

ВЕСТНИК

АМТН

АКАДЕМИИ МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК



60 ЛЕТ МКНТ

ЭЛЕКТРОХИРУРГИЧЕСКАЯ
АППАРАТУРА И НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ
К ОБСЛЕДОВАНИЮ ШКОЛЬНИКОВ
С НАРУШЕНИЕМ ОСАНКИ И СКОЛИОЗОМ

МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ

БИОТЕХНОЛОГИЯ И МЕДИЦИНА

АРМЯНСКИЙ ФИЛИАЛ АКАДЕМИИ
МЕДИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

МЕДИЦИНА И ПРАКТИКА

Иркутск

Владивосток

УДК: 615.832.001.57

Ключевые слова: воспаление, альвеолит, лечение, низкочастотный ультразвук, иммуномодуляторы, циклоферон, перфтордекалин.

Электрохирургическая аппаратура и новые технологии
(научно-аналитический обзор)

Белов С.В., Веденков В.Г.
Академия медико-технических наук



С.В. Белов

Сегодня высокочастотные электрохирургические аппараты используются практически во всех операционных отделениях медицинских учреждений. Этот факт свидетельствует о постоянной потребности в данной аппаратуре и необходимости ее обновления и совершенствования.

В общей хирургии, эндоскопической хирургии, нейрохирургии, онкологии, гинекологии и др. незаменимым инструментом являются традиционные высокочастотные аппараты для рассечения и коагуляции мягких тканей. В качестве примера лидирующей группы аппаратов можно назвать импортные модели: Valleylab, Bowie, Erbe, Martin, Soring и др., а среди отечественных - аппараты научно-производственной компании ФОТЕК, аппараты Московского Технического Университета Связи и Информатики (МТУСИ), СибНИИЦМТ. Характерной особенностью для этого класса аппаратов является хорошая коагуляция с адекватным гемостазом. Однако, в силу особенностей механизма взаимодействия высокочастотных токов с биологическими тканями, относительно низкая рабочая частота аппаратов (300 кГц – 500 кГц), не позволяет обеспечить гладкий разрез с минимальным термическим некрозом оперируемых тканей. Кроме того, для указанного диапазона рабочей частоты характерно наличие непредсказуемых путей токов растекания, что при больших мощностях также может приводить к внутренним ожогам, повреждениям сосудов и нервных путей.

В последние годы все более широкое применение находит радиоволновая хирургическая техника, которая существенно улучшает качество разреза, уменьшает термодеструкцию и дает возможность рассекать ткани с минимальным содержанием влаги, например кожу и жировые ткани. К таким устройствам относятся, например, аппараты «Surgitron» (рабочая частота 3,8 – 4,0 МГц) производства фирмы Elman, «RS 221» (рабочая частота 2,0 МГц) компании Atmos и др. Среди отечественных разработок следует отметить радиочастотные аппараты компании МТУСИ (рабочая частота 2,64 МГц, мощностью 50 и 150 Вт). В то же время, добиться эффективного гемостаза с помощью этих аппаратов не всегда удается, также из-за



В.Г. Веденков

особенностей механизма взаимодействия радиочастотного излучения с биотканью. Таким образом, для аппаратов, работающих в радиочастотном диапазоне, характерным является эффективное резание с малым побочными повреждениями и слабо выраженный гемостатический эффект. Все рассмотренные выше электрохирургические аппараты можно условно отнести к аппаратам второго поколения, использующих термический механизм взаимодействия высокочастотных токов с биотканями. Оценивая эту группу аппаратов, можно сделать вывод об их широком диапазоне использования, простоте в эксплуатации, низкой стоимости, наличии большого ассортимента рабочих электродов. Что касается сравнения отечественных и зарубежных аппаратов, то в рассмотренном

классе, технические и функциональные параметры зарубежных аналогов в основном превосходят параметры аналогичных отечественных образцов. В то же время соотношение качество/цена для отечественных аппаратов оказывается выше.

Становится очевидным, что дальнейшее развитие электрохирургической аппаратуры требует создания аппаратов нового поколения, дающих новый уровень качества хирургических воздействий. При этом критериями эффективности хирургических воздействий являются:

1. Гладкий разрез ткани без механического давления с минимальной термодеструкцией.
2. Адекватный гемостаз при рассечении и коагуляции тканей с различным кровенаполнением.
3. Высокоэффективная коагуляция в радиоволновом диапазоне рабочей частоты.
4. Минимальный нагрев тканей и отсутствие залипания электродов по сравнению с обычным электрохирургическим аппаратом.

Анализ тенденций развития современной электрохирургической аппаратуры показывает, что появление аппаратов нового поколения в первую очередь основано на разработке новых инновационных технологий. Далее мы рассмотрим наиболее эффективные новые технологии и аппараты с точки зрения практической хирургии.

Технология взрывного механизма воздействия

Технология взрывного механизма составляет концепцию серии электрохирургических аппаратов компании Valleylab (США). Аппараты этой серии генерируют короткие высокочастотные импульсы высокого напряжения, обеспечивающие взрывной механизм взаимодействия высокочастотных токов с биотканями. Данный механизм весьма интересен, поскольку позволяет получать зону глубокого и протяженного рассечения, несмотря на использование в аппаратах относительно низких частот 240 кГц, 390 кГц и 480 кГц. В тоже время, применяемые в аппаратах Valleylab частоты обеспечивают хорошую коагуляцию с мощным гемостазом. Кроме того, новое поколение электрокоагуляторов Valleylab оснащено встроенной компьютерной системой обратной связи Instant Response* («Быстрый отклик»). Основу системы Instant Response* составляет учет быстроменяющегося импеданса тканей в процессе электрохирургического воздействия и сохранение постоянства подаваемой в операционное поле мощности, благодаря подстройке электрических параметров. Клинически это проявляется легкостью начала рассечения и неизменной эффективностью как на тканях с низким сопротивлением (мышцы, внутренние органы), так и при высоком импедансе (жир, апоневроз, старые рубцы, хрящ). По сравнению с коагуляторами других фирм хирург может использовать в 1,5 - 2 раза меньшую мощность, что также повышает безопасность в



Рис.1
Модель «Force-Argon» для общей хирургии



Рис.2

работе. Большой спектр выпускаемых аппаратов и опыт разработок в области электрохирургической аппаратуры, делает компанию «Valleylab» одним из лидеров этого направления. Одна из последних моделей электрохирургического аппарата для общей хирургии с блоком аргоно-плазменного коагулятора показана на рис.1.

Технология аргоно-плазменной коагуляции

Использование в аппаратах коротких импульсов высокого напряжения послужило основанием для разработки технологии аргоно-плазменной коагуляции, которую компания Valleylab успешно внедрила в хирургическую практику более 20 лет назад. В технологии аргоно-плазменной коагуляции активный электрод заменяет струя аргона, ионизированная короткими электрическими импульсами. Эта струя, поддерживаемая в состоянии

тлеющего разряда и является проводником высокочастотного тока к тканям (рис.2). Сейчас эта технология успешно применяется при операциях на паренхиматозных тканях, как в открытой, так и в эндоскопической хирургии.

Технология сочетания импульсно-периодического и локально-плазменного воздействия

Во всех высокочастотных электрохирургических аппаратах второго поколения рассекающий и коагулирующий эффекты достигаются за счет тепла, выделяемого при протекании высокочастотного тока. Пространственная концентрация тока осуществляется за счет использования «активных» электродов, имеющих малую кривизну поверхности (10 см^{-1} и более). Механизмом тепловыделения являются, как правило, джоулевы потери. Кроме того, существует ряд технических проблем, которые заметно осложняют использование аппаратов второго поколения. Первая проблема – это непостоянство плотности мощности энерговыделения на поверхности электрода даже при использовании питающего генератора с нагрузочной характеристикой источника напряжения. Устранение подобного эффекта невозможно методами традиционной стабилизации (например, по напряжению на «горячем» электроде, по току, протекающему через «горячий» электрод, или их нелинейной комбинации). Вторая проблема связана с тем, что электрохирургическое воздействие в ряде случаев сопровождается значительным термическим поражением оперируемых тканей.



Рис.3

Для решения отмеченных технических проблем и обеспечения высокой эффективности хирургических воздействий в Научном центре лазерных материалов и технологий Института общей физики им. А.М.Прохорова РАН разработана новая технология, сочетающая импульсно-периодический и локально-плазменный режимы электрохирургического воздействия. По аналогии с лазерной хирургией, данный режим близок режиму использования лазерного излучения, полученного при модуляции добротности (режим гигантских импульсов).

Реализация подобного режима в высокочастотной электрохирургии позволяет значительно расширить как области ее применения, так и во многих случаях уменьшить травматичность хирургических вмешательств. При большой пиковой мощности энерговыделения в биоткани, за времена короче времени термической релаксации, в последней происходит быстрое вскипание воды и разложение высокомолекулярных составляющих биотканей, а избыточное давление образующихся газов производит разрыв тканей при минимальной коагуляции. При достаточно высокой частоте следования импульсов последние формирует непрерывный разрез и зону коагуляции на заданную глубину. Необходимый уровень коагуляции в импульсном режиме рассекающего достигается либо увеличением частоты следования импульсов тока, либо за счет одновременной подачи на рабочий электрод дополнительного непрерывного высокочастотного тока соответствующей амплитуды. Кроме того, используемый импульсный режим подачи ВЧ-энергии позволяет создавать на рабочем электроде плазменный слой с температурой плазмы, регулируемой в диапазоне $100 - 800^{\circ}\text{C}$. При этом рассечение биологических тканей происходит с минимальной зоной деструкции краев раны, а создаваемый гемостатический эффект позволяет оперировать практически на «сухом» операционном поле с глубиной коагуляции до 5 мм. Рассмотренная технология реализована в аппарате ЭХВЧ-250 «КиК Медимастер» (рис.3)

Технология коблации (холодно-плазменная хирургия)

Принципиально новой хирургической аппаратурой, появившейся на рынке медицинской техники, явились аппараты для высокочастотной холодно плазменной хирургии, использующие принцип коблации.

Термин кобляция (coblation: cold ablation – «холодное разрушение») вошел в медицинскую практику в 1995 году, когда американская компания Arthro Care (США) выпустила первый базовый блок Controller 2000 и разработала семейства электродов для применения в травматологии, ЛОР- и спинальной хирургии. Кобляция основана на способности электрического тока образовывать плазму в растворе электролита при наличии достаточной напряженности электромагнитного поля. Повышенная напряженность в «активной» зоне электрода достигается конструкцией электрода. При работе электрод погружается в солевую среду (NaCl, KCl), после чего включается высокочастотный генератор и ток начинает течь от «+» контактов к «-» через раствор электролита. При увеличении тока в активной зоне электрода начинается формирование плазменного слоя (Рис.4).



Рис.4
А - электрод; Б - граница плазма-ткань; В- слой плазмы.



Рис.5

В состоянии плазмы переходят ионы металла из раствора, в который погружается электрод. Продолжая повышать мощность можно добиться формирования устойчивого плазменного слоя, толщина которого не превышает 0,5-1,5 мм. Энергии ионов плазмы (8 eV) оказывается достаточно для разрушения связей в органических молекулах. Механизм этого разрушения используется в аппаратах «Controler-2000», Coblator II и «Atlas» имеющих успех у специалистов по артроскопии, лор- и нейрохирургии (Рис.5). Пока область применения данной аппаратуры ограничена, однако эта технология имеет большую перспективу в хирургии.

Молекулярно-резонансная хирургия

Эффект резонансного поглощения ЭМП в биотканях

В конце 1960-х годов группой исследователей экспериментально установлено (Шноль 1967, Чернавский 1967, и др.), что в радиоволновом диапазоне наблюдается осцилляционно-резонансное поглощение энергии, обусловленное различными механизмами взаимодействия ЭМП с биологическими структурами [1]. В частности обнаружено, что в растворах актомиозина, актина и миозина происходят колебательные процессы вплоть до частот звукового диапазона. Считается, что возникают конформационные колебания молекул, белка заключающиеся в образовании складок, скручивании или сжатии полипептидных цепей [2]. Но при таких колебаниях белковых цепей на их поверхности должны происходить смещения электрических зарядов, а следовательно, возможно резонансное взаимодействие ЭМП с этими колебаниями.

Другой тип резонансного поглощения энергии ЭМП биологическими структурами в радиочастотной области спектра, наблюдался у ряда биополимеров [3]. При этом обнаружено большое число резонансных линий, шириной от 2 до 100 кГц. Такое поглощение, названное авторами «пьезоэлектрическим резонансом», объясняется механическими свойствами гетерогенной структуры биологической ткани.

Классические резонансные поглощения белковых молекул и ферментов, связанные с их упругими деформациями, наблюдаются в значительно более высокой области частот ($10^{10} - 5 \cdot 10^{10}$ Гц) и выходят за рамки радиочастотного диапазона.

Явление молекулярного резонанса в радиочастотном диапазоне использовано в одной из новых технологий радиоволновой электрохирургии. Локальное воздействие ЭМ-волны на биоткани, используемое в радиочастотной хирургии, как отмечалось выше, вызывает нагрев и резонансное поглощение энергии макромолекулами в радиоволновом диапазоне. Частоты резонансного поглощения можно оценить на основе конформационной теории

макромолекул путем решения уравнения Ланжевена для молекулярного осциллятора в системе с трением [4]. Их диапазон лежит в области от нескольких единиц до нескольких десятков МГц. Поскольку энергетические барьеры, определяющие возможную энергию резонансного поглощения, например для углерод – углеродных связей, составляют величины от 2,0 до 4,0 ккал\моль, то соответственно

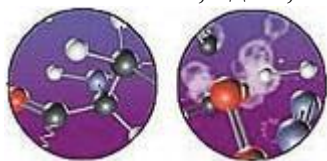


Рис.6

выбранный спектр ЭМ-волны позволяет значительно снизить джоулевы затраты и уменьшить необходимый для резания и коагуляции нагрев. Кроме того, резонансное поглощение энергии способствует катализу процесса денатурации белков при коагуляции. Таким образом при взаимодействии энергии ЭМП с энергией связи макромолекулы, в последней

наблюдается явление конформационного резонанса, сопровождающегося резким возрастанием амплитуды колебания данной связи и приводящее к ее разрыву (Рис.6).

На макроскопическом уровне процесс реализуется в виде разреза ткани.

При этом оказывается, что описанный процесс мало влияет на среднюю кинетическую энергию молекул ткани, и приводит лишь к незначительному увеличению температуры в зоне обрабатываемой ткани.

Молекулярно-резонансные генераторы «Vesalius» (Италия)

Принцип молекулярного резонанса использован в электрохирургических аппаратах «Vesalius», производства компании Telea Electronic Engineering Srl (Италия). Генератор «Vesalius» создает токи, представленные запатентованной комбинацией четырех частот в диапазоне от 4 до 16 МГц, называемой СКС - Сохраняющий Клетки Спектр (CSS - Cell Safety Spectrum). Эта комбинация частот вызывает резонансное поглощение энергии ЭМП отдельными структурами межмолекулярных связей, что в результате приводит к существенному снижению термодеструкции при хирургическом воздействии определенных типов биологических тканей. Молекулярно-резонансный генератор для общей хирургии «Vesalius MC» показан на рис.7.



Рис.7

Генератор «Vesalius MC»

Осцилляционно-резонансные генераторы «РВХ-осциллятор»(Россия)

Другой разновидностью электрохирургических аппаратов, использующих явление молекулярного резонанса, являются осцилляционно-резонансные генераторы, охватывающие более широкий спектр резонансных эффектов взаимодействия электромагнитного излучения с тканям. Принцип работы осцилляционных генераторов основывается на двух физических механизмах. Первый – это традиционный термический механизм. Второй связан с влиянием осцилляционно-резонансного спектра частот (на уровне частот конформационных резонансов биомолекулярных комплексов) генерируемого излучения на результат электрохирургического воздействия. При воздействии такого излучения на ткани в отдельных участках спектра, как отмечалось выше, происходит резонансное поглощение радиоволновой энергии, являющееся причиной возрастания амплитуды колебаний



Рис.8

Генератор АД-300Р

межмолекулярных связей, которое и приводит эти связи к состоянию, близкому к разрушению. Поэтому даже слабое термическое воздействие оказывается достаточным для рассечения и коагуляции ткани. В результате эффективность хирургических воздействий существенно повышается, а температура обрабатываемых тканей исключает карбонизацию. При рассечении тканей в монополярной реализации

используется тепловой и осцилляционно-резонансный механизмы. Коагуляция осуществляется на основе сочетанного воздействия высокоамплитудных низкочастотных

импульсов и осцилляционно-резонансной спектральной составляющей. Осцилляционно-резонансный генератор для общей хирургии АРД-300РХ показан на рис.8.

Итак, имеются теоретические и экспериментальные основания рассматривать эффекты взаимодействия энергии ЭМП с биологическими тканями на молекулярном уровне в самых различных структурных организациях – от макроскопических процессов, в которых участвуют ансамбли молекул (как в конформационных колебаниях молекул белка и в пьезоэлектрическом резонансе) до процессов, связанных с ориентацией ядерных спинов. На основании изложенного можно заключить, что спектр осцилляционно-резонансных частот включает в себя как молекулярно-резонансные эффекты, так и конформационные резонансы на уровне молекулярных ансамблей. Поэтому, использование осцилляционно-резонансного спектра частот в радиоволновых хирургических аппаратах, безусловно, является более адекватным в сравнении со спектром, имеющим несколько выделенных резонансных частот (аппараты для молекулярно-резонансной хирургии). В этом заключается большая универсальность осцилляционно-резонансных генераторов.

ВЫВОДЫ

1. Высокочастотные электрохирургические аппараты используются практически во всех операционных отделениях медицинских учреждений. Этот факт свидетельствует о постоянной потребности в этой аппаратуре, необходимости ее обновления и совершенствования, актуальности внедрения новых технологий.

2. В общей хирургии, эндоскопической хирургии, нейрохирургии, онкологии, гинекологии и др. незаменимым инструментом являются традиционные высокочастотные аппараты для рассечения и коагуляции мягких тканей. К числу таких аппаратов относятся зарубежные модели: Valleylab, Bovie, Erbe, Marting, Soring и др., а среди отечественных - аппараты компании «Фотек». Характерным для этого класса аппаратов является хорошая коагуляция с адекватным гемостазом. Однако, низкая рабочая частота аппаратов (300 кГц – 500 кГц) не позволяет обеспечить гладкий разрез с минимальным термическим некрозом оперируемых тканей.

3. В последнее время все более широкое применение находит радиоволновая хирургическая техника, которая существенно улучшает качество разреза, уменьшает термодеструкцию и дает возможность рассекать ткани с минимальным содержанием влаги, например кожу и жировые ткани. К таким устройствам относятся, например, аппараты «Surgitron» (США), «RS 221» Atmos (Германия) и др. Однако получить адекватный гемостаз с помощью аппаратов, работающих в радиоволновом диапазоне рабочей частоты, не всегда удается из-за особенностей механизма взаимодействия радиоволнового излучения с биотканью.

4. Электрохирургические аппараты нового поколения, обеспечивающие гладкий разрез без механического давления с одной стороны и, эффективную коагуляцию с адекватным гемостазом в радиоволновом диапазоне рабочей частоты с другой, наиболее востребованы. К числу таких аппаратов относятся молекулярно- и осцилляционно-резонансные генераторы, использующие механизм резонансного поглощения энергии ЭМП биологическими тканями.

5. Перспективным направлением инновационных технологий является использование плазменного поля, создаваемого ВЧ- электромагнитным полем. К таким аппаратам отнести устройства «Coblator» (США) и «КиК Медимастер» (Россия).

ЛИТЕРАТУРА.

1. Волькенштейн М.В.// Биофизика, Москва, Наука, 1988.
2. Хохлов А.Р.// Статистическая физика макромолекул, Москва, Изд. МГУ, 1985.