

Principi di elettrochirurgia in endoscopia digestiva

■ L'Elettrochirurgia è l'applicazione di corrente elettrica alternata ad alta frequenza su tessuto biologico con effetto termico teso ad ottenere una incisione oppure una coagulazione. Si utilizza in configurazione bipolare o (quasi sempre) monopolare. L'effetto è legato a tipo di elettrodo ed area di contatto, a velocità di movimento dell'elettrodo, alle caratteristiche del tessuto. Il taglio è dovuto alla comparsa di un arco elettrico con differenza di potenziale di almeno 200 V tra elettrodo attivo e tessuto. La coagulazione avviene per atrofia ed essiccazione dei tessuti quando il riscaldamento degli stessi è sufficientemente lento. La regolazione dei parametri necessari ad ottenere in elettrochirurgia gli effetti desiderati può essere manuale o automatica (intelligente: ENDOCUT).

■ The Electrosurgery is the application of high frequency alternating current with thermal effect on biological tissue, aimed at obtaining an incision or coagulation. Bipolar and monopolar configuration can be used, mainly the monopolar. The effect is related to the type of electrode, contact area, speed of movement of the electrode, the characteristics of the tissue. The cut is due to the appearance of an electric arc with potential difference of 200 V between active electrode and the tissue. The coagulation happens drying the tissues till atrophy when the heating is sufficiently slow. The adjustment of the parameters needed to achieve the desired effects in electrosurgery can be manual or automatic (intelligent: ENDOCUT).

■ Parole chiave: elettrochirurgia, endoscopia digestiva, chirurgia endoscopica

■ Key words: *electrosurgery, gastrointestinal endoscopy, endoscopic surgery*

Alessandro Zambelli

Unità Operativa di gastroenterologia ed Endoscopia Digestiva
Ospedale Maggiore di Crema (CR)

Introduzione

Con il termine Elettrochirurgia si intende l'applicazione di corrente elettrica alternata ad alta frequenza su tessuto biologico con effetto termico teso ad ottenere una incisione oppure una coagulazione. Può anche essere utilizzata per folgorare, essicare o devitalizzare il tessuto. L'elettrochirurgia **NON** è cauterizzazione poiché l'effetto termico non è esogeno, cioè causato da uno strumento a temperatura elevata, ma è endogeno cioè causato dal passaggio della corrente all'interno del tessuto. Il primo elettrobisturi è stato ideato da William T. Bovie che ha lavorato presso l'Harvard University dal 1914 al 1927 mentre il primo intervento chirurgico portato a termine grazie all'utilizzo di un elettrobisturi è stato realizzato da Harvey Cushing il 1° ottobre 1926.

Principi generali

Se la corrente ha una polarità costante è chiamata **corrente continua (DC)** e non ha utilizzo in elettrochirurgia mentre la corrente a polarità alternata è chiamata **corrente alternata (AC)** la cui frequenza è misurata in cicli/secondo o Hertz (Hz). In elettrochirurgia si utilizza

Iniziative Formative

Educazione permanente

corrente alternata con frequenza di almeno 200Khz.

In elettrochirurgia sono importanti i concetti di conduzione elettrica, di intensità della corrente e di potenza elettrica.

La conduzione elettrica in un tessuto biologico è dovuta in prima istanza alla conduttività, di tipo ionico, dei tessuti intracellulari. La transizione da fenomeno elettrico a fenomeno ionico è governata dal processo elettrochimico che avviene a livello dell'interfaccia tra elettrodo ed elettroliti tissutali.

L'intensità della corrente (I) è proporzionale al voltaggio applicato (V) ed inversamente proporzionale alla resistenza del tessuto (R) secondo la legge di Ohm: $I=V/R$.

È la resistenza del tessuto che determina la conversione dell'energia elettrica in energia termica con aumento di temperatura del tessuto trattato (**tabella 1**).

tab. 1: effetti termici rilevanti nei tessuti biologici

Fino a 40°	Nessun danno
Oltre 40°	Iperemia
Oltre 50°	Devitalizzazione
Oltre 70°	Coagulazione
Oltre 100°	Essiccazione
Oltre 200°	Carbonizzazione
Oltre 500°	Vaporizzazione

La potenza elettrica è l'energia applicata nell'unità di tempo (**Watts**). In assenza di conduzione calorica il livello di aumento della temperatura nell'oggetto riscaldato è proporzionale alla potenza applicata ed inversamente proporzionale alla capacità calorica specifica dell'oggetto stesso ed alla sua massa. Un oggetto pesante richiederà quindi un'alta quantità di calore ma se il calore è generato su una sua piccola superficie

l'incremento di temperatura in quella sede sarà molto più rapido che se disperso su tutta la superficie.

È quindi importante la **densità della corrente** cioè la misura della concentrazione della corrente elettrica.

La corrente si dirige ovviamente là dove la resistenza è minore ed in questo punto la **densità della corrente** e quindi la velocità di riscaldamento sarà maggiore.

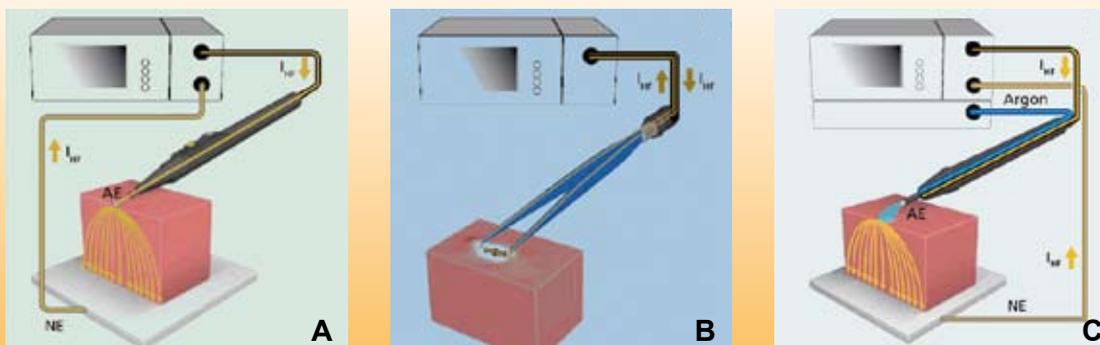
Configurazione degli elettrodi

Tecnica monopolare (**figura 1A**) modalità più utilizzata in elettrochirurgia: l'effetto chirurgico si realizza in corrispondenza dell'elettrodo attivo (dove la densità di corrente è massima) a contatto con il tessuto trattato. Il ritorno della corrente avviene attraverso l'elettrodo neutro (placca) a superficie estesa applicato sulla cute del paziente e collegato al generatore di corrente ad alta frequenza. Quando la corrente esce dalla punta dell'elettrodo attivo e passa attraverso il corpo diminuisce in modo esponenziale la sua intensità (ricorda la legge di Ohm!!) per cui il riscaldamento resta localizzato al punto di applicazione dell'elettrodo attivo.

Tecnica **bipolare** (**figura 1B**): il passaggio della corrente avviene tra i due elettrodi simili presenti nello stesso strumento elettrochirurgico e l'energia è quindi applicata al paziente unicamente nel tessuto trattato. L'esempio più tipico è quello di una pinza in cui una valva è connessa ad un polo del generatore di corrente e l'altra valva all'altro polo. Quando un frammento di tessuto è preso dalla pinza la corrente elettrica fluisce da una valva all'altra "riscaldando" il tessuto preso. La modalità bipolare non necessita dell'impiego di elettrodo neutro (placca).

Tecnica Coagulazione Argon Plasma APC (**figura 1C**) modalità monopolare non a contatto dove la corrente viene trasmessa tra l'elettrodo attivo e l'elettrodo neutro attraverso il plasma del gas argon che conduce elettricità.

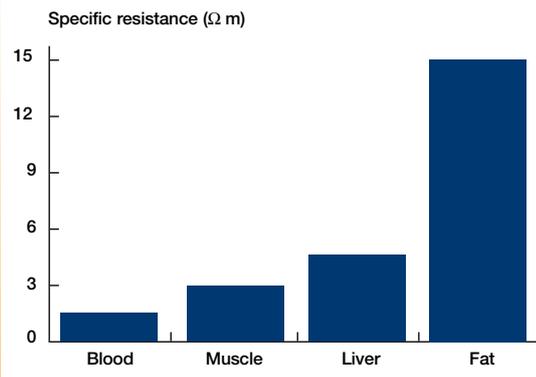
fig. 1: elettrochirurgia monopolare (A), bipolare (B), con argon plasma (C) (1)



Fattori che influenzano l'effetto elettrochirurgico:

- **Tipo di elettrodo ed area di contatto**
 Più piccolo è l'elettrodo e più piccola l'area di contatto maggiore e più rapido è l'effetto
- **Velocità di esecuzione di un taglio o di uno spostamento dell'elettrodo**
 Minore è la durata del contatto minore è l'effetto sul tessuto
- **Caratteristiche del tessuto**
 La resistenza del tessuto è inversamente proporzionale al suo contenuto in acqua che varia ovviamente nei vari tipi di tessuto (figura 2).

fig. 2: resistenza specifica di vari tessuti



Da: C. Gabriel, A. Peyman, E.H. Grant.
 Electrical conductivity of tissue at frequencies below 1 Hz.
 Physics in Medicine and Biology, 2009; Band 54, S. 4863-4878.

Elettrochirurgia

Il taglio

Il taglio è dovuto alla comparsa di un arco elettrico tra elettrodo attivo e tessuto.

Perché l'arco si attivi occorre che si realizzi una differenza di potenziale di almeno 200 V tra elettrodo e tessuto in relazione quindi alla potenza applicata ed alla resistenza del tessuto. Ciò determina l'immediata vaporizzazione dell'acqua intra ed extracellulare con frattura cellulare e quindi incisione. La forma e la grandezza del taglio dipendono dalla forma e dalla grandezza dell'elettrodo attivo. L'alta temperatura determina anche una "ustione" dei margini di taglio (e quindi la coagulazione).

La profondità della coagulazione dei margini deve essere adeguata alla dimensione dei vasi in essa contenuti ed è direttamente proporzionale al diametro dell'elettrodo, al voltaggio ed alla intensità dell'arco elettrico. È invece inversamente proporzionale alla velocità dell'incisione.

Con una punta fine, con voltaggio relativamente basso e con alta velocità di taglio avremo una incisione netta a tipo bisturi con un minimo effetto di coagulazione. Con una punta spessa, con voltaggio alto e bassa velocità di taglio avremo una incisione con alta coagulazione dei margini.

Le fasi del taglio:

• Pre cutting phase

- Per iniziare il taglio deve partire l'arco elettrico cioè si deve ottenere una differenza di Voltaggio tra elettrodo e tessuto pari ad almeno 200V, l'arco dipende dalla relazione tra superficie da trattare, resistenza del tessuto e voltaggio utilizzato. Se il voltaggio è basso si deve aumentare la resistenza premendo meccanicamente con l'elettrodo (rischio di sezione meccanica veloce).
- Se il voltaggio è alto e resta alto l'arco si accende ma l'incisione è di difficile controllo.

Oppure si usa un generatore di corrente ad alta frequenza (HF) che controlli automaticamente questa fase liberando una forte corrente di picco e riportando la potenza a valori costanti ma tarati sulla resistenza ed impedenza dei tessuti (elettrobisturi "intelligente").

• Incision Phase

- Se l'incisione è troppo rapida, rischio di sanguinamento.
- Se l'incisione è troppo lenta, rischio di eccessiva coagulazione (danno dei tessuti circostanti fino alla perforazione e alla pancreatite nella sfinterotomia).
- Soluzione: brevi, rapidi ed intensi "colpi" di taglio.

Oppure si usa un generatore di corrente ad alta frequenza che automaticamente crei il frazionamento e l'alternanza del processo di taglio-coagulo (elettrobisturi "intelligente").

• End phase of incision

- Non appena si interrompe il taglio si sviluppa un nuovo arco elettrico di intensità più o meno alta ma comunque in grado di distruggere l'elettrodo.

Oppure si usa un generatore di corrente ad alta frequenza che automaticamente riduca la potenza della corrente all'elettrodo minimizzando il rischio di distruzione dello stesso (elettrobisturi "intelligente").

Da quanto esposto si comprende come la regolazione della fase di taglio possa essere estremamente complessa ma sono oggi disponibili elettrobisturi che monitorizzano in continuo la corrente, il voltaggio, la potenza, la resistenza del tessuto e rendono costante l'effetto desiderato modificando automaticamente i parametri necessari.

L'emostasi tramite coagulazione

Quando il riscaldamento del tessuto avviene in modo sufficientemente lento le proteine del tessuto ed il sangue che sta fluendo coagulano. Il tessuto si atrofizza e si essicca per l'evaporazione dei fluidi, il sangue coagulato occlude il vaso sanguigno ed il sanguinamento cessa.

La coagulazione può avvenire per contatto o senza contatto (per folgorazione/Spray Coag o con Argon Plasma). Con alto voltaggio la coagulazione è più rapida ma può determinare la formazione di arco elettrico (taglio) o carbonizzazione (perforazione) e comunque maggiore adesione tra elettrodo e tessuto. Con basso voltaggio la coagulazione è più lenta ma altrettanto efficace e con moderata adesione dei tessuti.

Nella coagulazione non a contatto viene usato un voltaggio di migliaia di Volts quindi si crea un arco elettrico che distribuendosi su una larga superficie non determina incisione ed è efficace su un sanguinamento diffuso, a nappo.

L'emostasi con pinza può essere sia monopolare che bipolare (più selettiva ed efficace).

Sono oggi disponibili in Italia diversi tipi di elettrobisturi dedicati all'endoscopia digestiva e tra questi i più diffusi sono certamente quelli dotati di **controllo "intelligente ed automatico" dei parametri di setting** che consente una reale riproducibilità degli effetti di taglio e coagulo e soprattutto dotati di un sistema di taglio pulsato variamente alternato a coagulazione (ENDO CUT - ERBE).

La modalità di taglio frazionato ENDO CUT è caratterizzata da alternanza di cicli di taglio e coagulazione.

Ciò consente di eseguire un taglio controllato con sufficiente emostasi durante tutto il processo di taglio.

ENDO CUT è una procedura chirurgica ad alta frequenza (AF) unipolare, con un ciclo di taglio basato su due fasi, seguito da un ciclo di coagulazione:

• Ciclo di taglio

- **Fase iniziale di preincisione.** Il ciclo di taglio comincia sempre con una breve fase in cui si riscalda il tessuto situato nelle immediate vicinanze del filo di taglio in modo endogeno fino a 100 °C entro pochi decimi di secondo, per cui prima della fase di taglio vera e propria viene già raggiunta una coagulazione (emostasi) del tessuto.
- **Fase di taglio.** L'inizio della fase di taglio è caratterizzata dalla formazione di un arco voltaico tra il tessuto e l'elettrodo attivo. L'arco voltaico insorge

ad una tensione di AF > 200V, appena si crea una piccola distanza tra il filo di taglio e il tessuto indotta da una evaporazione di liquido del tessuto. Per un taglio controllato è vantaggioso che l'insorgere dell'arco voltaico sia rilevato automaticamente, in maniera che sia garantita una estensione e una qualità del taglio riproducibili. Nella modalità di taglio ENDO CUT la fase di taglio viene regolata automaticamente tramite il riconoscimento dell'arco voltaico.

• Ciclo di coagulazione

Il ciclo di coagulazione prepara il tessuto per il successivo ciclo di taglio, al fine di garantire l'emostasi prima che avvenga il taglio successivo.

- L'**intensità** della coagulazione, il cosiddetto effetto della coagulazione, può essere variata con ENDO CUT su differenti livelli.
- La **durata** del ciclo di coagulazione può essere variata nel senso di una regolazione fine. A questo riguardo occorre osservare che la coagulazione viene influenzata in misura determinante dall'effetto impostato e meno dalla sua durata.

Nella serie di elettrobisturi di nuova generazione ERBE VIO, ENDO CUT si differenzia in:

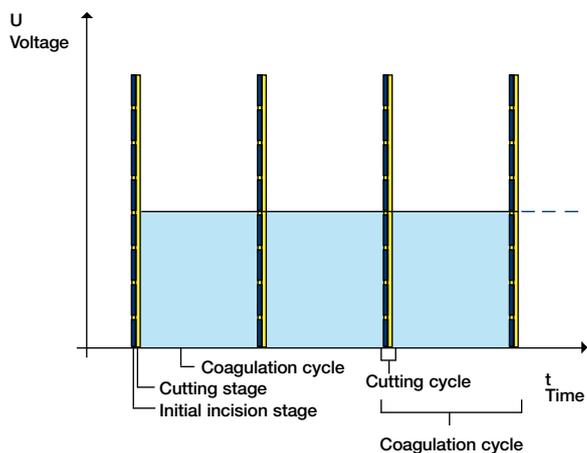
• ENDO CUT Q, dedicato alla polipectomia:

- **Livelli di effetto.** A seconda della grandezza, forma e localizzazione del polipo, sono necessari differenti Effetti di coagulazione per una polipectomia con sanguinamento il più possibile ridotto e contemporaneamente un rischio di perforazione minimo. L'intensità della coagulazione può essere impostata con l'aiuto del parametro "Effetto" mediante quattro differenti livelli.
- **Durata del taglio.** A seconda della grandezza, forma e localizzazione di polipi e altre lesioni, può essere vantaggioso poter variare la durata del taglio. L'estensione del taglio dipende in misura determinante dalla durata dello stesso e può essere regolata su quattro livelli.
- **Intervallo di taglio.** La regolazione della durata dell'intervallo di taglio serve per il controllo del taglio frazionato. Un intervallo breve favorisce una resezione rapida, un intervallo lungo un taglio lento e controllato. Mediante il parametro "intervallo di taglio" la durata del ciclo di coagulazione può essere allungata individualmente su 10 livelli. Al riguardo occorre osservare che con l'intervallo di taglio è possibile influenzare la coagulazione, è vero, ma l'intensità della coagulazione dipende in misura determinante dal livello di Effetto scelto.

• **ENDO CUT I**, dedicato alla sfinterotomia. Un circuito di sicurezza garantisce una incisione sicura della papilla indipendentemente dalla resistenza elettrica opposta dal tessuto. Ciò riduce il pericolo di una incisione ritardata e conseguentemente il rischio di un danneggiamento termico accidentale della regione papillare. Anche in endocut I esiste la regolazione dell'effetto, della durata e dell'intervallo di taglio (**figura 3**).

Nel tabella sottostante propongo alcuni settaggi degli elettrobisturi ERBE ICC 200 e VIO da me identificati con la collaborazione di ERBE e dei produttori di accessori per elettrochirurgia. Non costituiscono una indicazione poiché ogni utilizzatore dovrà autonomamente decidere quali settaggi utilizzare per il particolare paziente e per la particolare procedura da eseguire ma possono essere una base di partenza per la personalizzazione dei parametri (**tabella 2**).

fig. 3: raffigurazione grafica di ENDO CUT (1)



tab. 2: settaggi degli elettrobisturi ERBE ICC 200 e VIO

		ICC 200	VIO
Polipectomia		Effetto 3 120 Watt (200 Watt per polipi >2 cm) T-on 50 ms t-off 750 ms	<i>Endocut</i> Effetto 3 - Durata 1 - Intervallo 4-6 (4-1-4 se da coagulare con maggiore efficacia per minor tempo) Precoagulare se grande peduncolo 1-1- 4 se polipo tra 5 ed 8 mm e/o parete molto sottile
Sfinterotomia	biliare	Effetto 2 120 Watt	<i>Endocut</i> Effetto 2 - Durata 3 - Intervallo 3
	pancreatica	T-on 50 ms T off 450 -750 ms	<i>Endocut</i> Effetto 1 - Durata 3 - Intervallo 3
Precut		Effetto 2 120 Watt T-on 50 ms T-off 450 ms	<i>Endocut</i> Effetto 1 - Durata 3 - Intervallo 3 Swift coag. 30W eff. 3-5
Emostasi		Forced con coagulatori a punta tonda 60W Soft con coagulatore a pinza o bipolare 60W	Forced con strumenti a punta eff. 2 30W Soft con coagulatore a pinza o bipolare eff. 4 20-30W
Mucosectomia/ESD	marcatura	Soft 60 W – Forced 30 W	Forced 30n W eff.2, APC Pulsed Eff.2, 20 W
	incisione	Endocut 80-120 W eff 3	<i>Endocut I</i> Effetto 2 - Durata 3 - Intervallo 3
	dissezione	Endocut 50 W eff 3/Forced 30 W	Swift coag 30 W eff 3 - 5
	coagulazione	Forced 30W con punta Soft con pinza 30 W	Forced 20-30 W con punta, Soft 20-30 W con pinza

Propongo infine un glossario dei principali termini utilizzati in elettrochirurgia:

Glossario

- **Arco Elettrico:** scarica elettrica in forma di flash (spark)
- **Argon Plasma Coagulation APC:** coagulazione monopolare senza contatto diretto con il tessuto. Il gas argon conduce la corrente al tessuto attraverso la formazione di un plasma ionizzato
- **Carbonizzazione:** carbonizzazione di tessuto biologico
- **Coagulazione:**
 - a) denaturazione delle proteine
 - b) effetto della chirurgia HF per il quale le proteine del tessuto coagulano ed il tessuto si atrofizza
- **Coagulazione spray:** coagulazione monopolare non a contatto. Effetto coagulativo superficiale ottenuto attraverso picchi di corrente ad alto voltaggio
- **Coagulazione Forced:** coagulazione monopolare a voltaggio superiore a 200 V. Veloce ed efficace media penetrazione in profondità. Discreto effetto di carbonizzazione. Possibile adesione del tessuto all'elettrodo. Possibile anche in modalità bipolare
- **Coagulazione Soft:** coagulazione monopolare a voltaggio inferiore a 200 V. Coagulazione molto dolce priva di carbonizzazione e con elevata capacità di penetrazione, con minima adesione del tessuto all'elettrodo. Possibile anche in modalità bipolare
- **Coagulazione Swift:** coagulazione monopolare veloce ed efficace con pronunciato effetto emostatico e componente di dissezione. Non eccessiva penetrazione, ideale per la dissezione ed efficace anche per la resezione con ansa
- **Densità della corrente:** flusso di corrente per superficie. Più alta è la densità di corrente maggiore è il riscaldamento del tessuto
- **Devitalizzazione:** morte del tessuto biologici
- **Elettrochirurgia bipolare:** procedura elettrochirurgica nella quale entrambe gli elettrodi (attivo e neutro) sono integrati nello strumento
- **Elettrochirurgia monopolare:** procedura elettrochirurgica nella quale l'elettrodo attivo è situato nella zona di tessuto da trattare ed il circuito elettrico è chiuso dalla piastra posizionata sulla cute del paziente
- **Elettrodo attivo:** parte dello strumentario elettrochirurgico che trasmette la corrente elettrochirurgica alla porzione di tessuto del paziente che si intende trattare
- **Essiccamento:** rapida deidratazione cellulare e quindi coagulazione cellulare dovuta al contatto diretto dell'elettrodo con il tessuto
- **Folgorazione:** coagulazione monopolare (Spray Coag) "non a contatto" con formazione di arco elettrico nell'aria
- **HF (High Frequency):** in ambito di elettrochirurgia (standard IEC 60601-2-2) è una frequenza di almeno 200 kHz
- **Necrosi:** morte cellulare patologica
- **Piastra:** in elettrochirurgia è l'elettrodo posizionato sulla cute del paziente utilizzando corrente monopolare, è deputata a ricevere la corrente elettrochirurgica di ritorno dall'elettrodo attivo in modo da chiudere il circuito elettrico. Sinonimo: elettrodo neutro
- **Potenza:** energia al secondo; la potenza elettrica è direttamente proporzionale alla corrente ed al voltaggio e si esprime in Watt
- **Spark:** breve arco elettrico
- **Resistenza del tessuto:** dipende fondamentalmente dal contenuto di grasso e acqua ma è anche in relazione con la composizione chimica, la densità ed il contenuto elettrolitico
- **Taglio:** rapido riscaldamento del tessuto che provoca ebollizione dei liquidi intracellulari fino alla rottura della membrana cellulare. Effetto di taglio pulito con poca emostasi
- **Ustione:** arrossamento o bruciatura della cute del paziente dovuta ad un elevato calore generato da una eccessiva intensità di corrente sulla superficie cutanea o in strati più profondi del derma
- **Vaporizzazione:** effettiva trasformazione in vapore del tessuto trattato

Corrispondenza

Alessandro Zambelli
U.O. di Gastroenterologia
ed Endoscopia Digestiva
Ospedale Maggiore
Largo Ugo Dossena, 2 - 26013 Crema (CR)
Tel. + 39 0373 280320
Fax + 39 0373 280654
e.mail: a.zambelli@hcrema.it

Bibliografia essenziale

1. ERBE Principles of electrosurgery. Marketing Booklet by ERBE Elektromedizin GmbH Waldhoernlestraße 17 72072 Tuebingen Germany
2. ERBE Use of Electrosurgery with Practical tips Marketing Booklet by ERBE Elektromedizin GmbH Waldhoernlestraße 17 72072 Tuebingen Germany
3. Electrosurgery Can Med Assoc J. 1932 November;27(5):580. PMID:PMC536514
4. Hainer BL, Fundamentals of electrosurgery. Journal of the American Board of Family Practice. 1991;4(6):419-26.
5. Bouchier G, The fundamentals of electrosurgery. High frequency current generators. Cah Prothese, 1980 Jan;8(29):95-106.
6. Mc Cauley, Genard (2003) Understanding Electrosurgery. Bovie Aaron Medical.