

2 Unidade Eletrocirúrgica de Alta Freqüência (UEAF)

A Eletrocirúrgica é um método moderno que, devido aos avanços científicos e tecnológicos que existem nessa área, possui muitas vantagens quando comparado aos procedimentos utilizando bisturis convencionais. É uma técnica cirúrgica que se realiza nos tecidos moles por meio da aplicação de correntes elétricas de alta freqüência.

O Equipamento Eletrocirúrgico de Alta Freqüência (EEAF), também denominado bisturi eletrônico ou unidade eletrocirúrgica (UEC), é um equipamento que permite a passagem de uma corrente alternada de alta freqüência através dos tecidos corporais. Variando o modo de aplicação deste tipo de corrente, o cirurgião pode utilizá-lo com a finalidade de produzir aquecimento local instantâneo e controlado para obter efeitos específicos de corte e coagulação [3].

Num EEAF, quando a ponta ativa, agindo como um eletrodo entra em contato com o tecido, é produzido um intenso calor intracelular devido à corrente de alta freqüência. O calor produzido volatiliza a célula, e a ponta ativa do bisturi eletrônico é guiada através do tecido, deixando um caminho de destruição celular sob a forma de incisão ou de superfície coagulada. Um segundo eletrodo é utilizado como caminho de retorno ao gerador.

As vantagens do EEAF sobre o bisturi convencional são [4]:

- Maior exatidão da incisão cirúrgica;
- Promoção da coagulação do sangue (hemóstase) resultando na redução de sangramento;
- Possibilidade de efeito simultâneo de corte e coagulação;
- Acesso facilitado a determinados locais cirúrgicos (em endocirurgia ou laparoscopia);
- Destruição de células no local da cirurgia (através do calor), contribuindo para minimizar o risco de disseminação de células anormais;
- Redução do tempo cirúrgico (período sob efeito de anestesia).

2.1. Histórico

O uso de alguma forma de energia no controle ou eliminação de tecidos biológicos como, por exemplo, a utilização de calor térmico para estancar sangramentos, já era usada em 3000 AC. [4]. Uma destas formas primitivas de dispositivo se baseava no uso de uma ferramenta aquecida para tratar hemorragias.

Em 1891, o médico e físico francês Jacques-Arsène d'Arsonval, descobriu que a passagem de corrente alternada de alta frequência maior que 10 kHz pelo corpo humano não produz contração muscular, mas produz calor ao passar pelo tecido [5]. No entanto, foi somente em 1900 que Riviere demonstrou que uma elevada densidade de corrente de radiofrequência aplicada através de um pequeno eletrodo pode produzir altas temperaturas nos tecidos, resultando em efeitos destrutivos. Nesta época, começou-se a utilizar este princípio objetivando a coagulação e cauterização de tecidos [5].

Em 1908, o eletrocoagulador de radiofrequência (RF) foi utilizado para a destruição de tumores do trato urinário. De Forrest desenhou o primeiro oscilador de tubo a vácuo, obtendo uma forma de onda contínua para o corte eficiente de tecidos.

Em 1926, o físico William.T Bovie desenvolveu o primeiro gerador eletrocirúrgico utilizando correntes elétricas de alta frequência, sendo este capaz de efetuar corte e coagulação. O dispositivo foi inicialmente utilizado para cirurgias de câncer de mama, tendo o procedimento também auxiliado para a não disseminação de células malignas. Em seguida, o equipamento passou a ser amplamente utilizado por neurocirurgiões para cirurgias de tumores cerebrais antes considerados inoperáveis [6].

Na década de 70, o desenvolvimento dos transistores permitiu a construção de equipamentos cirúrgicos menores e melhor adaptados aos centros cirúrgicos e ambulatórios[4].

Na década de 80, passou-se a se utilizar energia de RF para endoscopia usada em gastroenterologia e para procedimentos de ablação transcateter para o tratamento de arritmias cardíacas intervencionistas [5].

Em 1990, dois grupos independentes de pesquisadores, um liderado por Rossi e outro liderado por McGahan, introduziram o conceito de ablação guiada por ultrason de câncer hepático, usando um eletrodo de RF em forma de agulha. O método de hipertermia de RF intersticial usado foi similar ao empregado em neurocirurgia. O grupo de Rossi conduziu experimentos *in vivo* de longo e curto prazo, utilizando um eletrodo com termistores na ponta para introduzi-lo no fígado de coelhos. McGahan inseriu um eletrodo nos fígados frescos tirados de cadáveres bovinos. Ambos os grupos demonstraram que as lesões de RF se comportam como necrose asséptica e com um limite claro com o tecido circundante e este teve uma boa correlação com as imagens de ultra-som [5] [7].

2.2. Princípio físico

Conforme já descrito, a eletrocirurgia consiste na execução de um procedimento utilizando correntes de alta frequência para cortar o tecido biológico ou obter hemóstase. A seguir, são apresentados alguns aspectos sobre a corrente elétrica.

A corrente elétrica é regida por um complexo conjunto de leis físicas que determinam o caminho por onde será conduzida, podendo o caminho ser indesejado ou lesivo. [8]

A corrente elétrica (I), cuja unidade do Sistema Internacional de Unidades (SI) é o ampère (A), consiste no fluxo de partículas com carga que se forma entre os dois extremos de um condutor quando entre eles existe uma diferença de potencial. Quanto maior a tensão, cuja unidade do SI é o volt (V), maior será o fluxo da corrente elétrica (I) no circuito. O corpo humano é gerador e condutor de eletricidade, mas é um condutor heterogêneo, onde a massa muscular é melhor condutora que a pele, e a pele é melhor condutora que o tecido gorduroso.

A resistência à corrente elétrica se denomina impedância cuja unidade SI é o ohm (Ω). A impedância depende do conteúdo de água nos tecidos, sendo muito alta em tecidos calosos, moderada em tecidos adiposos, e muito baixa em tecidos vasculares.

Corrente elétrica, tensão e resistência estão relacionadas entre si através da Lei de Ohm, que estabelece a relação fundamental:

$$V = I.R \quad (1)$$

Entre os fatores determinantes da resistência elétrica do corpo humano tem-se a idade, o sexo, as taxas de álcool no sangue, o estado da superfície de contato (umidade), a pressão de contato etc.

A tabela 1 mostra o valor máximo de resistência na pele pode variar desde 100 Ω em membranas mucosas até 1000000 Ω . /cm² em palmas calosas. A pele seca tem uma grande resistência, da ordem de 4 000 Ω para a corrente alternada. No caso da pele úmida, causada por sudorese ou outros fatores, os níveis de resistência podem cair até 2500 Ω , resistência baixa o suficiente para que uma corrente de baixa voltagem atravessasse o organismo, podendo produzir a morte.

Tabela 1 – Resistência elétrica na pele.

Resistência do tecido	Ohm/cm²
Membrana mucosa	100
Áreas vasculares	300 – 10000
Parte anterior do braço e interior da coxa	1200 - 1500
Pele umedecida	1200 – 1500
Suor	2500
Outras zonas da pele	10 000 – 40 000
Planta do pé	100 000 – 200 000
Palma calosa	1 000 000 – 2 000 000

A resistência no interior do corpo em geral é 1 000 vezes menor que da pele. No interior do corpo a resistência é inversamente proporcional à quantidade de água no tecido. Os ossos têm a maior resistência,

seguidos por tendões, gordura, pele, músculos, sangue e nervos. Na tabela 2 pode-se observar a relação de menor e maior.

Tabela 2 – Resistência elétrica nos tecidos.

Resistência Baixa	Resistência Intermédia	Resistência Elevada
Nervos Sangue Mucosas Vísceras	Pele molhada	Tendões Gorduras Ossos

Tensão aplicada: a tensão de contato é definida como sendo a diferença de potencial entre a mão e o pé de uma pessoa quando a mão está em contato com um elemento ou massa sem tensão. Na ausência de contato com elementos isolantes, a tensão de contato aumenta e a passagem de corrente é favorecida. As tensões mais perigosas são acima de 500 V para a corrente contínua e acima de 300 V para a corrente alternada.

A potência é a energia produzida ou consumida pelos elétrons, e sua unidade SI é o watt (W). O produto da corrente e a tensão determinam a potência de uma corrente elétrica.

$$P = I \cos^2(2\pi ft) \quad (2)$$

Na eletrocirurgia, o calor que destrói os tecidos não é produzido pelo contato com um metal aquecido, mas pela conversão de energia elétrica em calor no tecido através do conhecido efeito Joule. A transformação de energia elétrica em calor é regida pela lei de Joule:

$$W = VI \int_0^t \cos^2(2\pi ft) dt \quad (3)$$

Onde:

W = energia elétrica transformada em calor

R= resistência elétrica do tecido

I = intensidade da corrente elétrica

t = tempo durante o qual a corrente circula pelo condutor

Duas propriedades básicas de eletricidade devem ser lembradas:

- A corrente elétrica deve sempre completar um circuito.

- A corrente elétrica percorre o trajeto que oferece menor resistência ao seu fluxo [9].

Quando a corrente elétrica é transmitida através de tecido biológico, três efeitos são observados: os efeitos farádico, eletrolítico e térmico, que serão discutidos a seguir [10].

2.2.1.

Efeito farádico

O efeito farádico ocorre quando uma corrente alternada (AC) de baixa frequência é aplicada ao corpo humano, fazendo com que os íons nos tecidos sejam empurrados para frente e para trás, devido à reversão rápida do fluxo de corrente. Ocorre então uma despolarização da membrana das células, que rapidamente cede, devido à reversão da corrente, e o paciente experimentará atividade neuromuscular tetânica. No efeito farádico ocorre o estímulo de células excitáveis, nervosas e musculares, produzindo uma sensação de dor e/ou contração muscular. Se uma corrente alternada com frequência mais elevada é aplicada, os íons celulares mudam de posição em menor grau, devido à rapidez da despolarização, e, portanto, não ocorrerá excitação neuromuscular (figura 1) [11].

Como os geradores eletrocirúrgicos modernos operam com frequências acima de 300 kHz, habitualmente não se observa efeito farádico [12] [10].

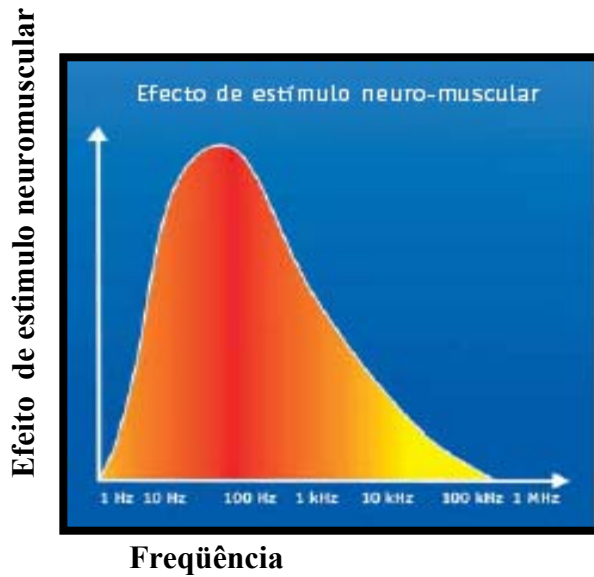


Figura 1- Efeito farádico em função da frequência (fonte: www.sempermed.com)

2.2.2. Efeito eletrolítico

A corrente elétrica é capaz de promover movimentação iônica no tecido biológico (íons eletricamente positivos orientados em direção ao pólo negativo, enquanto que íons negativos tomam a direção oposta, pólo positivo). No entanto, devido à alta frequência da corrente alternada usada em eletrocirurgia, os efeitos eletrolíticos são mínimos. Os íons movem-se rapidamente, tentando alinhar-se com o campo elétrico. A energia cinética liberada resulta em aumento da temperatura dentro do tecido, produzindo o corte eletrocirúrgico [12] [10].

No caso da corrente contínua, os íons positivos se movem em direção aos pólos negativos e os íons negativos aos pólos positivos, causando nos pólos dano tecidual. Por este motivo, a corrente contínua não é apropriada para o uso eletrocirúrgico.

2.2.3. Efeito térmico

Ao passar pelo corpo humano, a corrente elétrica produz calor, queimando o tecido em proporção à resistência específica do tecido, à densidade da corrente e ao tempo de exposição da corrente elétrica.

Quando se aquece um tecido entre 40°C e 45°C por várias horas, ocorre a morte celular por aceleração do metabolismo e conseqüente acidose metabólica. Um aquecimento à temperatura de 50°C por aproximadamente 10 minutos causa a morte celular por desnaturação protéica [12] [13].

Ainda, quando se eleva abruptamente a temperatura acima de 70°C, mas abaixo de 100°C, há rápida coagulação das proteínas celulares, enquanto a água intracelular e a extracelular evaporam lentamente. Essa evaporação consome energia, reduzindo os níveis térmicos no interior do tecido, e a morte celular ocorre por dessecação da célula: este é o efeito que promove a hemóstase.

Quando o aumento da temperatura se faz repentinamente para 100°C ou mais, tanto a água extracelular como a intracelular logo se vaporizam. Isto ocorre quando uma onda de alta freqüência passa através da célula, perdendo parte de sua energia em virtude da impedância do tecido [13].

A tabela 3 mostra, para várias temperaturas, o tempo necessário e os mecanismos responsáveis pelo dano celular quando um eletrodo é colocado em contato com a pele depilada de um animal.

Tabela 3- Efeitos sobre a pele de um animal em função de temperatura. Fonte: (www.cervicolp.com.br)

Temperatura	Mecanismo	Tempo
40°C – 45°C	Aceleração do metabolismo	> 2 horas
50°C	Desnaturação protéica	10 minutos
70°C	Coagulação / Dessecação	< 1 segundo
100°C	Vaporização	milisegundos
200°C	Carbonização	

Quando se aplica a corrente alternada a uma célula, tanto seus cátions como seus ânions oscilam rapidamente no interior do citoplasma e elevam a temperatura da célula. Se a temperatura alcança 70°C - 80°C ocorre a desnaturação das proteínas, iniciando-se o processo de coagulação.

Se a temperatura alcança 90°C, as células perdem seu conteúdo de água, mas conservam sua arquitetura; este processo se chama dessecação. Quando a temperatura alcança ou excede 100°C, ocorre a vaporização explosiva da célula. Finalmente, se a temperatura alcançar 200°C, ocorre o processo de carbonização.

2.3.

Efeitos da corrente no corpo humano

A corrente elétrica ao passar através do corpo humano pode produzir danos como, por exemplo, parada cardíaca, respiratória, queimaduras etc. Para compreender o que ocorre nos tecidos vivos quando são atravessados pela corrente elétrica, segue uma rápida discussão sobre os cinco fatores determinantes que afetam os efeitos dessa passagem de corrente.

2.3.1.

Intensidade de corrente elétrica

A intensidade da corrente elétrica é perceptível mesmo com níveis de 1 mA. Com correntes relativamente baixas, o ser humano já pode sofrer contrações musculares. O limiar da corrente a partir do qual os efeitos ocorrem é função da área de contato, da pressão de contato e de variações individuais. Na prática, todos os homens e quase todas as mulheres e crianças podem soltar-se de correntes de até 6 mA. Com intensidade de 10 mA, observa-se que 98,5 % dos homens, 60 % das mulheres e 7,5 % das crianças conseguem soltar a fonte. Com 20 mA, apenas 7,5 % dos homens e nenhuma mulher ou criança se soltam. Acima de 30 mA, o número de homens que conseguem se soltar é de 0 %. Existe ainda o perigo de fibrilação ventricular quando os níveis se

situam em torno a 45 mA, onde um contato de cinco (5) segundos corresponde a uma probabilidade de 5 % de ocorrer a fibrilação.

Os efeitos biológicos da corrente elétrica de 60 Hz (frequência da rede elétrica brasileira) aplicada a um homem de 70 kg, durante 1 a 3 segundos, são apresentados na tabela 4, [4].

Tabela 4 - Efeitos da corrente de 60 Hz no corpo humano (homem, 70 kg). Fonte: (www.fee.unicamp.br)

Intensidade de corrente	Efeito
<1 mA	Aplicadas no coração, correntes maiores que 10 μ A podem causar fibrilação ventricular
Entre 1 e 10 mA	Limiar de percepção
Entre 10 e 30 mA	Perda de controle motor
Entre 30 e 70 mA	Parada respiratória
Entre 75 e 250 mA	Fibrilação ventricular
Entre 250 mA e 4 A	Contração cardíaca sustentada
> 4 A	Queimadura dos tecidos

2.3.2. Densidade de corrente elétrica

A densidade de corrente elétrica é o fator mais importante na eletrocirurgia. De fato, a elevação de temperatura no tecido é proporcional ao quadrado da densidade de corrente elétrica que o atravessa. Ou seja, para uma mesma intensidade de corrente, os efeitos ocasionados no tecido vão desde efeitos imperceptíveis até queimaduras, dependendo da área de contato da corrente com o corpo (Tabela 5). Assim, tem-se que, embora a aplicação da corrente a um eletrodo em forma de agulha concentre a corrente na ponta, produzindo vaporização e corte no tecido, um eletrodo maior em contato com os tecidos a mesma potência produz coagulação [9].

Tabela 5 - Efeitos teciduais em função da densidade de corrente. Fonte: (www.fee.unicamp.br)

Densidade de corrente	Efeito tecidual
< 10 mA / mm ²	Sem alterações perceptíveis na pele
Entre 10 e 20 mA / mm ²	Avermelhamento na região de contato
Entre 20 e 50 mA / mm ²	Coloração marrom na região de contato. Para t > 10 s, formação de bolhas.
> 50 mA / mm ²	Início da carbonização dos tecidos

2.3.3. Frequência da corrente elétrica

Conforme discutido no item 2.2.1 sobre o efeito farádico, a corrente elétrica de baixa frequência (abaixo de 100 kHz) provoca estimulação neuromuscular, podendo resultar em eletroplessão do paciente. Sendo assim, no procedimento eletrocirúrgico se utiliza correntes elétricas de alta frequência, podendo chegar até 4 MHz. Correntes acima de 4 MHz também devem ser evitadas, porque produzem queimaduras indesejáveis tanto para o paciente, como para o cirurgião. Outro motivo para se evitar frequências acima de 4 MHz é que, devido a capacitâncias e indutâncias parasitas no fio condutor, torna-se arriscado o surgimento de correntes de fuga de alta frequência para objetos condutores próximos. Os bisturis eletrônicos modernos trabalham em uma faixa entre 300 kHz - 4 MHz [12].

2.3.4. Duração da corrente elétrica

A duração da corrente, ou seja, o tempo de exposição ao risco, é um fator importante nos efeitos da passagem de corrente pelo corpo humano. Não se pode falar de valores de intensidade sem relacioná-los com o tempo, pois quanto maior o tempo de exposição, piores são as conseqüências.

2.3.5. Caminho percorrido pela corrente elétrica

O caminho percorrido pela corrente elétrica também é um fator importante nos efeitos da passagem de corrente pelo corpo humano, pois os órgãos são afetados de forma diferentes pela passagem de corrente elétrica. As maiores lesões ocorrem quando as correntes circulam nas seguintes direções:

- Mão esquerda – pé direito
- mão direita – pé esquerdo
- mãos – cabeça
- mão direita – tórax (coração) – mão esquerda
- pé direito – pé esquerdo

No caso de ocorrerem queimaduras, os pontos de entrada e saída podem ser identificados. Estes pontos, onde há carbonização da pele denominada de necrose coagulativa, podem ser usados para estimar o dano causado aos tecidos internos. Os tecidos mais perto da superfície se resfriarão mais rapidamente que os tecidos internos, o que significa que as lesões mais graves ocorrerão internamente.

2.4. Efeitos da corrente elétrica no corpo humano

A seguir são mencionados alguns efeitos adversos que podem ocorrer quando a densidade de corrente é mais alta do que $10 \text{ mA} / \text{mm}^2$ (quadro 1).

Em nível local: Queimadura branco-amarela, endurecida, normalmente de bordos elevados, centro deprimido e indolor. Junto às queimaduras na zona de entrada e saída, estabelece-se uma área de destruição celular ao redor, pouco aparente ao principio (tabela 6).

No percorrido da corrente pelo interior do organismo, se produz destruição muscular com liberação de substâncias capazes de ocasionar, como no caso da mioglobina, trombose vascular, gangrena e falha renal por obstrução das arteriolas dos rins [14]

Podem ocorrer também fraturas devido à própria corrente e aos fortes tremores musculares que estas causam.

Em algumas ocasiões, ocorrem as “queimaduras por arco”, quando a corrente segue pela superfície cutânea, por ser o caminho de menor resistência elétrica. Neste caso, as queimaduras cutâneas serão gravíssimas, porém, não haverá lesões internas, pois a corrente não atravessa o corpo.

Caso a corrente atravesse o coração, pode ocorrer parada cardíaca. O mecanismo principal é a fibrilação ventricular, na qual contrações anárquicas e desorganizadas de numerosas células ventriculares são produzidas ao mesmo tempo. Devido à parada cardíaca ou à fibrilação, a contração global do coração não é efetiva e o sangue não é bombeado. Este efeito ocorre a partir de intensidades de 100 mA para choques de duração superior a 0,15 segundos (20 % da duração total do ciclo cardíaco médio de 0,75 segundos).

Quando a corrente elétrica atravessa o tórax, pode ocorrer asfixia devido a distúrbio da contração dos músculos dos pulmões, parando a respiração.

Conforme já mencionado, podem ocorrer queimaduras internas e externas, dependendo do caminho percorrido pela corrente. Dificuldades respiratórias e queimaduras nos pelos do nariz e da boca podem indicar queimaduras internas nas vias respiratórias e árvore traqueobrônquica, cujo prognóstico não é bom.

Pode ocorrer Tetania com contrações musculares intensas, podendo resultar na perda da capacidade de reação muscular, impedindo a separação voluntária do ponto de contacto.

Mais tardiamente o quadro se caracteriza pela afetação neurológica e renal.

As lesões nervosas podem causar paralisia e contraturas permanentes, diminuição do nível de consciência, coma, e morte por convulsão.

As lesões renais podem causar bloqueio da função urinária e morte.

Tabela 6 – Efeitos adversos causados pela corrente elétrica no corpo humano.

<ul style="list-style-type: none"> • Sistema circulatório 	<p>Coração:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fibrilação ventricular. • Arritmias, incluindo bradiarritmias. <p>Vasos sanguíneos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Obstrução vascular com necrose secundária. <p>Sangue:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hemólise
<ul style="list-style-type: none"> • Sistema respiratório 	<ul style="list-style-type: none"> • Parada respiratória • Edema orofaríngeo que pode ocasionar asfixia • Aspiração pulmonar • Contusão pulmonar
<ul style="list-style-type: none"> • Sistema nervoso 	<p>Central:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perda de conhecimento; desorientação. • Cefaléia persistente • Edema cerebral; convulsões. • Hemorragia cerebral o subaracnóidea <p>Periférico:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lesões medulares • Neuropatia periférica • Distrofia simpática reflexa
<ul style="list-style-type: none"> • Sistema locomotor 	<p>Músculo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Necrose muscular com mioglobulinúria • Síndrome compartimental <p>Ossos:</p> <p>Faturas; luxações; lesões vertebrais</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Sistema digestivo 	<ul style="list-style-type: none"> • Dilatação gástrica; vômitos • Hemorragia digestiva • Úlceras de jejuno e íleo
<ul style="list-style-type: none"> • Sistema urinário 	<ul style="list-style-type: none"> • Necrose tubular renal por mio ou hemoglobinúria

2.5. Efeitos cirúrgicos

Os principais efeitos cirúrgicos são descritos abaixo.

2.5.1. Dessecação eletrocirúrgica

A dessecação eletrocirúrgica é o efeito mais simples porque requer níveis baixos de potência. Consiste em deixar passar uma corrente elétrica pelo tecido, provocando seu aquecimento devido à sua resistência. À medida que o tecido vai se aquecendo, a água vai sendo lentamente eliminada.

A potência usada para dessecar depende da área do eletrodo ativo: quanto maior a área de contato, mais corrente será necessária para produzir a mesma densidade de corrente, e quanto maior a potência, mais rápido ocorre o efeito da dessecação [15] [13].

2.5.2. Coagulação (Fulguração)

A fulguração é recomendável para coagular sangramentos. Para a fulguração, aplicam-se pacotes de energia (alta frequência), provocando centelhamento. Este efeito se gera justamente porque o aquecimento é intermitente, ou seja, no intervalo entre um pulso e outro, a célula perde calor e, desta forma, evita o seccionamento do tecido. Os arcos são longos, dispersando mais calor. (Figura 1).

A coagulação é superficial, formando uma capa marrom clara que impede hemorragia.

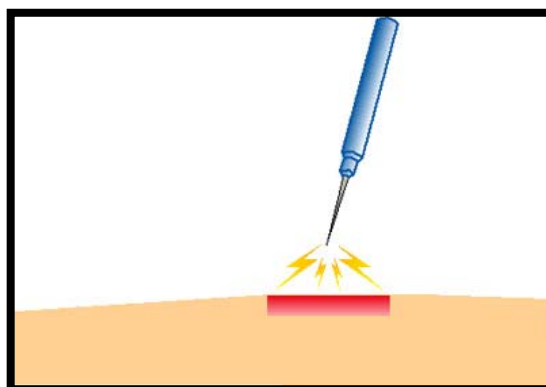


Figura 2 – Efeito de coagulação. Fonte: (www.dee.ufma.br)

Durante a coagulação SOFT (Figura 3) não se produz arcos voltaicos entre o eletrodo de coagulação e o tecido, de forma que o tecido não pode vir a ser carbonizado. Para a coagulação SOFT, recomenda-se a utilização de tensão de alta frequência sem modulação, cujos valores máximos sejam inferiores à tensão que gera arcos voltaicos entre o eletrodo e o tecido. A coagulação SOFT é recomendável em todos os casos em que eletrodos monopolares ou bipolares entrem em contato direto com o tecido a ser coagulado [13].

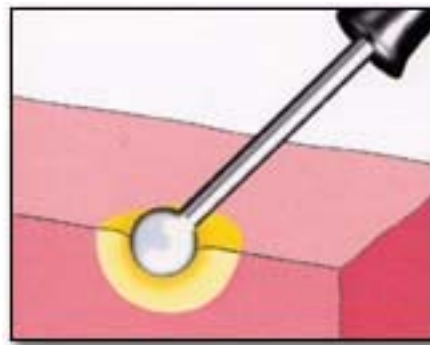


Figura 3 – Coagulação SOFT. Fonte: (<http://www.erbe-med.de>)

Na coagulação FORCED (Figura 4) são utilizados arcos voltaicos entre o eletrodo de coagulação e o tecido, de tal forma que se obtém uma coagulação mais profunda que a coagulação SOFT, especialmente quando se aplicam eletrodos finos ou de superfície reduzida. Neste caso, existe o risco de carbonização do tecido. Para a coagulação FORCED, recomenda-se a utilização de tensão de alta frequência modulada com valores máximos suficientemente elevados para se produzir arcos voltaicos com o comprimento desejado, com intensidades que sejam, com certeza, reduzidas o suficiente para que se evite um possível corte quando este modo de coagulação estiver sendo utilizado. A coagulação FORCED é recomendada apenas nos casos em que se deseja alcançar profundidades de coagulação relativamente grandes com eletrodos finos ou pequenos, ou ainda nos casos em que uma coagulação rápida faz-se necessária [13] [15].

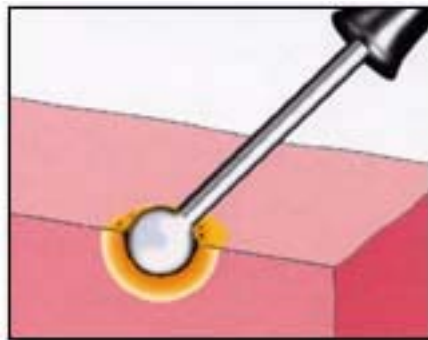


Figura 4 – Coagulação FORCED. Fonte: (<http://www.erbe-med>).

A coagulação SPRAY (Figura 5) é utilizada nas coagulações superficiais, podendo ser utilizada em fluidos de irrigação. Na coagulação SPRAY não ocorre contato entre o tecido e o eletrodo. [16]



Figura 5 – Coagulação SPRAY. Fonte: (<http://www.erbe-med.de>)

2.5.3. Corte eletrocirúrgico

O corte eletrocirúrgico ocorre quando a tensão entre o eletrodo de corte e o tecido é suficientemente alta para produzir arcos voltaicos ou faíscas entre eles (Figura 6). Concentra-se toda a corrente (I) sobre um ponto específico do tecido, obtendo-se a evaporação deste. As temperaturas produzidas nesses pontos são tão elevadas, que as células do tecido explodem devido ao vapor, deixando uma cavidade.

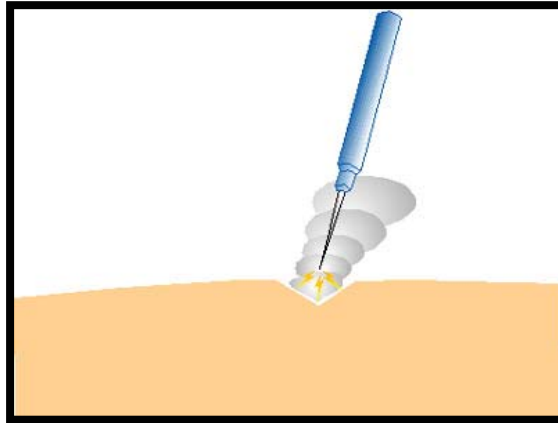


Figura 6 – Efeito de corte cirúrgico. Fonte: (www.dee.ufma.br)

O corte eletrocirúrgico pode ser de dois tipos: corte puro ou corte BLEND (corte misto). No corte puro, não há fulguração (coagulação) e ocorre pouca hemóstase. No corte BLEND, ocorre corte com coagulação, ou seja, corte do tecido somado a um efeito hemostático moderado. As paredes da incisão ficam bem fulguradas, dependendo do tamanho e diâmetro do eletrodo. Os bisturis eletrônicos com função BLEND, geralmente, oferecem em várias opções, sendo que é usual denominá-las pelo uso da palavra BLEND seguida de um índice (BLEND 1, BLEND 2 etc), de tal forma que ocorre mais hemostasia (maior coagulação) para índices mais altos [17].

No próximo item serão discutidas as formas de onda para alguns efeitos cirúrgicos (coagulação e corte).

2.6.

Formas de onda utilizadas para cada efeito cirúrgico

Todos os equipamentos de eletrocirurgia de alta frequência geram uma onda oscilatória conhecida como onda senoidal. Existem duas formas de onda senoidal utilizadas: onda senoidal amortecida (modulada) e a onda senoidal pura (contínua).

A onda senoidal amortecida ocorre em grupos de oscilações, a primeira oscilação do grupo apresenta a amplitude máxima, seguida de pequenos pacotes de onda (Figuras 7 e 8). A onda senoidal amortecida provoca um aumento gradual de temperatura, permitindo a evaporação

dos fluidos intra e extracelulares, produzindo o efeito de coagulação. Quando a onda é mais amortecida (Figura 7), maiores são os efeitos de coagulação e de destruição do tecido (detenção de hemorragia).

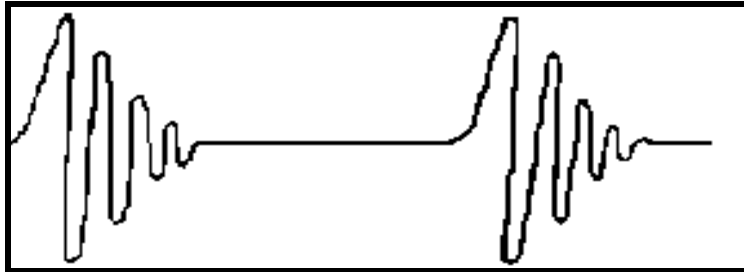


Figura 7 – Onda altamente amortecida - a utilização deste tipo de onda resulta em hemóstases mais intensas, causando também maior dano ao tecido e detenção de hemorragia. Fonte: (www.gruposaludgtz.org)

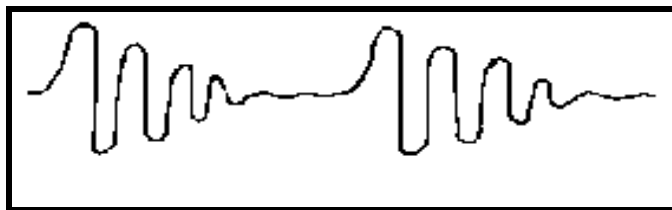


Figura 8 – Resultados dos testes qualitativos Onda moderadamente amortecida - a utilização deste tipo de onda resulta em hemóstases moderadas, com menor dano ao tecido. Fonte: (www.gruposaludgtz.org)

A quantificação da forma de onda para coagulação é determinada pela grandeza Fator de Pico - FP (*Crest Factor*), que é a relação entre a tensão de pico (V_p) e o valor eficaz (V_{rms}) da onda. Quanto maior o FP, maior a quantidade de coagulação [13][15].

Uma onda senoidal não amortecida, denominada onda senoidal pura, apresenta-se uniforme, mantendo a mesma amplitude em todas as oscilações (Figura 9). Uma onda senoidal pura produz um efeito no tecido altamente focalizado, causando a separação dos tecidos com muito pouca coagulação (efeito corte).

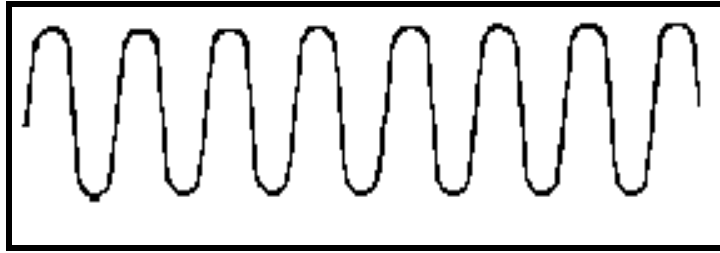


Figura 9 – Onda senoidal pura, a utilização deste tipo de onda resulta em corte, mas não provoca hemóstases, gera dano mínimo ao tecido. Fonte: (www.gruposaludgtz.org)

A onda senoidal mista é a forma de onda utilizada para provocar o efeito BLEND. A forma de onda mista consiste em uma mistura de onda senoidal pura e onda senoidal amortecida (Figura 10). Essa mistura permite simultaneamente cortar e provocar hemóstase.

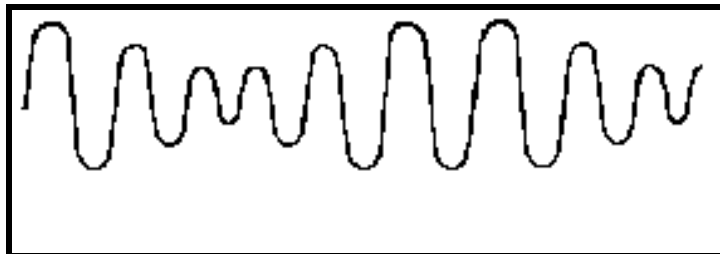


Figura 10 – Onda senoidal mista: a utilização deste tipo de onda resulta em hemóstases suaves e dano variável ao tecido, ou seja, efeito de corte com coagulação. Fonte: (www.gruposaludgtz.org)

A Figura 11 mostra um exemplo de forma de onda para cinco (5) efeitos cirúrgicos: corte puro, BLEND 1, BLEND 2, BLEND 3 e coagulação. A tensão permanece ligada todo o tempo apenas para a função corte puro. Para as funções BLEND, a amplitude da onda aumenta à medida que o índice aumenta. Por outro lado, os pacotes de onda têm duração menor e estão mais espaçados entre si para índices mais altos de BLEND. A função coagulação tem a amplitude mais alta e a duração do pacote de energia mais curta.

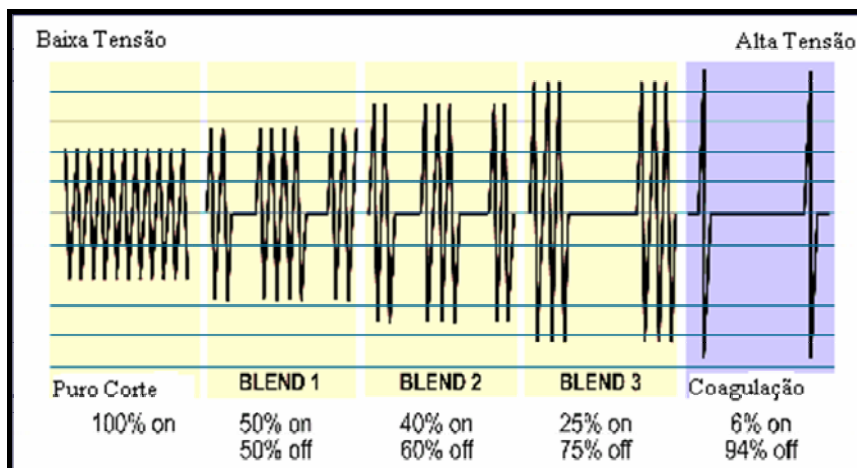


Figura 11 – Exemplo de formas de onda para corte puro, BLEND 1, BLEND 2, BLEND 3 e coagulação. Fonte: (www.dee.ufma.br)

2.7. Técnicas eletrocirúrgicas

Existem duas técnicas diferentes de eletrocirurgia de alta frequência que se distinguem pelo caminho por onde segue a corrente elétrica: a técnica monopolar e a técnica bipolar.

2.7.1. Técnica eletrocirúrgica monopolar

Na técnica da eletrocirurgia monopolar, o tecido cortado e/ou coagulado faz parte de um circuito elétrico que inclui: um gerador de RF, um amplificador, cabos e eletrodos (Fig. 12). O cirurgião utiliza um eletrodo ativo, seja de corte ou de coagulação, para conduzir a corrente ao local da cirurgia. A corrente de alta frequência flui através do tecido a ser seccionado ou coagulado, e volta a sair do mesmo através de um eletrodo de dispersão (placa de retorno que tem uma superfície grande e geralmente colocada em local afastado do local da cirurgia) e pelo cabo de retorno (Figura 12).

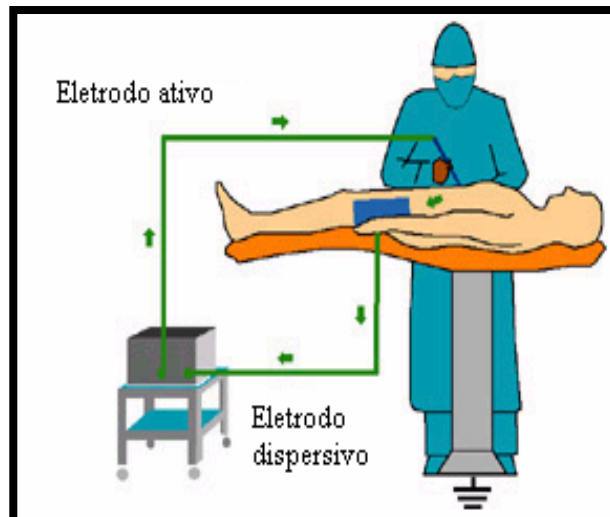


Figura 12 – Eletrocirurgia monopolar. Fonte: (www.dee.ufma.br)

O efeito térmico é produzido pela resistência do corpo à passagem da corrente e pela densidade de corrente. Segundo a lei de Joule, que determina que o aumento de temperatura no tecido seja proporcional ao quadrado da densidade de corrente I , a temperatura do tecido em torno do eletrodo ativo de pequena superfície aumenta muito mais rapidamente do que ao redor da placa com maior superfície, posicionada em contato com o paciente. A densidade de corrente, cuja unidade SI é Ampere por centímetro quadrado (A/cm^2), se define como a corrente I por unidade de área através da qual flui a corrente.

2.7.2. Técnica eletrocirúrgica bipolar

Na técnica de eletrocirurgia bipolar, o cirurgião utiliza dois eletrodos iguais (geralmente iguais a uma pinça ou a uma tesoura), que formam um só instrumento bipolar (Figura 13).

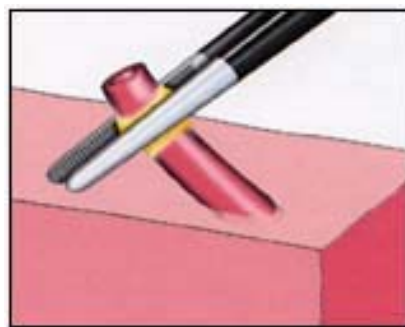


Figura 13 – Coagulação Bipolar. Fonte: (<http://www.erbe-med>)

A eletrocirurgia bipolar é utilizada apenas para pequenos volumes de tecido na região vizinha dos eletrodos e não requer eletrodo de dispersão ou placa de retorno (figura 14). A potência elétrica envolvida é muito menor do que na técnica monopolar. A corrente de alta frequência só circula através do tecido localizado entre os braços da pinça (figura 13). Por este motivo, o perigo de queimaduras no paciente durante a operação bipolar é muito reduzido. Além disso, o perigo de que outros aparelhos eletrônicos conectados simultaneamente ao paciente (eletrocardiógrafo, marca passo etc.) sofram perturbação devido à corrente de alta frequência é muito pouco provável.

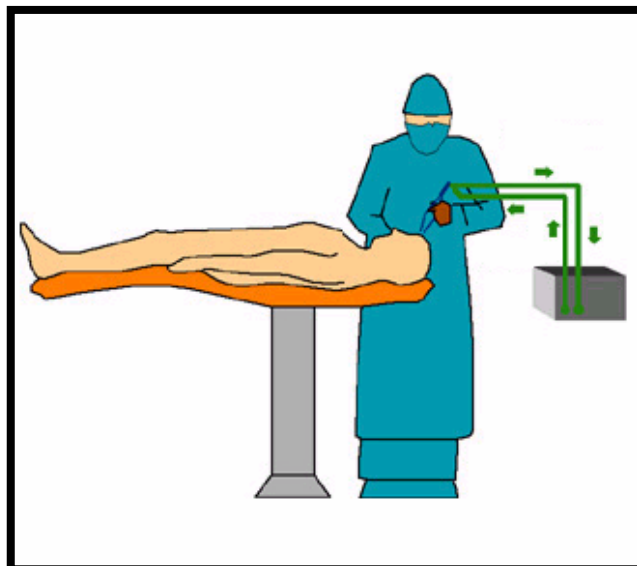


Figura 14 – Eletrocirurgia Bipolar. Fonte: (www.dee.ufma.br)