т.Е.³

DOI: 10.25881/20728255_2025_20_4_123

¹ ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург

² ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова», Санкт-Петербург

³ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова», Санкт-Петербург

Резюме. Изучены статьи, опубликованные за период с 2011 по 2025 гг., в которых рассматривались технические аспекты, непосредственные и отдаленные результаты применения микроволновой абляции (МВА) с целью деструкции первичных и вторичных злокачественных опухолей печени, сравнительная оценка различных методик термодеструкции. В ходе ознакомления с результатами исследований установлено, что применение МВА для деструкции вторичных опухолей печени позволяет достигать схожих результатов лечения с хирургическими вмешательствами и расширяет возможности радикального хирургического лечения у соматически ослабленных пациентов.

Ключевые слова: первичные и вторичные опухоли печени, микроволновая абляция, радиочастотная абляция, хирургическое лечение, резекция печени.

Злокачественные новообразования печени включают в себя как первичный рак печени, так и метастатическое поражение. В 2023 г. заболеваемость первичным раком печени составила 7,12 на 100 тыс. человек. Метастатическое поражение печени диагностируется примерно в 30 раз чаще и характерно для первичного рака легкого, желудка, толстой кишки, молочной и поджелудочной железы, меланомы кожи. Около 70% метастазов в печень приходится на злокачественные образования органов желудочно-кишечного тракта, что связано с особенностями кровоснабжения. В целом опухолевые поражения печени характеризуется высокой летальностью и низкой медианой выживаемости [1; 2].

В соответствии с классификацией TNM 8 издания 2011 г. выявление метастазов в печени означает IV стадию основного заболевания и до недавнего времени такие случаи считались инкурабельными. В настоящее время накоплен большой опыт хирургического лечения как первичных, так и вторичных злокачественных новообразований данной локализации. Совершенствование хирургической техники, современные возможности обследования, пред- и послеоперационного ведения больных, оснащение позволили существенно улучшить результаты лечения, увеличить как общую, так и безрецидивную выживаемость.

Резекция печени являются наиболее эффективными способами лечения злокачественных новообразований [3].

MICROWAVE ABLATION AS A MODERN METHOD OF TREATMENT OF FOCALLIVER FORMATIONS

Zinkevich D.A.*¹, Shostka K.G.^{1,2}, Belousov A.M.¹, Mulendeev S.V.²,
Sizonenko N.A.², Koshelev T.E.³

¹ Saint Petersburg State University, Saint Petersburg

² S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg

³ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg

Abstract. This review examines thematic articles published from 2011 to 2025, which examined technical aspects, immediate and long-term results of using microwave ablation for the destruction of primary and secondary malignant liver tumors, and a comparative assessment of various thermal degradation techniques. In the course of reviewing the research results, it was found that the use of microwave ablation (MVA) for the destruction of secondary liver tumors allows achieving similar treatment results with surgical interventions and expands the possibilities of radical surgical treatment in somatically burdened patients.

Keywords: primary and secondary liver tumors, microwave ablation, radiofrequency ablation, surgical treatment, liver resection.

Однако, возможности радикального хирургического лечения существенно ограничивают общесоматическое состояние больного, необходимость сохранения минимального функционирующего объема паренхимы, множественные билобарные поражения печени, инвазия опухоли в крупные сосуды. В результате хирургическое вмешательство, как правило, выполняется не более чем у 20% больных, остальным же проводится симптоматическое лечение и паллиативная химиотерапия [4]. При этом если при хирургическом лечении медиана выживаемости больных составляет около 50 месяцев, то при трансартериальной химиоэмболизации и таргетной системной химиотерапии она не превышает 20 и 11 месяцев, соответственно [3–6].

Ограничения для полноценного хирургического лечения злокачественных новообразований печени стали существенным поводом для внедрения альтернативных мини-инвазивных методов, включающих радиочастотную, микроволновую, лазерную абляцию, криоабляцию, трансартериальную химиоабляцию. Наиболее эффективными и распространенными из них являются микроволновая (МВА) и радиочастотная абляции (РЧА) [3; 5; 6]. Одним из наиболее наглядных преимуществ МВА и РЧА перед резекционными вмешательствами является возможность их выполнения чрескожно. В то же время их универсальность и возможность осуществления при

* e-mail: xerygoid@mail.ru

лапароскопических и лапаротомных вмешательствах позволяют выбрать наиболее подходящий способ установки аппликаторов, исходя из местоположения опухоли, анатомии пациента и его общего состояния [3].

Противопоказания для применения методик включают слишком большие или многочисленные новообразования, а также опухоли, расположенные вблизи крупных желчных протоков и кровеносных сосудов. Малая инвазивность методик термической деструкции позволяет эффективно использовать их для лечения опухолей печени в труднодоступных зонах [3; 7].

В то же время для обеспечения должной эффективности и безопасности методик особое значение приобретают способы предоперационной визуализации новообразований. Для оптимального расположения зондов, мониторинга абляции в реальном времени, выявления осложнений и оценки результатов вмешательств широко используют КТ, МРТ и УЗИ [8; 9]. Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения. Например, УЗИ наиболее доступно и обеспечивает наведение в реальном времени, но его эффективность может быть снижена у пациентов с плохими акустическими окнами или глубоко расположенными опухолями [10].

КТ-наведение обеспечивает высокое пространственное разрешение и особенно полезно для навигации при расположении опухоли вблизи диафрагмы, по задней поверхности печени [11].

МРТ хорошо контрастирует мягкие ткани и является наилучшим методом обнаружения небольших поражений и оценки краев деструкции [12].

Значительно повысить точность и эффективность МВА позволило комбинирование УЗИ в реальном времени с данными КТ или МРТ [12; 13]. Современные технологии визуализации улучшили результаты МВА. Asvadi и соавт. продемонстрировали, что МВА под контролем КТ опухолей каваальных ворот печени привела к хорошим результатам абляции с низкой частотой серьезных осложнений. Это исследование также показало, что МВА эффективна для достижения полной абляции опухоли даже в сложных анатомических местах, способствуя расширению области её применения [3; 11]. Опыт An и соавт. также показал, что чрескожная МВА под УЗ-контролем при ГЦК в труднодоступных местах, с повышенным риском осложнений достигла сопоставимых результатов абляции и выживаемости с результатами более простых локализаций опухолевого поражения печени, что подтверждает безопасность и эффективность МВА, существенно расширяя её возможности и показания для применения [10].

Сравнительная характеристика МВА и РЧА

Учитывая лидирующие позиции обеих методик при лечении опухолей печени, физические характеристики МВА обуславливают ряд преимуществ над РЧА.

Переменный ток высокой частоты (радиочастотный ток) впервые был использован в медицинских целях Clark W. в 1911 г., найдя широкое применение в хирургии

с целью разрезания и обеспечения гемостаза. Благодаря перечисленным свойствам в 1985 г. Huang S. и соавт. применили радиочастотный ток для транскатетерной абляции проводящих путей сердца при лечении аритмии сердца. В начале 1990-х гг. были разработаны генерирующие устройства и электроды, позволившие выполнять абляцию больших объемов тканей, что нашло широкое применение в онкологии. В 1995 г. Rossi S. и соавт. опубликовали первый опыт применения РЧА при лечении небольших узлов гепатоцеллюлярного рака [5; 14].

РЧА основана на прохождении через ткани переменного тока высокой частоты (375–500 КГц). При этом интенсивное движение ионов, сопровождается выделением тепла [6; 14]. Степень повреждения клеток зависит от достигаемой в месте абляции температуры и продолжительности нагрева тканей. Наибольшая плотность тока с максимальным значением температуры определяются непосредственно в области установки аппликатора. Распространение тепла в окружающие ткани происходит посредством диффузии в зависимости от их теплопроводности. Кроме того, степень нагрева снижается благодаря эффекту теплоотведения в тканях, прилежащих к крупным кровеносным сосудам и бронхам. Для прохождения тока через ткани создается замкнутый электрический контур, который включает генератор тока, электрический кабель, электрод (тонкий аппликатор), пациента и заземляющую пластину [5; 6]. Однако, вследствие высушивания и обугливания тканей при нагреве свыше 100 °C происходит снижение ее теплопроводности вплоть до разрыва электрической цепи. Таким образом, размеры генерируемой зоны некроза ограничены 4–6 см, позволяя выполнять абляцию опухолей не более 3 см в диаметре. Также существенно снижает возможности дальнейшего развития методики выраженный эффект теплоотведения, ограничивая продуктивность РЧА при новообразованиях, прилежащих к сосудам более 3 мм в диаметре. При опухолях с высоким импедансом и/или низкой теплопроводностью, например в легких или костях, появляется необходимость использования дисперсионного электрода, при неправильном наложении которого возникает риск получения ожога. Применение РЧА ограничивается невозможностью одновременного использования нескольких аппликаторов, невыполнимость УЗИ контроля зоны абляции из-за парообразования, плохая прогнозируемость зоны некроза и большая продолжительность процедуры [5; 6; 15–19].

Тем не менее, в настоящее время РЧА широко используется для лечения опухолей печени, почек, легких и других локализаций, при опухолях до 3 см в диаметре демонстрируя результаты, сопоставимые с резекционными вмешательствами. Во многом лидирующие позиции РЧА связаны с относительной технической простотой метода, что способствовало более раннему ее освоению [3; 5].

Несмотря на успехи РЧА, физические свойства, лежащие в основе МВА, определяют целый ряд преимуществ методики, делая ее более перспективной для

мини-инвазивной абляции очаговых образований различной локализации.

Чрескожная МВА новообразований печени впервые была осуществлена в 1994 г. Seki T. и соавт., что на год раньше РЧА. Однако, применение и распространение ее было затруднено в связи с техническими трудностями передачи микроволновой энергии от генератора к тканям [5, 14]. В настоящее время аппликаторы имеют небольшой диаметр, подходящий для чрескожного использования, и обеспечивают достаточную мощность излучения. Генератор передает по волноводу электромагнитные волны в диапазоне 915 МГц – 2,45 ГГц на интерстициальный электрод, который, являясь антенной, излучает их в окружающие ткани, заставляя вращаться полярно заряженные молекулы, включая молекулы воды. При этом силы трения преобразуют кинетическую энергию в тепловую, вызывая прямое нагревание облучаемых тканей. В отличие от РЧА, где ткани нагреваются посредством диффузии, вокруг ионных каналов по которым проходит электрический ток, при МВА электромагнитные волны вызывают прямое нагревание всего объема облучаемых тканей. Другое преимущество связано со свободным прохождением микроволн через любые ткани организма, включая обезвоженные и обугленные, нивелируя эффект выпаривания тканей и позволяя получить температуру выше 150 °С. Таким образом, при МВА можно быстро (за 2–8 мин.) создать большие (до 8 см) области некроза. Высокая скорость нагрева не только сокращает время процедуры, но и уменьшает эффект теплоотведения, позволяя осуществлять полную деструкцию новообразований, прилежащих к крупным (до 1 см) сосудам [5; 15–20].

Учитывая, что при МВА электроды функционируют как антенны, излучающие электромагнитные волны, ее очередным преимуществом является возможность одновременного использования нескольких аппликаторов. Благодаря этому можно конфигурировать зону некроза при больших новообразованиях, при их неправильной форме, а также использовать синергию рядом установленных зондов и одновременно воздействовать на несколько опухолей, сокращая время вмешательства. Создание искусственного асцита или пневмоперитонеума позволяет создать безопасное расстояние между опухолью и соседними органами и снизить риск их термического поражения при сложном расположении очага. Следует отметить, в опубликованных работах наилучшие результаты получены при лечении небольших опухолей (менее 3 см в диаметре), включая случаи множественных поражений печени. При этом высокие показатели полной абляции сочетаются с минимальным числом осложнений [5; 11; 15–19; 22; 31].

Проблемным вопросом является техническая сложность методики и дороговизна оборудования, а, следовательно, и относительно высокая себестоимость процедуры. К недостаткам относится интенсивный нагрев волноводов и аппликаторов, который требует различных способов внутреннего охлаждения с целью снижения риска ожога смежных органов и кожи. Внутритканевое парообразование, возникающее в момент абляции, затрудняет УЗИ контроль

зоны деструкции. Высокая температура в очаге воздействия РЧА вызывает денатурацию большинства белков, в том числе опухолевых антигенов, что, в сравнении с МВА, существенно снижает стимуляцию местного воспаления и противоопухолевого иммунитета, негативно сказываясь на общей и безрецидивной выживаемости больных [5; 23].

Таким образом, в сравнении с РЧА физические и технические особенности МВА создают преимущества для лечения новообразований печени, наиболее очевидные при крупных (более 3 см в диаметре) опухолях, а также при опухолях, прилежащих к крупным (более 3 мм) кровеносным сосудам [5–7; 15; 16].

Клинические результаты МВА

МВА стала высокоэффективным методом лечения и первичных и вторичных новообразований печени. При этом наилучшим образом клинический эффект МВА изучен на примере лечения метастазов колоректального рака, что связано с большим числом таких больных и с отсутствием сопутствующей патологии печени, которая затрудняет формирование равнозначных групп сравнения и оказывает влияние на показатели общей выживаемости.

Колоректальный рак (КРР) занимает третье место среди наиболее распространенных видов рака, в мире ежегодно диагностируется около 1,9 млн. новых случаев. У 50% из них при жизни диагностируются метастазы в печени, являющиеся основной причиной летальности [3; 24; 25].

Золотым стандартом лечения таких пациентов остается резекция печени, при этом в различных исследованиях пятилетняя выживаемость составляет 22–58% [26]. Однако 75–85% пациентов на момент диагностики метастазов признаются инкурабельными, что связано с размером очагов, их количеством, расположением в органе, а также общим состоянием пациента [27]. В этих случаях, основным лечением остается системная химиотерапия, которая, как правило, не приводит к окончательной остановке опухолевого роста и не вызывает существенного увеличения общей выживаемости [3; 8]. Как и при первичных новообразованиях печени, МВА и РЧА являются на наиболее эффективными методами термодеструкции при лечении внутривенных метастазов колоректального рака [28]. Многочисленные исследования показали, что МВА может обеспечить показатели общей (ОВ) и безрецидивной выживаемости (БРВ) сопоставимые с резекцией и превосходящие другие методы абляции, включая РЧА, что особенно актуально при небольших неоперабельных метастазах в печени КРР. При этом осложнения, связанные с МВА, включая боль в месте абляции, повреждение желчных протоков или абсцессы печени носили редкий характер [21; 22].

В мета-анализе Fassio Russo и соавт. сравнивались результаты применения МВА и РЧА при лечении гепатоцеллюлярного рака I стадии с размерами опухолевых очагов до 3 см. Показатели общей и безрецидивной выживаемости при МВА и РЧА в целом были сопоставимы. Показатели годичной общей выживаемости в представ-

ленном исследовании: 96 % в группе МВА, 94,7% в группе РЧА. В оценке безрецидивной выживаемости отмечаются несколько лучшие результаты в группе МВА. 5-летний показатель общей выживаемости при МВА составил около 81,9%, при РЧА 78,8% [3; 29]. Улучшить результаты МВА позволяет строгий отбор пациентов, тщательное планирование процедуры и использование передовых методов визуализации опухолевых очагов [3; 30].

По данным обзора Lucchina и соавт. МВА обеспечивает хорошие результаты лечения метастазов КРР в печени при опухолевых очагах среднего размера (3–5 см). Она позволяла избежать местных рецидивов у 22–90% больных в зависимости от особенностей исследования и характеристик опухоли [31].

Ammori и соавт. показали возможности комбинированного лечения 373 пациентов с нерезектабельными метастазами КРР в печень, сочетая МВА с предварительной химиотерапией. Комбинация системной и регионарной химиотерапии позволили значительно уменьшить размер опухоли у 25% пациентов, обеспечив полную ее абляцию. Медианная выживаемость пациентов, получивших радикальное лечение увеличивалась до 59 месяцев по сравнению с 16 месяцами в группе больных с системной и регионарной химиотерапией [32].

Анализ результатов лечения пациентов с метастазами КРР с помощью МВА в комбинации с системной химиотерапией показывает существенное увеличение показателей безрецидивной выживаемости через 1, 3 и 5 лет 65,1%, 44,6% и 34,3%, соответственно, и общей выживаемости с теми же интервалами 86,7%, 59,6% и 44,8%, соответственно. Эти данные сопоставимы с результатами, достигнутыми при резекционных вмешательствах, подчеркивая потенциал использования МВА в качестве основного или дополнительного метода лечения неоперабельных метастазов колоректального рака в печени [22].

De Martino и соавт. продемонстрировали обнадеживающие результаты безрецидивной и общей выживаемости после применения МВА по сравнению с другими абляционными методами, такими как РЧА и криоабляция (КА). Медианные показатели общей выживаемости в группе пациентов МВА за 3 и 5 лет при МВА составили 70% и 55%, что сопоставимо с хирургическим лечением, результаты общей выживаемости при применении РЧА были несколько хуже: 60% и 43%, соответственно. Группа пациентов с проведенной криодеструкцией метастазов печени показала значительно худшие результаты ОВ 3-х и 5-ти лет составили 34% и 20%. МВА при этом обладает преимуществами простоты выполнения и более коротким сроком реабилитации [33]. Хорошие результаты применения МВА позволили рассматривать ее как метод выбора при резектабельных новообразованиях печени в случаях наличия выраженной сопутствующей патологии.

Похожие результаты были получены в исследовании Tinguely и соавт., в котором МВА при резектабельных метастазах КРР в печени продемонстрировала 3-летнюю общую выживаемость, соответствующую результатам

резекции печени: 78% и 76%, соответственно. Кроме того, МВА сопровождалась меньшим числом осложнений, что делает ее более безопасной альтернативой для пациентов с высоким хирургическим риском. Эффективность и малоинвазивность методики играют особое значение при лечении рецидивов новообразований печени, раскрывая новые возможности использования МВА для долгосрочного контроля над заболеванием [3; 27].

В метаанализе Gavrilidis и соавт. было проведено сравнение частоты рецидивов и общей выживаемости при МВА, РЧА и резекционных вмешательствах. По данным исследования предпочтение должно отдаваться резекции печени, как наиболее надежному методу, показывающему наилучшие результаты безрецидивной и общей выживаемости. В свою очередь МВА служит хорошей альтернативой для пациентов, которым по каким-либо причинам, включая отказ больного, нельзя выполнить традиционное вмешательство. Отдельно подчеркивается возможность эффективной интеграции МВА в планы мультимодального лечения, включая сочетание с системной терапией [3; 34].

Несмотря на то, что в большинстве перечисленных исследований результаты МВА сравнимы с РЧА, необходимо отметить, что они обладают несколькими существенными преимуществами.

Метаанализ Тап и соавт. показал, что в сравнении с РЧА, использование МВА приводит к уменьшению числа местных рецидивов без увеличения частоты осложнений [35].

МВА обычно хорошо переносится, но, как и любая инвазивная процедура, она связана с рядом осложнений. Наиболее часто встречаются кровотечения, повреждения желчных протоков, инфекционные осложнения и термическое повреждение соседних органов [36]. Высокая тепловая эффективность увеличивает риск непреднамеренных повреждений, особенно при лечении опухолей вблизи крупных сосудов или желчных протоков [3; 37]. Частота осложнений варьируется в зависимости от размеров, расположения опухоли и опыта хирургической бригады. Риск термического поражения прилежащих к печени структур может быть снижен путем создания безопасного клиренса при формировании искусственного асцита или пневмоперитонеума [11].

Для окончательной характеристики безопасности методики важна сравнительная характеристика с близкими по эффективности и конкурирующими способами абляции [37; 38].

В рандомизированном слепом многоцентровом контролируемом исследовании Vietti и соавт. проводилось сравнение непосредственных и отдаленных результатов лечения пациентов с гепатоцеллюлярной карциномой с применением МВА и РЧА. Критериями отбора стали больные ГЦР с не более чем тремя опухолевыми очагами, размерами до 4 см, с клиническими противопоказаниями к хирургическому лечению. Было отобрано 152 пациента, распределенные на две однородные группы. Обе методики показали похожие результаты 2-х летней выживаемости без прогрессирования (94% и 86%, соответственно), но

МВА ассоциировалась с меньшим количеством осложнений 3-й и 4-й степени по Clavien-Dindo (1,5% и 3,2%, соответственно), что играет особое значение для пациентов с опухолями сложных локализаций [28].

Ierardi и соавт. оценили эффективность применения МВА опухолевых очагов печени средним размером более 3 см, располагающимися в труднодоступных зонах и непосредственной близости к крупным сосудам. Технический успех операции достигнут во всех случаях, стойкая ремиссия достигнута у 27 пациентов (87%). Средний безрецидивный период составил 20,5 месяцев [39].

На частоту осложнений и результаты МВА большое влияние оказывает также выбор способа установки аппликаторов (чрескожно, лапароскопически или через лапаротомный доступ). Выполнение МВА через лапаротомный доступ обеспечивает прямую визуализацию печени и удобство экспозиции, снижает риск неполной абляции и облегчает немедленное устранение осложнений. Однако, учитывая травматичность самой лапаротомии, длительность послеоперационного периода, открытая хирургическая МВА обычно выполняется вместе с резекцией печени для увеличения радикальности вмешательства, а также при опухолях, требующих сложной интраоперационной установки аппликаторов [37].

Лапароскопическая МВА является менее инвазивной, что обуславливает уменьшение болевого синдрома и сокращение времени послеоперационного восстановления [36]. Однако, установка аппликаторов через такой доступ может быть технически более сложной, особенно при опухолях, расположенных глубоко в печени или вблизи жизненно важных структур [40–42].

Чрескожная МВА является наименее травматичной, но предъявляет повышенные требования к УЗИ контролю мест установки аппликаторов и самого процесса абляции. При этом она наиболее требовательно к качеству интраоперационной навигации, так как весь процесс абляции контролируется только изображением получаемом при УЗИ. Данный способ наиболее предпочтителен при поверхностных или легкодоступных поражениях. При этом ограничены возможности своевременной диагностики и устранения возможных осложнений [40].

Таким образом, решение вопроса о доступе МВА должно основываться на характеристиках опухоли, состоянии пациента и опыте хирурга, чтобы сбалансировать риски и преимущества каждого подхода [43; 44].

Заключение

МВА является эффективным методом лечения новообразований печени, который имеет целый ряд преимуществ в сравнении с другими методами термической абляции. Позволяя быстрее нагревать ткани, создавать более высокую температуру в очаге, МВА показала очевидные преимущества при относительно крупных или сложных по форме и локализации опухолях, расположенных вблизи крупных кровеносных сосудов и желчных протоков [45]. Проведенные клинические исследования

демонстрируют низкие показатели рецидивов и хорошую общую выживаемость, сопоставимые с резекционным вмешательством и часто превосходящими РЧА [46]. Более того, мини-инвазивная природа МВА обеспечивает более короткое время процедуры и более быстрое восстановление, улучшая качество жизни больных [39].

Перспективность методики во многом подтверждает ее широкое применение не только при новообразованиях печени, но и при лечении опухолей почек, легких, костей и других локализаций. Дальнейшие освоения методики связывают с несколькими направлениями:

- интеграция МВА с системной химио- и иммунотерапией, учитывая возможности МВА стимулировать иммунный ответ;
- разработка и совершенствование передовых методов визуализации области абляции, включая УЗИ с контрастным усилением, слияние изображений УЗИ в реальном времени с КТ или МРТ, повышая точность и эффективность МВА [47].
- оптимизация технических параметров МВА, включая мощность и продолжительность абляции, а также принципы размещения аппликаторов [46; 47].

Таким образом, МВА эффективный и перспективный метод лечения новообразований печени, требующий дальнейшего изучения и накопления опыта клинического применения.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность) / Под ред. А.Д. Каприна и др. – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2024. – 276 с. [Malignant neoplasms in Russia in 2023 (morbidity and mortality). A.D. Kaprin, et al, editors. Moscow: P.A. Herzen Moscow Institute of Medical Sciences – branch of the Federal State Budgetary Institution «NMITS of Radiology» of the Ministry of Health of Russia, 2024. 276 p. (In Russ.)]
2. Чекмазов И.А., Иваников И.О., Сапронов Г.Б., Кириллова Н.Ч., Виноградова Н.Н. Рак печени: этиология, патогенез, итоги длительного клинико-эпидемиологического наблюдения // Доказательная гастроэнтерология. – 2019. – №8(1). – С.5-15. [Chekmazov IA, Ivanikov IO, Sapronov GV, Kirillova NCh, Vinogradova NN. Liver cancer: etiology, pathogenesis, results of long-term clinical and epidemiological observation. Russian Journal of Evidence-Based Gastroenterology. 2019; 8(1): 5-15. (In Russ., In Engl.)] doi: 10.17116/dokgastro201980115.
3. Li F, Zhang YY, Li M, Chen SK. Microwave ablation for liver metastases from colorectal cancer: A comprehensive review of clinical efficacy and safety. World J Gastrointest Surg. 2025; 17(1): 101162. doi: 10.4240/wjgs.v17.i1.101162.
4. Праздников Э.Н., Трандофилов М.М., Рудакова М.Н., Попов А.Ю. и др. Метод микроволновой абляции в лечении первичных и метастатических образований печени // Эндоскопическая хирургия. – 2018. – №24(4). – С.18-24. [Prazdnikov EN, Trandofilov MM, Rudakova MN, Popov AYU, et al. Microwave ablation in the treatment of primary and metastatic liver lesions. Endoscopic Surgery. 2018; 24(4): 18-24. (In Russ.)] doi: 10.17116/endoskop20182404118.
5. Балахнин П.В., Шмелев А.С., Шачинов Е.Г. Чрескожная энергетическая абляция опухолей: принципы, технологии, результат // Практическая онкология. – 2016. – №17(3). – С.129-153. [Balakhnin PV, Shmelev AS, Shachinov EG. Percutaneous energy ablation of tumors: principles, technologies, result. Practical oncology. 2016; 17(3): 129-153. (In Russ.)]
6. Tatli S, Tapan U, Morrison PR, Silverman SG. Radiofrequency ablation: technique and clinical applications. Diagn Interv Radiol. 2012; 18(5): 508-516. doi: 10.4261/1305-3825.DIR.5168-11.1.

7. Maher B, Ryan E, Little M, Boardman P, Stedman B. The management of colorectal liver metastases. *Clin Radiol*. 2017; 72(8): 617-625. doi: 10.1016/j.crad.2017.05.016.
8. Vasiniotis Kamarinos N, Kaye EA, Sofocleous CT. Image-Guided Thermal Ablation for Colorectal Liver Metastases. *Tech Vasc Interv Radiol*. 2020; 23(2): 100672. doi: 10.1016/j.tvir.2020.100672.
9. Shi F, Lian S, Mai Q, Mo Z, et al. Microwave ablation after downstaging of hepatocellular carcinoma: outcome was similar to tumor within Milan criteria. *Eur Radiol*. 2020; 30(5): 2454-2462. doi: 10.1007/s00330-019-06604-y.
10. An C, Cheng Z, Yu X, Han Z, et al. Ultrasound-guided percutaneous microwave ablation of hepatocellular carcinoma in challenging locations: oncologic outcomes and advanced assistive technology. *Int J Hyperthermia*. 2020; 37(1): 89-100. doi: 10.1080/02656736.2019.1711203.
11. Asvadi NH, Anvari A, Uppot RN, Thabet A, et al. CT-Guided Percutaneous Microwave Ablation of Tumors in the Hepatic Dome: Assessment of Efficacy and Safety. *J Vasc Interv Radiol*. 2016; 27(4): 496-502; quiz 503. doi: 10.1016/j.jvir.2016.01.010.
12. Hakime A, Yevich S, Tselikas L, Deschamps F, et al. Percutaneous Thermal Ablation with Ultrasound Guidance. Fusion Imaging Guidance to Improve Conspicuity of Liver Metastasis. *Cardiovasc Intervent Radiol*. 2017; 40(5): 721-727. doi: 10.1007/s00270-016-1561-5.
13. Monfardini L, Orsi F, Caserta R, Sallemi C, et al. Ultrasound and cone beam CT fusion for liver ablation: technical note. *Int J Hyperthermia*. 2018; 35(1): 500-504. doi: 10.1080/02656736.2018.1509237.
14. Scudamore CH, Patterson EJ, Shapiro AM, Buczkowski AK. Liver tumor ablation techniques. *J Invest Surg*. 1997; 10(4): 157-164. doi: 10.3109/08941939709032152.
15. Ahmed M, Brace CL, Lee FT Jr, Goldberg SN. Principles of and advances in percutaneous ablation. *Radiology*. 2011; 258(2): 351-369. doi: 10.1148/radiol.10081634.
16. Brace C. Thermal tumor ablation in clinical use. *IEEE Pulse*. 2011; 2(5): 28-38. doi: 10.1109/MPUL.2011.942603.
17. Hinshaw JL, Lubner MG, Ziemienczyk TJ, Lee FT Jr, Brace CL. Percutaneous tumor ablation tools: microwave, radiofrequency, or cryoablation—what should you use and why? *Radiographics*. 2014; 34(5): 1344-62. doi: 10.1148/rg.345140054.
18. Zivin SP, Gaba RC. Technical and practical considerations for device selection in locoregional ablative therapy. *Semin Intervent Radiol*. 2014; 31(2): 212-224. doi: 10.1055/s-0034-1373796.
19. Lencioni R, de Baere T, Martin RC, Nutting CW, Narayanan G. Image-Guided Ablation of Malignant Liver Tumors: Recommendations for Clinical Validation of Novel Thermal and Non-Thermal Technologies - A Western Perspective. *Liver Cancer*. 2015; 4(4): 208-214. doi: 10.1159/000367747.
20. Lubner MG, Brace CL, Hinshaw JL, Lee FT Jr. Microwave tumor ablation: mechanism of action, clinical results, and devices. *J Vasc Interv Radiol*. 2010; 21(8S): S192-203. doi: 10.1016/j.jvir.2010.04.007.
21. Puijk RS, Ruarus AH, Vroomen LGPH, et al. Colorectal liver metastases: surgery versus thermal ablation (COLLISION) - a phase III single-blind prospective randomized controlled trial. *BMC Cancer*. 2018; 18(1): 821. doi: 10.1186/s12885-018-4716-8.
22. Izzo F, Granata V, Grassi R, Fusco R, et al. Radiofrequency Ablation and Microwave Ablation in Liver Tumors: An Update. *Oncologist*. 2019; 24(10): e990-e1005. doi: 10.1634/theoncologist.2018-0337.
23. Chu KF, Dupuy DE. Thermal ablation of tumours: biological mechanisms and advances in therapy. *Nat Rev Cancer*. 2014; 14(3): 199-208. doi: 10.1038/nrc3672.
24. Krul MF, Gerritsen SL, Vissers FL, Klompenhouwer EG, Ruers TJ, Kuhlmann KF, Kok NF. Radiofrequency versus microwave ablation for intraoperative treatment of colorectal liver metastases. *Eur J Surg Oncol*. 2022; 48(4): 834-840. doi: 10.1016/j.ejso.2021.10.012.
25. Mimmo A, Pegoraro F, Rhaïem R, Montalti R, et al. Microwave Ablation for Colorectal Liver Metastases: A Systematic Review and Pooled Oncological Analyses. *Cancers (Basel)*. 2022; 14(5): 1305. doi: 10.3390/cancers14051305.
26. Phillips P, Groeschl RT, Hanna EM, Swan RZ, et al. Single-stage resection and microwave ablation for bilobar colorectal liver metastases. *Br J Surg*. 2016; 103(8): 1048-1054. doi: 10.1002/bjs.10159.
27. Tinguely P, Ruiter SJS, Engstrand J, et al. A prospective multicentre trial on survival after Microwave Ablation Versus Resection for Resectable Colorectal liver metastases (MAVERRIC). *Eur J Cancer*. 2023; 187: 65-76. doi: 10.1016/j.ejca.2023.03.038.
28. Vietti VN, Duran R, Guiu B, Cercueil JP, et al. Efficacy of microwave ablation versus radiofrequency ablation for the treatment of hepatocellular carcinoma in patients with chronic liver disease: a randomised controlled phase 2 trial. *Lancet Gastroenterol Hepatol*. 2018; 3(5): 317-325. doi: 10.1016/S2468-1253(18)30029-3.
29. Facciorusso A, Abd El Aziz MA, Tartaglia N, et al. Microwave Ablation Versus Radiofrequency Ablation for Treatment of Hepatocellular Carcinoma: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Cancers (Basel)*. 2020; 12(12): 3796. doi: 10.3390/cancers12123796.
30. Zhang M, Ma H, Zhang J, He L, et al. Comparison of microwave ablation and hepatic resection for hepatocellular carcinoma: a meta-analysis. *Oncotargets Ther*. 2017; 10: 4829-4839. doi: 10.2147/OTT.S141968.
31. Lucchina N, Tsetis D, Ierardi AM, Giorlando F, et al. Current role of microwave ablation in the treatment of small hepatocellular carcinomas. *Ann Gastroenterol*. 2016; 29(4): 460-465. doi: 10.20524/aog.2016.0066.
32. Ammori JB, Kemeny NE, Fong Y, Cercek A, et al. Conversion to complete resection and/or ablation using hepatic artery infusional chemotherapy in patients with unresectable liver metastases from colorectal cancer: a decade of experience at a single institution. *Ann Surg Oncol*. 2013; 20(9): 2901-2907. doi: 10.1245/s10434-013-3009-3.
33. Di Martino M, Rompianesi G, Mora-Guzmán I, et al. Systematic review and meta-analysis of local ablative therapies for resectable colorectal liver metastases. *Eur J Surg Oncol*. 2020; 46(5): 772-781. doi: 10.1016/j.ejso.2019.12.003.
34. Gavrilidis P, Roberts KJ, de'Angelis N, Aldrighetti L, Sutcliffe RP. Recurrence and survival following microwave, radiofrequency ablation, and hepatic resection of colorectal liver metastases: A systematic review and network meta-analysis. *Hepatobiliary Pancreat Dis Int*. 2021; 20(4): 307-314. doi: 10.1016/j.hbpd.2021.05.004.
35. Tan W, Deng Q, Lin S, Wang Y, Xu G. Comparison of microwave ablation and radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma: a systematic review and meta-analysis. *Int J Hyperthermia*. 2019; 36(1): 264-272. doi: 10.1080/02656736.2018.1562571.
36. Simon CJ, Dupuy DE, Mayo-Smith WW. Microwave ablation: principles and applications. *Radiographics*. 2005; 25(1): S69-83. doi: 10.1148/rg.25si055501.
37. Meloni MF, Chiang J, Laeseke PF, Dietrich CF, Sannino A, Solbiati M, Nocerino E, Brace CL, Lee FT Jr. Microwave ablation in primary and secondary liver tumours: technical and clinical approaches. *Int J Hyperthermia*. 2017; 33(1): 15-24. doi: 10.1080/02656736.2016.1209694.
38. Vogl TJ, Nour-Eldin NA, Hammerstingl RM, Panahi B, Naguib NNN. Microwave Ablation (MWA): Basics, Technique and Results in Primary and Metastatic Liver Neoplasms - Review Article. *Rofo*. 2017; 189(11): 1055-1066. doi: 10.1055/s-0043-117410.
39. Ierardi AM, Floridi C, Fontana F, Chini C, et al. Microwave ablation of liver metastases to overcome the limitations of radiofrequency ablation. *Radiol Med*. 2013; 118(6): 949-961. doi: 10.1007/s11547-013-0968-1.
40. Della Corte A, Ratti F, Monfardini L, Marra P, et al. Comparison between percutaneous and laparoscopic microwave ablation of hepatocellular carcinoma. *Int J Hyperthermia*. 2020; 37(1): 542-548. doi: 10.1080/02656736.2020.1769869.
41. Vogl TJ, Naguib NN, Gruber-Rouh T, Koitka K, Lehnert T, Nour-Eldin NE. Microwave ablation therapy: clinical utility in treatment of pulmonary metastases. *Radiology*. 2011; 261(2): 643-651. doi: 10.1148/radiol.11101643.
42. Carrafiello G, Laganà D, Mangini M, Fontana F, et al. Microwave tumors ablation: principles, clinical applications and review of preliminary experiences. *Int J Surg*. 2008; 6 Suppl 1: S65-69. doi: 10.1016/j.ijsu.2008.12.028.
43. Haier J. Gegenwärtige rechtliche Rahmenbedingungen für den Betrieb und die Nutzung von Biobanken: Teil 1: Rechtsgrundlagen. *Chirurg*. 2013; 84(9): 785-793. doi: 10.1007/s00104-013-2606-9.
44. Mariak Z, Kochanowicz J, Kordecki K, Jadeszko M, et al. Chirurgiczne usunięcie spirali embolizacyjnej przemieszczonej do tętnicy środkowej mózgu. *Neurol Neurochir Pol*. 2004; 38(6): 533-537.
45. Liang P, Wang Y, Yu X, Dong B. Malignant liver tumors: treatment with percutaneous microwave ablation—complications among cohort of 1136 patients. *Radiology*. 2009; 251(3): 933-940. doi: 10.1148/radiol.2513081740.
46. Martin RC, Scoggins CR, McMasters KM. Safety and efficacy of microwave ablation of hepatic tumors: a prospective review of a 5-year experience. *Ann Surg Oncol*. 2010; 17(1): 171-178. doi: 10.1245/s10434-009-0686-z.
47. Kang TW, Rhim H. Recent Advances in Tumor Ablation for Hepatocellular Carcinoma. *Liver Cancer*. 2015; 4(3): 176-187. doi: 10.1159/000367740.