

ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ РАДИОЧАСТОТНОЙ АБЛЯЦИИ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ

Гвоздев М.А.¹, Рябинин М.В.¹, Сапрыкин А.С.¹, Корнилов Н.Н.^{1,2}

¹ ФГБУ «НМИЦ им. Р.Р. Вредена», Санкт-Петербург, e-mail: m.a.gvozdev@bk.ru;

² ФГБОУ «СЗГМУ им. И.И. Мечникова», Санкт-Петербург

Актуальность: радиочастотная абляция (РЧА) широко использовалась в различных областях медицины. С целью понимания потенциальных преимуществ и возможностей РЧА в травматологии и ортопедии полезно обратиться к истории её развития. **Цель исследования:** анализ истории развития РЧА в травматологии и ортопедии. **Материалы и методы:** в базах данных MedLine, PubMed, CochraneLibrary и eLibrary по ключевым словам (radiofrequency energy, radiofrequency, arthroscopy, traumatology, orthopedics, ablation) был проведён поиск среди англо- и русскоязычных работ, опубликованных в период с января 1891 по июль 2019 года. **Результаты:** впервые РЧА была описана в конце XIX века D'Arsonval. Однако одно из первых гистологических исследований применения РЧА в ортопедии было выполнено лишь в 1998 году на суставных капсулярных образцах от взрослых овец. В ортопедии методика РЧА была впервые предложена для уменьшения слабости мягких тканей в первую очередь вокруг плечевого сустава, однако достигаемый эффект был недолгосрочным, и во многих случаях сохранялась нестабильность, что требовало дополнительных вмешательств. Следующей областью применения плазменного слоя стала хондропластика при повреждении хряща, а далее – абляция нервов при хронических болевых синдромах. **Выводы:** начавшись как способ уменьшения слабости околоуставных мягких тканей, дальнейшее распространение РЧА получила для лечения повреждений хряща. В настоящее время наибольший интерес исследователей привлечён к возможностям РЧА при лечении хронических болевых синдромов, обусловленных дегенеративными заболеваниями позвоночника и суставов конечностей, а также для купирования нейропатической боли после операций на элементах опорно-двигательной системы.

Ключевые слова: радиочастотная абляция, травматология, ортопедия.

HISTORY OF DEVELOPMENT OF RADIOFREQUENCY ABLATION IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS

Gvozdev M.A.¹, Ryabinin M.V.¹, Saprykin A.S.¹, Kornilov N.N.^{1,2}

¹Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, e-mail: m.a.gvozdev@bk.ru;

²FGBU CZGMU I.I. Mechnikova, St. Petersburg

Relevance: Radiofrequency ablation (RFA) has been widely used in various fields of medicine. In order to understand the potential benefits and possibilities of RFA in traumatology and orthopedics, it is necessary to look at the history of RFA development. **Objective:** to analyze the history of RFA in traumatology and orthopedics. **Materials and methods:** the search was carried out in the databases MedLine, PubMed, CochraneLibrary and e-library for keywords (radiofrequency energy, radiofrequency, arthroscopy, traumatology, orthopedics, ablation), among English and Russian-language works published from January 1891 to July 2019. **Results:** RFA was described at the end of the 19th century by D'Arsonval. However, one of the first histological studies of the use of RFA in orthopedics was performed only in 1998 on articular capsular specimens from adult sheep. The RFA technique was first applied in orthopedics to reduce soft tissue weakness around the shoulder joint but unfortunately only with short-term benefit. The use of the plasma layer in chondroplasty has become a new method of treating cartilage lesions, recently followed by ablation of nerves in chronic pain syndrome. **Conclusions:** Starting to reduce the weakness of the periarticular soft tissues, RFA has further spread to treat cartilage damage. Currently, researchers are most interested in the possibilities of RFA for the treatment of chronic pain syndromes caused by degenerative spine disorders and degenerative joint diseases, as well as for the relief of neuropathic pain after operations on the musculoskeletal system.

Keywords: radiofrequency ablation, traumatology, orthopedics.

С тех пор как в 1891 году D'Arsonval впервые продемонстрировал данный метод в медицине, радиочастотная абляция (РЧА) нашла свое применение в таких специальностях, как кардиология [1; 2], неврология [3; 4], онкология [5; 6] и проктология [7; 8]. Методика

РЧА была впервые использована в ортопедии для уменьшения слабости мягких тканей в первую очередь вокруг плечевого сустава. Достижимый эффект не оказался долгосрочным, так как во многих случаях сохранялась нестабильность, что требовало проведения дополнительных вмешательств. Однако большинство травматологов-ортопедов остаются слабо осведомлены о потенциальных преимуществах и возможностях радиочастотной абляции. Поэтому для их лучшего понимания полезно обратиться к истории развития РЧА в травматологии и ортопедии.

Цель исследования: анализ истории развития РЧА в травматологии и ортопедии.

Материалы и методы исследования

В базах данных MedLine, PubMed, CochraneLibrary и eLibrary по ключевым словам (radiofrequency energy, radiofrequency, arthroscopy, traumatology, orthopedics, ablation) был проведен поиск среди англо- и русскоязычных работ, опубликованных в период с января 1891 по июль 2019 года.

Результаты исследования и их обсуждение

Несмотря на то что методы радиочастотной абляции являются относительно новыми, базовая технология РЧА была описана более столетия назад D'Arsonval [9], который в 1891 году впервые продемонстрировал, что когда радиочастотные волны проходили через ткань, они вызывали повышение её температуры. В начале XX века клиническое применение РЧА было крайне ограничено.

Так, в 1910 г. Veer E. описал новый метод лечения новообразований мочевого пузыря с помощью прижигания через цистоскоп [10], а в 1911 г. Clark W.L. [11] использовал колебательное осушение при лечении злокачественных опухолей небольшого размера. Более широкое распространение РЧА получило после того, как Cushing H. и Bovie W.T. применили нож Bovie в 1928 году [12] для прижигания или рассечения ткани. Объем ткани, на которую оказывалось воздействие, был ограничен всего несколькими миллиметрами, потому что обугленная ткань прилипала к кончику ножа. Нож Bovie первого поколения представлял собой монополярный электрод, аналогичный тому, который используется в настоящее время для электрокоагуляции, причём заземление было наложено на пациента таким же образом, как и в большинстве современных методов. Ток, проходящий через нож Bovie в тело, в конечном итоге рассеивается по широкой области, обеспечиваемой заземляющими контактами.

Тот факт, что нож Bovie работает, вызывая ионное возбуждение тканей, окружающих иглу, был впервые продемонстрирован Organ L.W. [13]. Вал иглы не выделял тепло: оно вырабатывалось в тканях, приводя к коагуляции и клеточному некрозу. Довольно быстрое применение тока вызывало ограниченную область коагуляции, а также локальное

обугливание тканей. Последнее действовало как ингибитор дальнейшего ионного возбуждения, таким образом ограничивая зону распространения коагуляционного некроза.

Более чем через 10 лет два независимых исследователя использовали модификацию предшествующих методов РЧА для создания коагуляционного некроза, который можно применять чрескожно. McGahan J.P. et al. [14] описали свои исследования в 1990 году, и в том же году Rossi S. et al. [15] сообщили о похожей технике. Эти исследователи заменили нож Vovie специально разработанными иглами, изолированными на дистальном конце, которые направляли поток тока в ткани-мишени на заданную глубину.

В 1992 году McGahan J.P. et al. [16] продемонстрировал, что ультразвук можно использовать для контроля позиционирования РЧ иглы и оценки эхогенного ответа в окружающих её тканях при абляции. Они зафиксировали увеличение эхогенности вокруг открытого кончика иглы после подачи тока, причём этот эхогенный ответ был эллипсоидным по внешнему виду и приблизительно соответствовал объёму коагуляционного некроза, наблюдаемого при морфологическом исследовании.

В 1993 году УЗ-контроль был использован для РЧА опухолей печени у людей, что стимулировало коммерческое распространение РЧА: были разработаны РЧ-генераторы и иглы, которые можно использовать для чрескожной, лапароскопической или открытой абляции.

За последние десятилетия РЧА стала альтернативным медицинским методом лечения различных опухолей у пациентов с ранними и небольшими опухолями или тех, кто не является кандидатом на открытую операцию. По сравнению с другими медицинскими методами, РЧА имеет два основных преимущества:

1. Минимальное повреждение периферических нормальных тканей.
2. Отсутствие необходимости в общем наркозе.

Сами системы РЧА обычно состоят из трех частей:

- РЧ-генератор, который генерирует переменные токи высокой частоты;
- РЧ-аппликатор, состоящий из РЧ-электрода и изолированного вала;
- заземляющие площадки, которые обычно размещаются на спине или бедре пациента.

В процедуре РЧА РЧ-аппликатор обычно вводится чрескожно в ткань-мишень с помощью устройства с визуальным контролем (магнитно-резонансная томография, ультразвуковая визуализация или компьютерная томография). В РЧА целевая ткань (опухоль или дисфункциональная ткань) удаляется за счет тепла, генерируемого высокочастотным переменным током (приблизительно 500 кГц).

Тепло в РЧА известно как тепло Джоуля, или резистивное тепло, и оно генерируется за счет взаимодействия между электронами, которые образуют переменный ток, и ионами, составляющими резистор (например, Na, K и Cl в ткани). Замкнутая электрическая цепь может быть образована, если внутри тела есть электрический путь.

Следует отметить, что на месте воздействия РЧА обычно есть две области нагрева: область прямого нагрева и область косвенного нагрева. Область прямого нагрева находится рядом с РЧ-электродом и имеет высокую плотность тока. Тепло, выделяемое в этой области, происходит из-за взаимодействия электронов и ионов. Зона косвенного нагрева представляет собой эффект передачи тепла от зоны прямого нагрева.

Таким образом, РЧА – это клинический инструмент для лечения различных тканей. Однако одним из основных ограничений РЧА является «небольшой» размер тканей, которые можно эффективно удалить. Под малым, как правило, подразумевается, что размер ткани-мишени составляет менее 3 см в диаметре. Типичная проблема РЧА для больших тканей – незавершенность абляции, которая является важной причиной рецидива болезни, например опухоли.

Однако на рубеже XXI века РЧА нашла свое применение в таких специальностях, как кардиология, неврология, онкология и проктологии. Хотя её эффекты были тщательно изучены в тканях сердечной и нервной систем, лишь ограниченные сведения имелись применительно к опорно-двигательному аппарату. Одно из первых гистологических исследований применения РЧА в ортопедии было выполнено на суставных капсулярных образцах взрослых овец, также Lopez M.J. et al. [17] использовали различные интенсивности РЧА и обнаружили прямую зависимость между температурой и процентом площади поражения. В целом при этом наблюдалось увеличение размера поперечного сечения фибрилл коллагена, что эффективно сокращало мягкие ткани, которые подвергались воздействию радиочастотной энергии.

Необходимо отметить, что тепловая энергия и ранее использовалась в ортопедии и травматологии, но преимущественно через лазеры. Применение лазеров в ортопедии и травматологии было сопряжено с рядом недостатков, таких как стоимость, безопасность окружающих тканей и размер оборудования. РЧА обеспечивала более безопасное и удобное использование тепловой энергии [18], чем лазерные технологии, и впервые была популяризована в ортопедии для уменьшения слабости мягких тканей вокруг суставов, в частности при нестабильности плечевого сустава (Kosy J.D. et al. [19]). Целью процедуры было достижение температуры от 70 до 80 °С, которая бы приводила к денатурации коллагена и стимулированию реакции заживления, подобную тому, что Lopez M.J. et al. [17] обнаружили *in vitro* на тканях овец.

Эффективность данного подхода оказалась недолгосрочной, и во многих случаях либо сохранялась нестабильность, либо требовалось дополнительное вмешательство: так, частота неудач достигала 37% при 38-месячном наблюдении [20; 21]. Anderson K. et al. выявили факторы риска, связанные с ранней неудачей термической капсулографии, которыми явились предшествующие операции в анамнезе и множественные рецидивирующие дислокации [22]. Кроме того, гистологически было обнаружено, что структура коллагена сохраняла морфологическую аномальность до 16 месяцев после операции [23]. Таким образом, энтузиазм в отношении радиочастотной технологии, из-за низкой эффективности ее применения на капсуле и хряща плечевого сустава, снизился.

Новым методом лечения поражений хряща стало использование плазменного слоя в хондропластике [24-26]. Исторически эти поражения лечили неоперативно, что потенциально приводило к увеличению глубины и площади трещин и дальнейшей эрозии хряща. Однако было обнаружено, что применение РЧА на хряще имеет отличные физические и химические свойства [27], так как наконечник зонда создает плазменный слой через проводящую среду. Энергия преобразуется в тепло за счет молекулярного трения, когда электролиты в растворе колеблются [28]. При нагревании коллагена структура хряща меняет форму. При остывании волокна перестраиваются параллельно шву. Кроме того, было обнаружено, что биполярный плазменный слой обладает дополнительным преимуществом отжига, который делает поверхность хряща менее проницаемой [29]. Процесс отжига герметизирует прохождение ферментов суставной жидкости в субхондральную кость. Этот новый слой может обеспечить непроницаемую поверхность, которая является более устойчивой, предотвращая распространение трещин [30].

Кроме того, в работе Заболотского Д.В. и соавт. [31] РЧА показала эффективность при лечении нейропатического болевого синдрома у пациентов, перенесших эндопротезирование плечевого сустава. Также РЧА с успехом применяется для лечения корешкового болевого синдрома [32-34] – основной мишени в хирургии дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника. В основе данного лечения лежит воздействие тока высокой частоты на безмиелиновые нервные волокна с моделированием прохождения болевого импульса [35].

Исходя из результатов исследования Волкова И.В. и соавт. [35], РЧА в сочетании с эпидуральным введением стероидов являются безопасными и эффективными методами лечения послеоперационного корешкового болевого синдрома при условии отсутствия хирургически значимых субстратов компрессии.

В работе Davis T. et al. [36] было показано, что охлажденная РЧА (cooled radiofrequency ablation, CRFA) коленного сустава при остеоартрите эффективнее снимает

боль и улучшает функциональное состояние сустава в сравнении с внутрисуставным введением стероидов.

Таким образом, охлажденная РЧА (ОРЧА) может заметно улучшить качество жизни пациентов, страдающих остеоартритом коленного сустава. Считается, что боль уменьшается, а структура нервов при данной процедуре восстанавливается.

Отметим, что неоперативное лечение боли, которая связана с остеоартрозом коленного сустава, представляет значительный интерес для ортопедов. Для лечения боли и проблем, связанных с остеоартрозом коленного сустава, пациентам, которые в настоящее время не являются кандидатами на артропластику, необходимы экономически эффективные неопиоидные долгосрочные стратегии.

Так, в недавнем исследовании Chen et al. [37] в течение 6 месяцев наблюдения ОРЧА продемонстрировала превосходную эффективность в отношении облегчения боли, более высокого качества жизни и лучшей функции коленного сустава по сравнению с однократной инъекцией гиалуроновой кислоты (ГК) с аналогичными побочными явлениями.

Испытуемые, получавшие ОРЧА [37], значительно улучшили средние показатели WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index) по боли, физической функции и жесткости по сравнению с теми, кто получал ГК. В группе ОРЧА наблюдалось улучшение показателя боли WOMAC на 46,0% по сравнению с исходным уровнем до 6 месяцев.

Следует отметить, что улучшение показателя боли WOMAC на 12-18% по сравнению с исходным уровнем является минимальным клинически признанным улучшением у пациентов с остеоартритом.

Испытуемые, которые получили ОРЧА, имели большее улучшение GPE (Global Perceived Effect), чем пациенты, получавшие ГК. Важно отметить, что разница в балле EQ-5D-5L (EuroQol-5 Dimensions-5 Level) в группе ОРЧА превышала минимальную клинически значимую разницу в 0,074 для этого балла.

Особый интерес представляет то, что испытуемые в исследовании Chen et al. [37] с остеоартрозом 2-й степени реагировали лучше, чем испытуемые с остеоартрозом 3-й степени, которые реагировали лучше, чем испытуемые с остеоартрозом 4-й степени, что позволяет предположить, что ОРЧА следует рассматривать на ранней стадии лечения остеоартроза.

Однако необходимо отметить, что в исследовании Chen et al. [37] не рассматривались долгосрочные риски, связанные с ОРЧА коленного сустава, включая возможность сосудистого инфаркта, приводящего к остеонекрозу.

Также обратим внимание на РЧА-нуклеопластику. В исследование Yin H.D. et al. [38] было включено 27 пациентов, в том числе 12 мужчин и 15 женщин. Возраст составлял от 47 до 72 лет, средний возраст – 58,7 года. Всем пациентам с шейным спондилезом и вертеброгенным головокружением была проведена радиочастотная абляционная нуклеопластика с использованием плазменной операционной системы America, производимой компанией ArthroCare (тип Atlas; Остин, Техас). Всем испытуемым была проведена местная анестезия, а рентгеноскопия С-дугой помогла определить локализацию поражения шейного позвонка.

В итоге было обнаружено, что предоперационные симптомы 25 случаев (92,6%) с цервикальным головокружением были облегчены после радиочастотной абляционной нуклеопластики, что говорит о том, что лечебный эффект РЧА-нуклеопластики при цервикальном спондилезе был эффективным.

Согласно Yin H.D. et al. [38] механизм терапевтического эффекта может быть следующим: РЧА воздействует на пульпозное ядро, что приводит к снижению внутридискового давления, стимуляции и угнетению периферической симпатической нервной системы, расслаблению гладкой мускулатуры сосудов и снижению недостаточности вертебробазилярных артерий.

Так как РЧА вызывает определенную степень расслабления гладкой мускулатуры сосудов, это также приводит к увеличению скорости кровотока при поражении позвоночной артерии.

Выводы

Несмотря на первое упоминание в 1891 году, данный метод стал использоваться в травматологии и ортопедии гораздо позже, чем в кардиологии, неврологии, онкологии и проктологии. Начавшись как метод уменьшения слабости околосуставных мягких тканей, дальнейшее распространение РЧА получила для лечения хряща. В настоящее время наибольший интерес исследователей привлечён к возможностям РЧА при лечении хронических болевых синдромов, обусловленных дегенеративными заболеваниями позвоночника и суставов конечностей, а также купированием нейропатической боли после операций на элементах опорно-двигательной системы.

Список литературы

1. Nandini S. Mehra, Kashish Goel, Samuel J. Asirvatham, Charanjit S. Rihal. Right ventriculocutaneous fistula treated with radiofrequency ablation. JACC: Cardiovascular Interventions. 2019. V. 12. no. 17. P. 1737-1738.

2. Orczykowski M., Derejko P., Bodalski R., Urbanek Piotr., Zakrzewska-Koperska J., Sierpiński R., Kalin K., Hasiec A., Warmiński G., Miszczak-Knecht M., Bieganowska K., Baranowski R., Bilińska M., Biernacka E., Hoffman P., Szumowski L. Radiofrequency catheter ablation of accessory pathways in patients with Ebstein's anomaly: At 8 years of follow-up. *Cardiology journal*. 2017. V. 24. no. 1. P. 1-8. DOI: 10.5603/CJ.a2016.0111.
3. Faddoul J., Faddoul Y., Kobaiter-Maarrawi S., Moussa R., Rizk T., Nohra G., Okais N., Samaha E., Maarrawi J. Radiofrequency ablation of spinal osteoid osteoma: a prospective study. *Journal of Neurosurgery: Spine*. 2017. V. 26. no. 3. P. 313-318. DOI: 10.3171/2016.8.SPINE16462.
4. Wang B., Han S.B., Jiang L., Yuan H.S., Liu C., Zhu B.3., Liu Z.J., Liu X.G. Percutaneous radiofrequency ablation for spinal osteoid osteoma and osteoblastoma. *European Spine Journal*. 2017. V. 26. no. 7. P. 1884-1892.
5. Rajyaguru Devalkumar J., Borgert Andrew J., Smith Angela L., Thomes Reggie M., Conway Patrick D., Halfdanarson Thorvardur R., Truty Mark J., Kurup A Nicholas., Ronald S Go. Radiofrequency ablation versus stereotactic body radiotherapy for localized hepatocellular carcinoma in nonsurgically managed patients: analysis of the national cancer database. *Journal of Clinical Oncology*. 2018. V. 36. no. 6. P. 600-608. DOI: 10.1200/JCO.2017.75.3228.
6. Reccia I., Kumar J., Habib N., Sodergren M. The use of radiofrequency ablation in pancreatic cancer in the midst of the dawn of immuno-oncology. *Med. Oncol*. 2018. V. 35. Article 151 DOI: 10.1007/s12032-018-1209-1.
7. Vivaldi C., Shaefer H. Radiofrequency ablation of haemorrhoids: first results of a new technique. *Abstracts of the 11th Scientific and Annual Meeting of the European Society of Coloproctology*. 2016. P. 28-30.
8. G de Bonnechose, Lefevre J.H., Aubert M., Lemarchand N., Fathallah N., Pommaret E., Soudan D., Soudan D., Spindler L., V de Parades. Laser ablation of fistula tract (LAFT) and complex fistula-in-ano: "the ideal indication" is becoming clearer.... *Techniques in coloproctology*. 2020. V. 24. no. 7. P. 695-701. DOI: 10.1007/s10151-020-02203-y.
9. Lee B.B., Steve P.Y. Radiofrequency ablation of uterine fibroids: a review. *Current obstetrics and gynecology reports*. 2016. V. 5. no. 4. P. 318-324. DOI: 10.1007/s13669-016-0183-x.
10. Scheffer H.J. History of image-guided tumor ablation. *Irreversible Electroporation in Clinical Practice*. Springer, Cham, 2018. P. 3-11. DOI: 10.1007/978-3-319-55113-5_1.
11. Clark W.L. Oscillatory desiccation in the treatment of accessible malignant growths and minor surgical conditions. *J. Adv. Ther*. 1911. V. 29. P. 169-183.
12. Hasimoto F.N, Cataneo D.C, Hasimoto E.N, Garcia Ximenes A.M, Maria Cataneo A.J. Radiofrequency in the treatment of primary hyperhidrosis: systematic review and meta-analysis. *Clinical Autonomic Research*. 2020. V. 30. no. 2. P. 111-120. DOI: 10.1007/s10286-019-00640-w.

13. Organ L.W. Electrophysiologic principles of radiofrequency lesion making. *Appl Neurophysiol.* 1976-1977. V. 39. P. 69-76.
14. McGahan J.P., Browning P.D., Brock J.M., Tesluk H. Hepatic ablation using radiofrequency electrocautery. *Invest Radiol.* 1990. V. 25. P. 267-270.
15. Rossi S., Fornari F., Pathies C., Buscarini L. Thermal lesions induced by 480 KHz localized current field in guinea pig and pig liver. *Tumori.* 1990. V. 76. P. 54-57.
16. McGahan J.P., Brock J.M., Tesluk H., Gu W.Z., Schneider P., Browning P.D. Hepatic ablation with use of radiofrequency electro-cautery in the animal model. *J. Vasc. Intervent Radiol.* 1992. V. 3. P. 291-297.
17. Lopez M.J., Hayashi K., Fanton G.S., Thabit G., III., Markel M.D. The effect of radiofrequency energy on the ultrastructure of joint capsular collagen. *Arthroscopy.* 1998. V. 14 (5). P. 495-501. DOI: 10.1016/S0749-8063(98)70078-7.
18. Мазуркевич Е.А. Способ лазеротерапии болей опорно-двигательного аппарата // Патент РФ № 2078596. МКИ6 А 61 N 5/06. № 93025242/14; Заявл. 27.04.03; Оpubл. 10.05.97, Бюл.Хз 13.
19. Kosy J.D., Schranz P.J., Toms A.D., Eyres K.S., Mandalia V.I. The use of radiofrequency energy for arthroscopic chondroplasty in the knee. *Arthroscopy.* 2011. V. 27 (5). P. 695-703. DOI: 10.1016/j.arthro.2010.11.058.
20. D'alessandro D.F., Bradley J.P., Fleischli J.E., Connor P.M. Prospective evaluation of thermal capsulorrhaphy for shoulder instability: indications and results, two-to five-year follow-up. *Am. J. Sports Med.* 2004. V. 32 (1). P. 21-33. DOI: 10.1177/0095399703258735.
21. Hawkins R.J., Krishnan S.G., Karas S.G., Noonan T.J., Horan M.P. Electrothermal arthroscopic shoulder capsulorrhaphy: a minimum 2-year follow-up. *Am. J. Sports Med.* 2007. V. 35 (9). P. 1484-1488. DOI: 10.1177/0363546507301082.
22. Anderson K., Warren R.F., Altchek D.W., Craig E.V., O'Brien S.J. Risk factors for early failure after thermal capsulorrhaphy. *Am. J. Sports Med.* 2002. V. 30 (1). P. 103-107. DOI: 10.1177/03635465020300010201.
23. McFarland E.G., Kim T.K., Banchasuek P., McCarthy E.F. Histologic evaluation of the shoulder capsule in normal shoulders, unstable shoulders, and after failed thermal capsulorrhaphy. *Am. J. Sports Med.* 2002. V. 30 (5). P. 636-642. DOI: 10.1177/03635465020300050201.
24. Anderson Scott R., Faucett Scott C., Flanigan David C., Gmabardella Ralph A., Amin Nirav H. The history of radiofrequency energy and Coblation in arthroscopy: a current concepts review of its application in chondroplasty of the knee. *Journal of Experimental Orthopaedics.* 2019. V. 6. no. 1. P. 1. DOI: 10.1186/s40634-018-0168-y.

25. Spahn G., Hofmann G.O., von Engelhardt L.V. Mechanical debridement versus radiofrequency in knee chondroplasty with concomitant medial meniscectomy: 10-year results from a randomized controlled study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2016. V. 24. no. 5. P. 1560-1568. DOI: 10.1007/s00167-015-3810-6.
26. Liptak M.G., Theodoulou A. Arthroscopic Chondral Debridement Using Radiofrequency Ablation for Patellofemoral Compartment Pathology. *Arthroscopy techniques*. 2017. V. 6. no. 5. P. e1879-e1883. DOI: 10.1016/j.eats.2017.07.004.
27. Singh S., Melnik R. Radiofrequency ablation for treating chronic pain of bones: Effects of nerve locations. *International Work-Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*. Springer, Cham, 2019. P. 418-429. DOI: 10.1007/978-3-030-17935-9_38.
28. Kotadia I.D., Williams S.E., O'Neill M. High-power, Short-duration Radiofrequency Ablation for the Treatment of AF. *Arrhythmia & Electrophysiology Review*. 2020. V. 8. no. 4. P. 265. DOI: 10.15420/aer.2019.09.
29. Koller U., Springer B., Rentenberger C., Szomolanyi P., Waldstein W., Windhager R., Trattig S., Apprich S. Radiofrequency Chondroplasty May Not Have a Long-Lasting Effect in the Treatment of Concomitant Grade II Patellar Cartilage Defects in Humans. *Journal of Clinical Medicine*. 2020. V. 9. no. 4. P. 1202. DOI: 10.3390/jcm9041202.
30. Gharaibeh M., Szomor S., Chen Darren B., MacDessi Samuel J. A retrospective study assessing safety and efficacy of bipolar radiofrequency ablation for knee chondral lesions. *Cartilage*. 2018. V. 9. no. 3. P. 241-247. DOI: 10.1177/1947603517703731.
31. Заболотский Д.В., Портнягин И.В. Применение импульсной радиочастотной абляции при лечении тяжелого хронического болевого синдрома после эндопротезирования плечевого сустава (клинический случай) // *Травматология и ортопедия России*. 2015. № (4). С. 126-130.
32. Rakhmatov K.R. Treatment of postoperative radicular pain syndrome with pulsed radiofrequency ablation of the spinal ganglia. *Surgery*. 2020. V. 18. P. 22. DOI: 10.36713/epra2013.
33. Chang M.C., Daemyungdong N. Effectiveness of ultrasound-guided pulsed radiofrequency treatment in patients with refractory chronic cervical radicular pain. *Pain physician*. 2020. V. 23. P. E265-E271.
34. Chapman Kenneth B., Schirripa F., Yousef T., Deygoo J., Noud van Helmond. Lumbar Radiofrequency Ablation Interfering With S1 Dorsal Root Ganglion Stimulation Systems: Experience From Two Cases. *Pain Practice*. 2020. DOI: 10.1111/papr.12901.
35. Волков И.В., Карабаев И.Ш., Пташников Д.А., Коновалов Н.А., Поярков К.А. Радиочастотная импульсная абляция спинальных ганглиев в лечении послеоперационного корешкового болевого синдрома // *Гений ортопедии*. 2018. № 3. С. 349-356.

36. Davis T., Loudermilk E., DePalma M., Hunter C., Lindley D., Patel N., Choi D., Soloman M., Gupta A., Desai M., Buvanendran A., Kapural L. Prospective, multicenter, randomized, crossover clinical trial comparing the safety and effectiveness of cooled radiofrequency ablation with corticosteroid injection in the management of knee pain from osteoarthritis. *Reg. Anesth. Pain Med.* 2018. V. 43. no. 1. P. 84-91.
37. Chen A.F., Khalouf F., Zora K., DePalma M., Kohan L. Cooled Radiofrequency Ablation Compared with a Single Injection of Hyaluronic Acid for Chronic Knee Pain: A Multicenter, Randomized Clinical Trial Demonstrating Greater Efficacy and Equivalent Safety for Cooled Radiofrequency Ablation. *JBJS.* 2020. V. 102. no. 17. P. 1501-1510. DOI: 10.2106/JBJS.19.00935.
38. Yin H.D., Zhang X.M., Huang M.G., Chen W., Song Y., Du Q. Curative effect and mechanism of radiofrequency ablation nucleoplasty in the treatment of cervical vertigo. *The British journal of radiology.* 2017. V. 90. no. 1072. P. 20150772. DOI: 10.1259/bjr.20150772.