

2. *Медведев М. В., Алтынник Н. А.* Основы ультразвукового скрининга в 11—14 недель беременности: практическое пособие для врачей. — М.: Реал Тайм, 2009.

3. *Медведев М. В., Юдина Е. В.* Дифференциальная пренатальная ультразвуковая диагностика. 3-е изд. — М.: Реал Тайм, 2007.

## Контактная информация

**Алтынник Наталья Анатольевна** — к. м. н., доцент кафедры ультразвуковой и пренатальной диагностики ФГБОУ ДПО «Институт повышения квалификации ФМБА», e-mail: Natalia\_altynnik@list.ru

УДК 616.36:615.849

## РАДИОЧАСТОТНАЯ АБЛАЦИЯ ПЕЧЕНИ. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕДУРЫ ПРОВЕДЕНИЯ

**А. Г. Бебуришвили, Е. Н. Зюбина, Е. Г. Спиридонов, В. В. Яцышен,  
П. В. Мозговой, О. Ю. Евсюков, Е. С. Алейникова**

*Волгоградский государственный медицинский университет,  
Волгоградский государственный университет*

Радиочастотная абляция является одним из компонентов локорегионарной терапии, включающей комплексное воздействие на опухоль, и рекомендована Всемирной организацией здравоохранения в лечении гепатоцеллюлярной карциномы и при метастатическом поражении печени. Для определения режимов работы и оптимальных параметров радиочастотного воздействия на ткань печени с использованием генератора Cool-tip RF Ablation System в эксперименте был изучен ряд параметров работы генератора. Среди входных параметров выделены: мощность (W), ток (I), импеданс (Z), температура охлаждающей жидкости (T жидкости), длительность воздействия. К выходным параметрам работы отнесены температурные, геометрические, гистологические. Определены режимы и условия работы генератора для получения максимальных значений площади сечения и объема тканей очага абляции с максимальным повреждением тканей как в центре, так и на периферии очага. Сформулированы практические рекомендации по применению конкретной модели радиочастотного генератора.

*Ключевые слова:* радиочастотная абляция, гепатоцеллюлярная карцинома, вторичное метастатическое поражение печени, локорегионарная терапия.

## RADIO FREQUENCY ABLATION OF THE LIVER. AN EXPERIMENTAL VERIFICATION OF TECHNICAL PARAMETERS OF THE PROCEDURE

**A. G. Beburishvily, E. N. Zubina, E. G. Spiridonov, V. V. Yatsishen,  
P. V. Mozgvoi, O. U. Evsiukov, E. S. Aleinikova**

Radio Frequency ablation of the liver is one of the components of loco-regional therapy including an integrated effect on the tumor; it is recommended by the World Health Organization in management of hepatocellular carcinoma and metastatic lesion of the liver. To determine the working mode and definitive characteristics of the radio frequency impact on the tissue with an experimental use of Cool-tip RF Ablation System generator we examined some parameters of the generator function. Input characteristics include: Power (W), Electric current (I), Electric impedance (Z), Temperature of cooling liquid (T of the liquid), exposure time. Output characteristics are: Temperature, Geometric specification, Histologic specification. The mode and condition of the work of the generator were determined in order to get the maximum values of the cross-section area and volume of tissues of the ablation field with a maximum tissue damage both in the center and at the periphery of the focus. Practical recommendations for the use of a specific model of RFA generator are offered.

*Key words:* radio frequency ablation, hepatocellular carcinoma, secondary metastasis of liver, loco regional therapy.

Под радиочастотной абляцией (РЧА) понимают деструкцию тканей, возникающую под воздействием электромагнитной волны, колеблющейся с частотой от 300 до 500 кГц. Физические параметры излучения достаточны для образования молекулярного фрикционного тепла, но при этом воздействие не вызывает нейромышечной стимуляции и ионизирующего излучения. Оптимальной считается температура нагрева тканей до 60 °С, при которой происходит практически мгновенная гибель клеток с разрушением микроциркуляторного русла. РЧА является одним из компонентом локорегионар-

ной терапии, включающей комплексное воздействие на опухоль и рекомендованной Всемирной организацией здравоохранения, Международным противораковым союзом, National Comprehensive Cancer Network (NCCN), 2010, США. Также РЧА входит в стратегию лечения гепатоцеллюлярной карциномы (ГЦК), определенной Барселонской классификацией ГЦК, 2008 [1—10].

Несмотря на то, что характер воздействия РЧА на ткани организма изучен достаточно хорошо, не разработаны практические рекомендации по использованию конкретных радиочастотных генераторов (РГ).

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определение режимов и параметров работы РЧ генератора для улучшения результатов лечения пациентов с первичным злокачественным и метастатическим поражением печени.

Основная задача исследования: определить оптимальные параметры радиочастотного воздействия на ткань печени с использованием генератора Cool-tip RF Ablation System.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Генератор Cool-tip RF Ablation System имеет максимальную мощность 200 Вт при частоте 480 кГц и систему управления по импедансу. Значения импеданса могут колебаться в пределах от 25 до 1000 Ом. Особенностью данного генератора является возможность изменения конечных параметров абляции путем изменения времени воздействия, мощности излучения и температуры рабочей части электрода, то есть создание определенных режимов работы.

Условно параметры работы генератора можно разделить на входные факторы и выходные параметры, которые и определяют режим работы генератора.

Режим работы генератора — это совокупность диапазонов значений входных параметров, которая обеспечивает значения выходных параметров, лежащих в четко определяемых диапазонах. Генератор Cool-tip RF Ablation System имеет два режима работы — ручной и с автоматическим контролем импеданса. При первом из них РЧ энергия подается постоянно с быстрым достижением коагуляции в тканях и ростом их электрического сопротивления. Режим контроля импеданса, напротив, предполагает коагуляцию ткани таким образом, чтобы очаг не высушивался и в процессе воздействия не препятствовал проведению радиочастотной энергии на максимальное расстояние от электрода.

Под входными переменными факторами мы понимаем такие параметры, которыми мы можем управлять в режиме реального времени для создания наиболее оптимальных режимов работы, то есть оптимальных значений выходных параметров.

К таким параметрам были отнесены: мощность ( $W$ ), ток ( $I$ ), импеданс ( $Z$ ), температура охлаждающей жидкости ( $T$  жидкости), длительность воздействия или время экспозиции ( $\Delta t$ ).

В качестве выходных параметров были определены: температурные ( $T$  центра очага абляции,  $T$  на периферии очага); геометрические (сечение поврежденной зоны  $S_0$ , объем поврежденной зоны  $V_0$ ); гистологические (относительные — площадь коагуляционного некроза, площадь поврежденных гепатоцитов в промежуточной зоне, площадь поврежденных гепатоцитов в периферической зоне, %; абсолютные — наибольшая площадь кавернозно-подобной полости,  $\text{мм}^2$ ). Кроме того, выделены промежуточные переменные (расчетные данные):

– средняя мощность излучения

$$W_{mid} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int W(t) dt$$

$W(t)$  — мощность в момент времени  $t$ , где  $t_1$  — момент начала воздействия,  $t_2$  — момент окончания воздействия;

– средняя экспозиционная энергия

$$E_{mid} = W_{mid} \cdot (t_2 - t_1)$$

– плотность средней экспозиционной энергии

$$Ro = E_{mid}/V \text{ Дж/мм}^3,$$

где  $V$  — объем повреждений.

Нами были использованы два принципиально различающихся режима работы генератора — ручной автоматически регулируемый и полностью автоматически регулируемый. Уровень мощности определяли положением ручки регулятора мощности на передней панели генератора. Использованы минимальная, средняя и максимальная мощности воздействия при температуре охлаждающей жидкости 2, 4, 8, 16, 23 °, более 24 °С.

В качестве исследуемой ткани использованы фрагменты ткани печени. Макропрепарат печени после проведения воздействия фиксировали нейтральным 10%-м раствором забуференного формалина, по стандартной методике подготавливали парафиновые срезы, которые окрашивали гематоксилин-эозином. При микроскопическом исследовании оценивали степень повреждения гепатоцитов и их микроокружения.

Для проведения первой серии эксперимента были отобраны кролики породы стандартная шиншилла массой от 3 до 5 кг, средний вес животного составил  $(4,1 \pm 0,6)$  кг. Процедуру радиочастотной абляции проводили в условиях сохранившегося кровообращения под внутривенным наркозом после выполнения срединной лапаротомии. По окончании эксперимента животное умерщвляли, создавая воздушную эмболию. Вторая серия экспериментов была проведена во время аутопсии на неизолированной печени человека.

Методами описательной статистики LibreOfficeCalc проанализированы возможные режимы работы генератора по результатам, полученным как внутри каждой серии, так и между сериями. Для сравнительного анализа использована программа Statistica 6, StatSoft Inc. Использованы метод нелинейной регрессии — General Regression Models: Polynomial regression и расчет корреляционных матриц — Basic statistic and Tables: Correlation matrices.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При проведении РЧА на печени кролика, как в условиях сохраненной перфузии, так и при кардиальном аресте, выявлено, что сохраняется прямая зависимость конечной площади абляции от длительности воздействия при условии продолжения эксперимента от 1 до 10 ми-

нут. Полученные данные по выходным параметрам абляции были сопоставимы с результатами РЧ воздействия на неизолированной печени человека. Увеличение времени РЧ воздействия на кроликах более 10 мин признано нецелесообразным из-за распространения термического воздействия на капсулу печени и изменения геометрических параметров органа (рис.).

Всего выполнено 64 процедуры абляции при минимальной, средней и максимальной мощности генератора.

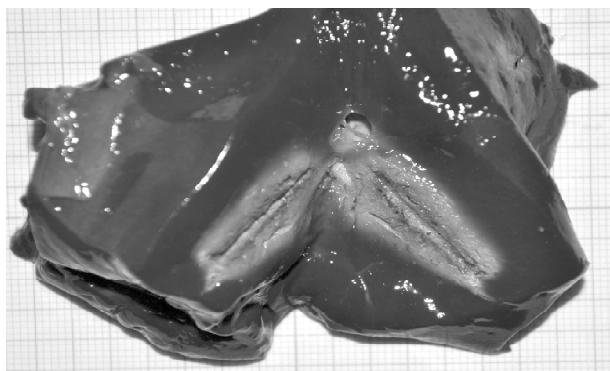


Рис. Макропрепарат участка паренхимы печени после радиочастотной абляции

## 1. Сравнительная характеристика режимов мощности работы генератора в режиме ручного управления

К моменту окончания процедуры абляции в ручном режиме средние значения импеданса увеличиваются от 301,26 до 508,32 Ом. Показатели силы тока увеличиваются от 0,21 до 0,40 А, а показатели мощности от 8,53 до 21,53 W. Колебания температуры на кончике ра-

бочей части электрода составляют от 21,38 до 30,58 °С. Температура тканей в центре очага достигает 48,09 °С, на периферии очага — 40,55 °С. Средние показатели объема тканей, подвергшихся абляции, составляют 4731,16 мм<sup>3</sup>, площади сечения — 323,95 мм<sup>2</sup> при экспозиционной энергии 23262,3 Дж с плотностью 12,75 Дж/мм<sup>3</sup>. Средняя относительная площадь коагуляционного некроза центральной зоны составляет 7,94 %, площадь кавернозно-подобной полости — 1850,37 мм<sup>2</sup>, относительная площадь поврежденных гепатоцитов в промежуточной зоне — 4,17 %, относительная площадь поврежденных гепатоцитов в периферической зоне — 1,72 %.

Для выбора оптимального ручного режима управления проведен сравнительный анализ минимального, среднего и максимального по мощности режимов работы генератора. Выходные параметры представлены в табл. 1.

Максимальные значения импеданса увеличиваются в геометрической прогрессии до своего возможного максимума при максимальном режиме. При достижении генератором максимально возможного в 999 Ом значения импеданса происходит автоматическое отключение прибора. Минимальный разброс показателей силы тока отмечен при минимальном и максимальном режимах. Максимальный разброс параметров соответствует среднему режиму. Динамика изменений показателей мощности в целом соответствует картине изменений силы тока. Температура рабочей части электрода, в центре и на периферии очага абляции, достигает своих максимальных значений при средней мощности генератора.

Изменения средних показателей работы РЧ генератора при различных режимах мощности воздействия представлены в табл. 2.

Таблица 1

### Диапазон средних показателей работы РЧ генератора к окончанию процедуры абляции при различных по мощности режимах воздействия

Режим работы	Импеданс, Ом		Сила тока, А		Мощность, W		Т электрода, °С		Т в центре очага, °С		Т на периферии очага, °С		Импеданс, Ом
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Мин	88,6	119,8	0,23	0,31	5,6	7,6	19,2	27,4	37,6	43,5	34,5	39,8	
Средний	101,0	463,33	0,15	0,72	8,50	41,50	23,83	33,33	40,82	55,18	37,43	44,88	
Макс	714,17	941,83	0,25	0,16	11,5	15,5	22,31	31,0	39,12	45,6	35,53	41,3	
Среднее	301,26	508,32	0,21	0,40	8,53	21,53	21,38	30,58	39,18	48,09	35,82	40,55	
Стандартное отклонение	404,79 ± 331,92		0,30 ± 0,19		15,03 ± 12,25		26,18 ± 4,92		43,64 ± 5,80		37,71 ± 2,55		

Таблица 2

### Динамика средних показателей работы РЧ генератора при различных по мощности режимах воздействия, разница показателей в % по сравнению с исходными значениями

Режим работы	Импеданс	Сила тока	Мощность
Минимальный	-14,88	16,99	18,77
Средний	22,40	-47,85	-52,86
Максимальный	724,21	-56,15	-84,92
Среднее	243,91 ± 339,96	-29,0 ± 32,70	-39,67 ± 43,35

Характер изменений основных показателей работы генератора заключается в том, что при увеличении мощности значения импеданса по сравнению с исходными данными существенно увеличиваются, а показатели силы тока и мощности уменьшаются. Разница значений импеданса между минимальным и максимальным режимом составила -48,67 раз, а силы тока и мощности -3,3 и -4,5 раза соответственно.

Характер изменений геометрических параметров очага абляции, средней экспозиционной энергии и ее плотности представлены в табл. 3.

Наибольшее значение объема и площади сечения очага абляции отмечено при среднем режиме РЧ воздействия и соответствует уровню средней экспозиционной энергии в 26525 Дж при минимальной плотности в 4,21 Дж/мм<sup>3</sup>.

Сравнительная оценка гистологических параметров отражена в табл. 4.

Наибольшая площадь кавернозной полости, относительная площадь коагуляционного некроза, относительные площади поврежденных гепатоцитов в промежуточной и периферической зонах минимальны при минимальном режиме воздействия и достигают своего максимального значения при среднем режиме воздействия.

Максимальное увеличение средней экспозиционной энергии, происходящее при максимальном режиме, приводит к уменьшению всех выходных параметров работы генератора.

Возможные диапазоны оптимальных средних значений входных и выходных параметров работы РЧ генератора представлены в табл. 5.

Таблица 3

**Средние максимальные показатели геометрических параметров очага абляции и средней экспозиционной энергии при различных мощностных режимах**

Режим работы	Объем, мм <sup>3</sup>	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Средняя экспозиционная энергия, Дж	Плотность средней экспозиционной энергии, Дж/мм <sup>3</sup>
Минимальный	1112,65	58,12	4987,5	19,48
Средний	9922,91	623,77	26525,0	4,21
Максимальный	3157,91	289,95	38275,0	14,56
Среднее	4731,16 ± 3764,88	323,95 ± 232,17	23262,50 ± 13783,98	12,75 ± 6,36

Таблица 4

**Средние показатели гистологической оценки очага абляции при различных режимах радиочастотного воздействия**

Режим работы	Относительная площадь коагуляционного повреждения центральной зоны, %	Наибольшая площадь кавернозно-подобной полости, мкм <sup>2</sup>	Относительная площадь поврежденных гепатоцитов в промежуточной зоне, %	Относительная площадь поврежденных гепатоцитов в периферической зоне, %
Минимальный	2,77	321,29	1,93	0,64
Средний	14,66	4100,79	8,63	3,40
Максимальный	6,40	1129,03	1,96	1,13
Среднее	7,94 ± 4,98	1850,37 ± 1625,10	4,17 ± 3,15	1,72 ± 1,20

Таблица 5

**Возможные диапазоны оптимальных средних значений входных и выходных параметров работы РЧ генератора в режиме ручного управления при средней мощности воздействия**

Т жидкости, °С		Время воздействия, мин		Импеданс, Ом		Сила тока, А		Мощность, W		Т электрода, °С		Т в центре очага, °С		Т на периферии очага, °С	
Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
8	23	10	15	101,0	463,33	0,15	0,72	8,50	41,50	23,83	33,33	40,82	55,18	37,43	44,88

Продолжение таблицы 5

Площадь абляции, см <sup>2</sup>			V, мм <sup>3</sup>	S, мм <sup>2</sup>	Emid, Дж	Ro, Дж/мм <sup>3</sup>	SR, %	Smax, мкм <sup>2</sup>	Smid, %	Sper, %
Min	Max	Среднее								
1,71	4,88	3,3	9922,91	623,77	26525,0	4,21	14,66	4100,79	8,63	3,40

Примечание. Smax — наибольшая площадь кавернозной полости, SR — относительная площадь коагуляционного некроза, Smid — относительная площадь поврежденных гепатоцитов в промежуточной зоне, Sper — относительная площадь поврежденных гепатоцитов в периферической зоне.

## 2. Сравнительная характеристика автоматически регулируемых режимов работы генератора

К моменту окончания процедуры абляции в автоматическом режиме значения импеданса уменьшаются в среднем на 2 % с 114,08 до 110,15 Ом, сила тока увеличивается по сравнению с исходным значением на 136,4 % и к моменту окончания процедуры возрастает с 0,56 до 1,28 А. Показатели мощности увеличиваются на 666,09 % с 29,08 до 33,68 W. Колебания температуры на кончике рабочей части электрода составляют от 18,17 до 27,57 °С. Температура тканей в центре очага достигает 45,43 °С, на периферии очага — 41,14 °С. Средние показатели объема тканей, подвергшихся абляции составляют 12215,03 мм<sup>3</sup>, площади сечения — 662,25 мм<sup>2</sup> при экспозиционной энергии 31870 Дж с плотностью 3,39 Дж/мм<sup>3</sup>. Средняя относительная площадь коагуляционного некроза центральной зоны составляет 2,94 %, площадь кавернозно-подобной полости — 2069,37 мм<sup>2</sup>, относительная площадь поврежденных гепатоцитов в промежуточной зоне — 2,7 %, относительная пло-

щадь поврежденных гепатоцитов в периферической зоне — 1,63 %.

Изменения средних показателей работы РЧ генератора при различных режимах мощности воздействия представлены в табл. 6.

Максимальная площадь абляции отмечена при среднем режиме и соответствующем ему значении импеданса, силы тока, мощности.

С увеличением мощности температура в центре и на периферии очага абляции увеличивается при уменьшении температуры электрода

Изменения средних показателей работы РЧ генератора при различных режимах мощности воздействия представлены в табл. 7.

Для автоматических режимов характерно незначительное снижение импеданса по сравнению с исходным значением на 2 % и значительное увеличение силы тока на 136 % и еще более значительное увеличение мощности на 666 %.

Характер изменений геометрических параметров очага абляции, средней экспозиционной энергии и ее плотности представлены в табл. 8.

Таблица 6

**Диапазон показателей работы РЧ генератора во время проведения процедуры абляции в автоматическом режиме**

Режим работы	Импеданс, Ом		Сила тока, А		Мощность, W		Т электрода, °С		Т в центре очага, °С		Т на периферии очага, °С	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Мин.	132,25	94,25	0,2	0,32	4,25	8,25	16,5	30,5	42,0		38,13	
Средний	116,2	135,2	0,59	0,63	35,2	33,0	18,8	27,4	45,38		40,86	
Макс.	93,8	101,0	0,88	2,88	47,80	59,8	19,20	24,80	48,92		44,44	
Среднее	114,08	110,15	0,56	1,28	29,08	33,68	18,17	27,57	45,43		41,14	
Стандартное отклонение	112,12 ± 17,00		0,92 ± 0,9		31,38 ± 19,86		22,87 ± 5,05		45,43 ± 2,83		41,14 ± 2,58	

Таблица 7

**Средние показатели работы РЧ генератора при различных по мощности режимах воздействия, разница показателей в % по сравнению с исходными данными**

Режим работы	Импеданс	Сила тока	Мощность
Минимальный	-31,49	60,67	94,17
Средний	17,28	11,79	-6,39
Максимальный	8,21	336,75	1910,5
Среднее	-2,0 ± 21,18	136,4 ± 143,07	666,09 ± 880,89

Таблица 8

**Геометрические показатели очага абляции и характеристика экспозиционной энергии в зависимости от режима воздействия**

Режим работы	Объем, см <sup>3</sup>	Площадь сечения, см <sup>2</sup>	Средняя экспозиционная энергия, Дж	Плотность средней экспозиционной энергии, Дж/мм <sup>3</sup>
Минимальный	4666,21	373,85	6600,0	2,53
Средний	18708,81	888,76	31230,0	2,36
Максимальный	13270,07	724,14	57780,0	5,29
Среднее	12215,03 ± 5781,20	662,25 ± 214,72	31870,00 ± 20899,05	3,39 ± 1,34

Максимальный объем и площадь сечения тканей, подвергшихся абляции, отмечен при среднем режиме работы генератора и соответствующем ему значении средней экспозиционной энергии.

Для минимального и среднего режимов значения плотности поглощенной энергии практически одинаковы, при максимальном режиме ее значение увеличивается двукратно с 2,53 до 5,29 Дж/мм<sup>3</sup>.

Гистологическая оценка очага абляции представлена в табл. 9.

Все анализируемые гистологические параметры находятся в прямой зависимости от средней поглощенной энергии и достигают максимального значения при максимальном режиме.

Возможные диапазоны оптимальных средних значений входных и выходных параметров работы

РЧ генератора в автоматическом режиме представлены в табл. 10.

### 3. Сравнительная характеристика ручного и автоматически регулируемого режимов работы генератора

Изменения средних показателей работы РЧ генератора при различных режимах воздействия представлены в табл. 11.

Площадь абляции тканей находится в обратной зависимости от значения импеданса и значительно выше в автоматическом режиме при минимальных показателях импеданса.

Площадь абляции тканей находится в прямой зависимости от значений силы тока и мощности и значительно выше в автоматическом режиме управления работой генератора.

Таблица 9

#### Средние показатели гистологической оценки очага абляции при различных режимах радиочастотного воздействия

Режим работы	Относительная площадь коагуляционного повреждения центральной зоны, %	Наибольшая площадь кавернозно-подобной полости, мкм <sup>2</sup>	Относительная площадь поврежденных гепатоцитов в промежуточной зоне, %	Относительная площадь поврежденных гепатоцитов в периферической зоне, %
Минимальный	1,48	1423,11	1,37	0,74
Средний	2,72	2167,16	3,40	1,25
Максимальный	4,61	2617,84	3,32	2,91
Среднее	2,94 ± 1,29	2069,37 ± 492,62	2,70 ± 0,94	1,63 ± 0,93

Таблица 10

#### Возможные диапазоны оптимальных значений входных и выходных параметров работы РЧ генератора в режиме автоматического управления при различных режимах мощности воздействия

Режим работы	Т жидкости, °С		Время воздействия, мин		Импеданс, Ом		Сила тока, А		Мощность, W		Т электрода, °С		Т в центре очага, °С		Т на периферии очага, °С	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Средний	16	30	10	15	87	165	0,48	0,79	30	43	20	71	30,4	55,1	29,4	47,3

Продолжение таблицы 10

Режим работы	Площадь абляции, см <sup>2</sup>			V, мм <sup>3</sup>	S, мм <sup>2</sup>	Emid, Дж	Ro, Дж/мм <sup>3</sup>	SR, %	Smax, мкм <sup>2</sup>	Smid, %	Sper, %
	Min	Max	Среднее								
Средний	4,49	14,14	9,315	37699,11	1413,72	36900	0,979	3,19	4700,33	2,77	1,06

Таблица 11

#### Диапазон показателей работы РЧ генератора во время проведения процедуры абляции в ручном и автоматическом режимах при среднем по мощности режиме воздействия

Режим воздействия	Импеданс, Ом	Сила тока, А	Мощность, W	Т электрода, °С	Т в центре очага, °С	Т на периферии очага, °С	Площадь абляции, см <sup>2</sup>
Ручная регулировка	508,32	0,40	21,53	30,58	48,09	40,55	2,93
Автоматически регулируемый	110,15	1,28	33,68	27,57	45,43	41,14	6,62

Средние показатели температуры рабочей части электрода и температуры тканей, подвергшихся абляции к моменту окончания процедуры при различных по управлению режимах мощности работы РЧ генератора, существенно не отличаются, но несколько выше при ручном режиме управления.

Изменения некоторых средних показателей работы РЧА генератора при различных режимах мощности воздействия представлены в табл. 12.

Ручной и автоматический режимы управления характеризуются обратно пропорциональными изменениями импеданса, силы тока и мощности. В ручном режиме импеданс увеличивается по сравнению с исходным значением, а в автоматическом снижается. Сила тока и мощность уменьшаются. В автоматическом режиме наблюдается противоположная картина — импеданс уменьшается, а сила тока и мощность увеличиваются к моменту окончания процедуры.

Характер изменений геометрических параметров очага абляции, средней экспозиционной энергии и ее плотности представлены в табл. 13.

Объем очага абляции, площадь его сечения при ручном управлении ниже, чем в режиме автоматического управления.

Плотность средней экспозиционной энергии максимальна при ручном режиме и минимальна при автоматическом управлении.

Гистологическая оценка очага абляции представлена в табл. 14.

Наибольшая площадь кавернозной полости находится в прямой зависимости от величины средней поглощенной энергии и значительно выше при автоматическом режиме управления.

Величины относительных показателей анализируемых гистологических параметров (относительная площадь коагуляционного некроза, относительная площадь поврежденных гепатоцитов в промежуточной и периферических зонах) выше в ручном режиме управления.

При статистическом анализе выявлено, что в режиме ручного управления зависимости между величинами  $S_{сеч}$ ,  $V$ ,  $P$  и  $E_{ср}$  аппроксимируются кубическим полиномом. В режиме управления по импедансу между каждой из величин  $S_{сеч}$ ,  $V$ ,  $P$  и  $E_{ср}$  существует квадратичная регрессионная зависимость.

В режиме ручного управления и в режиме управления по импедансу наиболее информативными являются зависимости параметров  $SR$ ,  $S_{max}$ ,  $Smid$ ,  $S_{per}$  от  $E_{ср}$  или от  $E_{срДЖ}$ .

Возможные диапазоны оптимальных средних значений входных и выходных параметров работы РЧ генератора в различных режимах представлены в табл. 15.

Таблица 12

**Динамика изменений средних показателей работы РЧ генератора при различных по мощности режимах воздействия, разница показателей в % по сравнению с исходными данными**

Режим работы	Импеданс	Сила тока	Мощность
Ручная регулировка	243,91	-29,0	-39,67
Автоматически регулируемый	-2,0	136,4	666,09

Таблица 13

**Геометрические показатели очага абляции и параметры экспозиционной энергии в зависимости от режима воздействия**

Режим работы	Объем, мм <sup>3</sup>	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>	Средняя экспозиционная энергия, Дж	Плотность средней экспозиционной энергии, Дж/мм <sup>3</sup>
Ручная регулировка	4731,16	323,95	23262,50	12,75
Автоматически регулируемый	12215,03	662,25	31870	3,39

Таблица 14

**Средние показатели гистологической оценки очага абляции при различных режимах радиочастотного воздействия**

Режим работы	Относительная площадь коагуляционного повреждения центральной зоны, %	Наибольшая площадь кавернозно-подобной полости, мкм <sup>2</sup>	Относительная площадь поврежденных гепатоцитов в промежуточной зоне, %	Относительная площадь поврежденных гепатоцитов в периферической зоне, %
Ручная регулировка	7,94	1850,37	4,17	1,72
Автоматически регулируемый	2,94	2069,37	2,7	1,63

## Возможные диапазоны оптимальных значений входных и выходных параметров работы РЧ генератора в различных режимах управления при средней мощности воздействия

Режим работы	Т жидкости, °С		Время воздействия, мин		Импеданс, Ом		Сила тока, А		Мощность, W		Т электрода, °С		Т в центре очага, °С		Т на периферии очага, °С	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Средний ручной рег.	8	23	10	15	101,0	463,33	0,15	0,72	8,50	41,50	23,83	33,33	40,82	55,18	37,43	44,88
Средний авт.	16	30	10	15	87	165	0,48	0,79	30	43	20	71	30,4	55,1	29,4	47,3

Продолжение таблицы 15

Режим работы	Площадь абляции, см <sup>2</sup>			V, мм <sup>3</sup>	S, мм <sup>2</sup>	Emid, Дж	Ro, Дж/мм <sup>3</sup>	SR, %	Smax, мкм <sup>2</sup>	Smid, %	Sper, %
	Min	Max	Среднее								
Средний ручной рег.	1,71	4,88	3,3	9922,91	623,77	26525,0	4,21	14,66	4100,79	8,63	3,40
Средний авт.	4,49	14,14	9,315	37699,11	1413,72	36900	0,979	3,19	4700,33	2,77	1,06

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании выполненных исследований и проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

1. Использование РЧ генератора в режиме ручного управления целесообразно при среднем режиме мощности, что позволяет получить максимальные значения площади сечения и объема тканей очага абляции с максимальным повреждением тканей как в центре, так и на периферии очага.

2. Для получения максимального возможного в ручном режиме управления объема тканей в 3,3 см<sup>2</sup>, подвергшихся абляции, необходимо регулятор работы мощности генератора установить в среднее положение. Охлаждающая жидкость не должна быть выше комнатной температуры, или ее можно использовать охлажденной до 8 °С. Время воздействия не должно превышать 15 минут.

3. Для получения максимального возможного в автоматическом режиме работы объема тканей в 9,3 см<sup>2</sup>, подвергшихся абляции, необходимо регулятор работы мощности генератора установить в среднее положение. Охлаждающая жидкость должна быть комнатной температуры, или ее можно использовать охлажденной до 16 °С. Время воздействия не должно превышать 15 минут.

4. Использование охлаждающей жидкости температурой 23 °С и времени воздействия в 15 минут в автоматическом режиме управления РЧ генератором позволяет в 3 раза увеличить площадь и объем очага абляции в сравнении с возможными изменениями тканей при аналогичных условиях в режиме ручного управления генератором. При этом абсолютные показатели качественных характеристик очага поражения (Smax) будут сопоставимыми, а относительные показатели (SR, Smid, Sper) останутся в 3,3—4,6 раза больше при ручном режиме управления.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Долгушин Б. И., Косырев В. Ю., Рампрабанант С. // Практическая онкология. — 2007. — Т. 8, № 4. — С. 219—227.
2. Куликовский В. Ф., Набережный Д. И. // Вестник экспериментальной и клинической хирургии. — 2009. — Т. 2, № 1. — С. 51—59.
3. Сергеева О. Н. Радиочастотная абляция при очаговых образованиях печени: Дис. ... канд. мед. наук. — М., 2010.
4. Снугур Г. Л., Смирнов А. В. // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. — 2010. — № 3 (35). — С. 112—115.
5. Федоров В. Д., Вишневский В. А., Кубышкин В. А. и др. // Анналы хирургической гепатологии. — 2005. — Т. 10, № 3. — С. 7—16.
6. Gazelle G. S., Goldberg S. N., Solbiati L., Livraghi T. // Radiology. — 2000. — P. 633—646.
7. Guiu B., Minello A., Cottet V., et al. // Клиническая гастроэнтерология и гепатология. Русское издание. — 2010. — Т. 3, № 6. — P. 320—326.
8. Heavner James E., Boswell Mark V., Racz Gabor B. // Pain Physician. — 2006. — Vol. 9. — P. 135—137.
9. Mulier S., Ni Y., Miao Y., et al. // Eur J Surg Oncol. — 2003. — Vol. 29. — P. 867—878.
10. Stefaan Mulier, Yicheng Ni, Jacques Jamart, et al. // Annals of Surgery. — 2005. — Vol. 242. — P. 158—171.

### Контактная информация

**Спирidonov Евгений Геннадиевич** — к. м. н., асс. кафедры факультетской хирургии с курсом эндоскопии и эндоскопической хирургии ФУВ и с курсом сердечно-сосудистой хирургии ФУВ, Волгоградский государственный медицинский университет, e-mail: seg-s@mail.ru