مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية
المجلد ٤ - العدد ٣ من ٢٩ إلى ٤٦

ذي القعدة ١٤٠١هـ
ايلول ١٩٨١م

الجراحة الكهربائية

Elektrochirurgie

المهندس
محمد سمير طليمات

١ : لمحة تاريخية :

في قديم الزمان استخدم الحديد المتوهج كأداة جراحية للأم الجروح . المبدأ نفسه طُوِّر في العصور الحديثة الى ما سمي بالكاوي Thermokauter أو حارق باكيلين Paquelin scher-Brehns حيث كان يحمى قلم من البلاتين في شعلة حتى يتوهج ويصل لدرجة حرارة تسمى درجة الابيضاض .

في عام ١٨٥٠ ظهر ما يسمى بالكاوي الغلفاوي Galvaho Kaustik حيث كانت تتم التحمية بواسطة تيار مستمر من (١٠) الى (٢٠) أمبير .

أسس وبدايات استخدام تيار الترددات العالية للأغراض الجراحية Hochfreq uenz-chirurgie كانت في عام ١٨٩٠ و١٩٠٨ وذلك من خلال أبحاث العالمين تسلا Tesla ونرنست Nernst وتجرياتهما عن آثار التيار المتناوب المهيجة للأعصاب .

اعتباراً من عام ١٩٠٠ استعمل التردد العالي Hachfrequenz جراحياً . في البداية في ما يسمى بالتبريق Fulguration ثم في ما عرف بالتجفيف Elektrodesikkatin . الترددات العالية استخدمت أيضاً كوسيلة لتحطيم النسيج وبالأخص السرطانية . في بادىء الأمر كان مجال الاستخدام محدوداً لكون الترددات الممكن توليدها آنذاك لا تتجاوز (٣) كيلوهرتز[١] ولأن مثل هذه الترددات المنخفضة نسبياً ذات عوارض جانبية تهييجية مسعوية الصفة على النسج .

---

١) هرتز = تردد أو دورة في الثانية (Hz)
كيلو هرتز = ألف هرتز (KHz)
ميغا هرتز = مليون هرتز (MHz)

اعتباراً من عام ١٩٢٥ أصبح بالامكان انتاج مولدات تردد حتى (٧٠) كيلوهرتز وبذلك أصبح مجال التطبيق في الجراحة العصبية مفتوحاً .

من أجل الشراطة الكهربائية Elektrotomie استخدمت في البداية تردد من نوع Löschfun Kensender وقد تأخر استخدام المولدات ذات المصابيح Röher التي كانت معروفة منذ عام ١٩٢٠ حتى عام ١٩٤٥ . في الوقت الحاضر استبدلت المصابيح بانصاف النواقل والترانزستورات .

٢ : المبادىء الفيزيائية للجراحة الكهربائية :

التأثيرات الجراحية المختلفة لتيار التردد العالي تتعلق بمقدار الطاقة الحرارية المعطاة وهذا بدوره يتعلق بالعوامل التالية :

أ) . كثافة التيار Stromdichte : وهذا يعني بالتالي المقاومة النوعية للنسيج وشكل القطب الكهربائي . المقاومة النوعية للنسيج تتعلق بدورها بالتوزيع الهندسي للحقل الكهربائي الناتج عن القطب انظر الشكل (١) .

ب) . مدة التأثير Einwirkdues : وهذا يعني الكيفية والسرعة التي يتم بها تطبيق القطب الفعال Aktive Elektrode .

جـ) . شكل التيار : أي فيما اذا كان التيار يطبق بشكل دائم أو متقطع (على شكل نبضات) حيث تختلف بذلك الحرارة الوسطية المعطاة وهذا يؤثر بدوره على الناقلية الحرارية للنسيج .

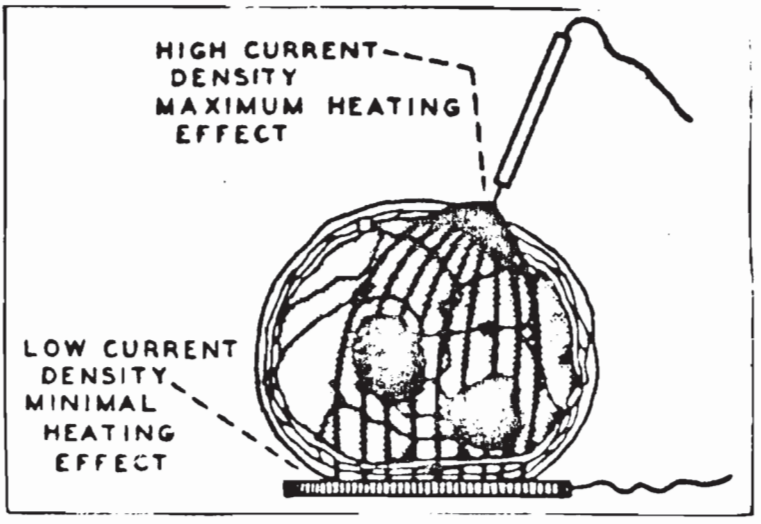
من ناحية اخرى فإن :

د) . حالة النسيج ومدى تموته وتحطمه وما ينتج عن ذلك من اختلاف في الناقلية الحرارية للنسيج تؤثر على آثار التيار .

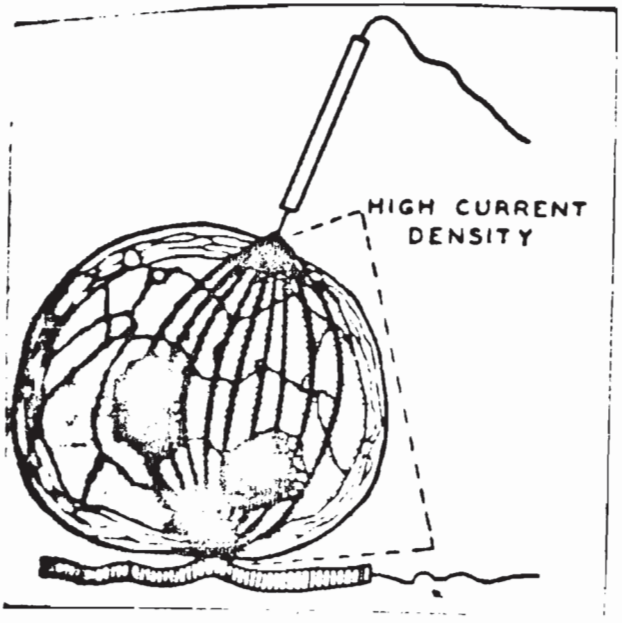
هـ) . درجة الحرارة : حيث أنه اذا وصلت درجة الحرارة في النسيج الى درجة حرارة التبخر للنسيج فيجب اخذ الحرارة الناتجة عن تبخر النسيج بالحسبان واضافتها الى الحرارة المعطاة من الجهاز .

٢ ـ١ : ممانعات النسج المختلفة في جسم الانسان :

في مجال الترددات العالية المستخدمة في الجراحة الكهربائية تسلك النسج تقريباً سلوك مقاومة كهربائية صرفة . مقدار هذه المقاومة يتعلق بنوع النسيج ، فمقاومة النسيج العضلية والنسج جيدة التروية منخفضة نسبياً بينما مقاومة النسج الدهنية أكبر منها بعشرين مرة ،



الشكل (١ ، أ)



الشكل (١ ، ب)

ومقاومة النسج العظمية أكبر بألف مرة . فيما يلي جدول بالمقارنة النوعية لنسج الجسم المختلفة في مجال الترددات من (٣, ٠) وحتى (١) ميغاهرتز .

الدم	العضلات والكلية والقلب	الكبد والطحال	المخ	الرئة	الدهن
٣١٠×٠,١٦	٣١٠×٠,٢	٣١٠×٠,٣	٣١٠×٠,٧	٣١٠×١,	٣١٠×٣,٣
أوم . سم	أوم . سم	أوم . سم	أوم . سم	أوم . سم	أوم . سم

على أن المقاومة الفعلية المطبقة على خرج أداة أو جهاز الجراحة الكهربائية يتعلق أيضاً بالأقطاب المستعملة بشكلها وحجمها ونوعها والغرض والغاية منها . فعلى سبيل المثال تتأرجح مقاومة الأقطاب المستعملة للتخثير Koagulations elektronde من (٥٠) أوم في الأقطاب كبيرة المقطع وحتى (٢٠٠) أوم تقريباً في أقطاب التخثير المستعملة في الجراحة العينية .

٢ ـ ٢ الغردزة[١] Faradisation وتأثير التردد :

بما أن النسج تسلك سلوك ناقل أومي صرف فيما يخص انتشار التردد العالي ، لذلك فان فعالية وآثار هذا التيار تتعلق الى حد كبير بهذا التردد . عملياً فان هناك حد أدنى وحد أقصى للترددات الممكن استعمالها في الجراحة الكهربائية . الحد الأقصى لهذه الترددات ناتج عن معضلات الاشعاع التي تصبح أكثر تعقيداً كلما ارتفعت هذه الترددات .

أما الحد الأدنى فهو (١٠٠) كيلوهرتز . تحت هذا الحدد تسبب التيارات تهييجات ذات طابع سعوي (فارادي) للأعصاب والعضلات .

كما أنه يجدر الاشارة الى أنه برغم الترددات العالية جداً المستخدمة فانه يمكن أن تحدث الغردزة (أو التهييجات الغاراوية) عند الشراطة . السبب هو التأثير التقويمي للفجوة الهوائية التي يتم خلالها انتقال شرارة تيار التردد العالي من القطب الى النسيج . بنتيجة ذلك ينشأ طيف من النبضات التشويشية والقسم الأعظمي من ترددات هذا الطيف ترددات منخفضة .

من أجل تجنب هذه التشويشات يجب احداث نوع من الترشيح Filesung والمرشح يتألف عادة من مكثفة أصغر من (١٠٠٠) بيكو فاراد تربط في دارة الربط الخارجية .

أخيراً فانه لا بد من الاشارة الى أنه عند الشراطة والتخثير في مناطق معينة من الجسم (المثانة مثلاً) يحدث برغم الترشيح تقلصات عضلات مجهولة السبب تماماً ولا يمكن تجنبها وتعود على الأغلب الى تأثيرات تهييجية ذات طابع حراري .

---

١) الغردزة : كلمة مشتقة من اسم العالم فاراداي وتعني التأثير الكهربائي السعوي الضائع

٣ : فنون التطبيق : Applikationsmethodik

٣ ـ ١ : الطريقة أحادية القطب : Monopolare Technik

وهي أكثر الطرق انتشاراً . فيها يكون أحد القطبين (القطب الحيادي) ذو مقطع كبير ويثبت الى جسم المريض ويكون سطح التماس بينهما كبيراً . أما القطب الآخر وهو القطب المستعمل في الحقيقة للغرض الجراحي (القطب الفعال Aktive Elektrode) . من الأهمية بمكان في هذه الطريقة وضع القطب الحيادي وسطح التماس التابع له في المكان والوضع الصحيحين على جسم المريض وذلك حتى يتم تجنب احداث الحروق .

الشكل (٢) يوضح ذلك . الشكل (٣) يبين حالة خاصة من حالات استخدام الطريقة أحادية القطب بدون قطب حيادي Neutrale Elektrede الدارة الكهربائية هنا تغلق نفسها عن طريق السعات الجزئية للجسم مقابل الأرض (نقطة الصفر) .

هذه الحالة الخاصة صالحة فقط في مجال التيارات الصغيرة من أجل العمليات الجراحية الصغيرة (مثلاً في طب الأسنان والجلدية وما شابه) .

٣ ـ ٢ : الطريقة ثنائية القطب : Bipolare Technik

هنا يسري تيار التردد العالي فقط خلال المنطقة (المجال ، النسيج) المراد اجراء العمل الجراحي (شراطة ، تخثير ، تجفيف) فيها أو عليها . قطبي الجهاز كلاهما ينتهيان الى أداة جراحية (ملقط ، مشرط أو مخثر ثنائي القطب) .

الشكل (٤) يبين ذلك . نتيجة ذلك كله يتم تجنب احداث الأضرار في الأنسجة المحيطة بالنسيج المراد اجراء الجراحة عليه (أهمية ذلك واضحة مثلاً في الجراحات العصبية الدقيقة) الطريقة ثنائية القطب تتمتع بالميزات التالية :

أ) انخفاض الاستطاعة اللازمة .

ب) انخفاض الأثر التشويشي على أجهزة القياس المحيطة .

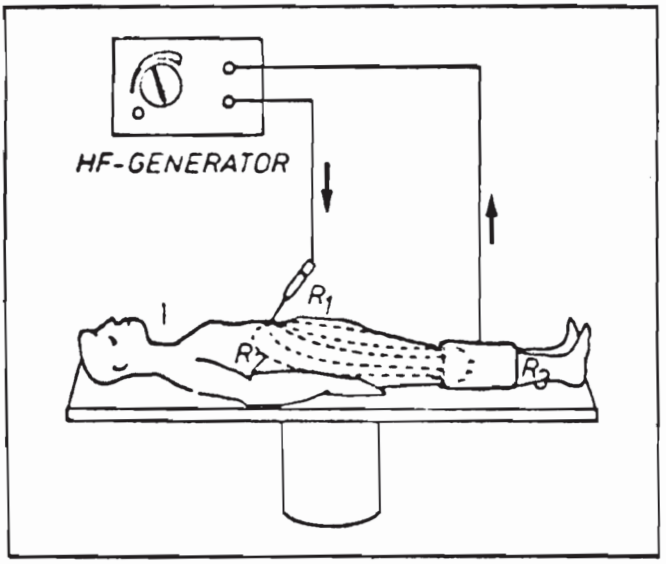
٣ ـ ٣ : آثار التيار وأشكاله : Stromwirkung und Stromform

٣ ـ ٣ ـ ١ : الشراطة أو القص : Elektrotomie

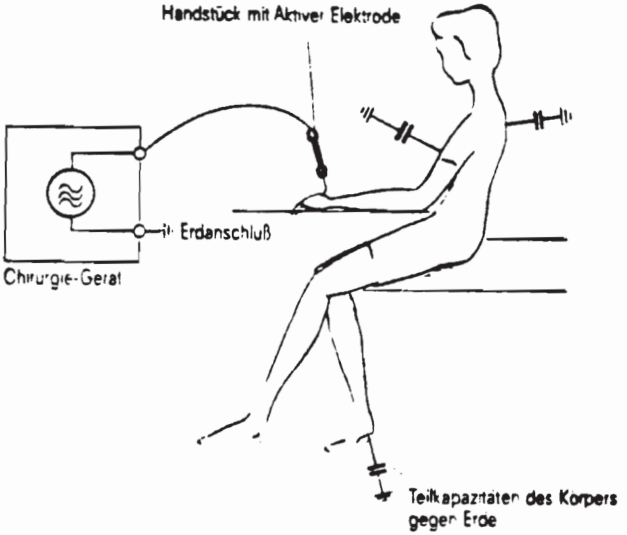
التأثير القصي يستند الى انفجار الخلية بعيد اداة القص . هذا الانفجار الخلوي ناتج بدوره عن الكثافة الحرارية المركزية الناتجة عن كثافة التيار المركزة . الحرارة الناتجة تتناسب طرداً مع مربع كثافة التيار وبذا فان الاستطاعة الحرارية بواحدة الحجم تتخذ الشكل التالي :

$$q(t) \sim \frac{1}{x^4}$$

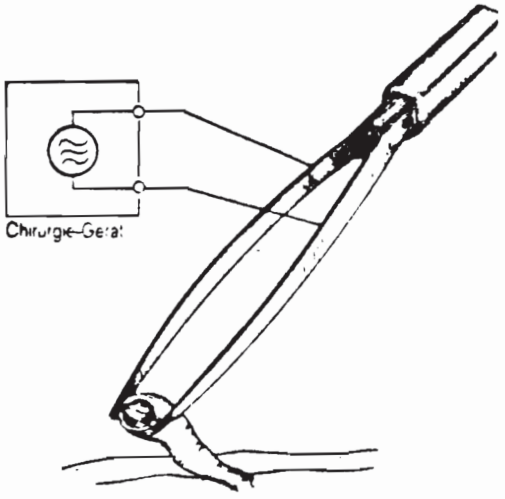
حساب عدد البيانات التامة الأولية ذات زمرة الافتومور فيزمات الاولية غير المتشاكلة (غير ايزمورفية) .



الشـكل (٢)



الشـكل (٣)



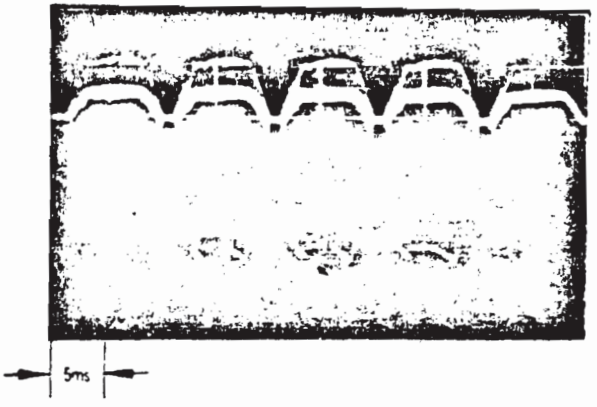
الشـكل (٤)

حيث X بعد النقطة عن مكان القص . لذلك فان المناطـق القريبـة على طرفي خط القص تتخثر سطحياً .

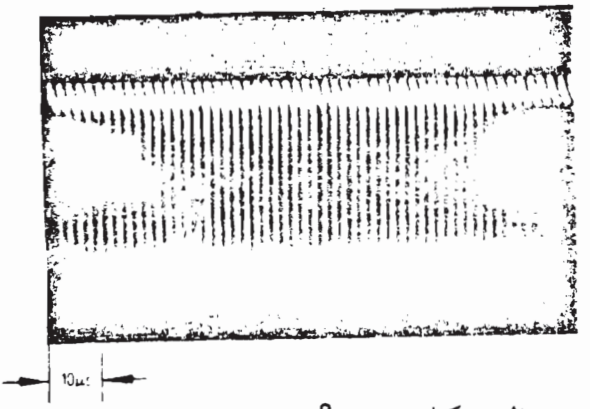
بالاستناد الى آلية التأثير المذكورة آنفاً فلا لزوم لتطبيق أية قوة على القطب الفعال كي يحدث القص .

هناك نوعان للشراطة ؛

أ) الشراطة الناعمة : وفيها يستخدم تيار تردد عالي غير معدل أو معدل تعديلاً مطالياً . تردد التعديل مئة هرتز . انظر الشكلين (٥) و (٦ ـ ا) .



الشـكل (٥)



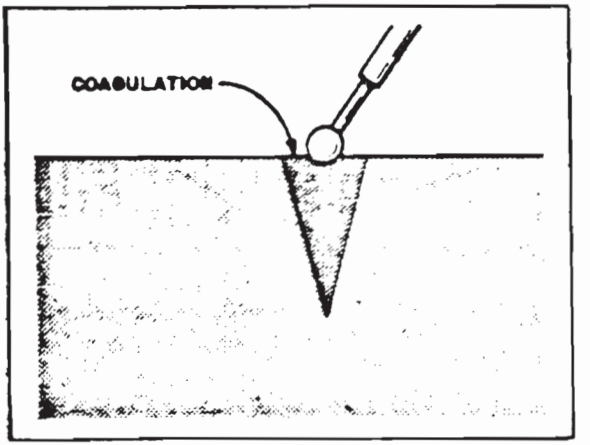
الشـــكل (٦ ـ ب)

ب) الشراطة المشرشرة Veushorften : وفيها يكون تيار التردد العالي أو ذات الهوامش . نبضي التعديل . كل نبضة من النبضات بحد ذاتها تمثل استطاعة لحظية عالية جداً نسبة إلى الاستطاعة الوسطية وهذا يؤ دي الى تخثير سطحي أقوى لجوانب الجرح والى استغلاق الأوعية الدموة الصغيرة وهذا يعني بالنتيجة قص ذو نزيف قليل Blutarmes Schneiden .

الشراطة الناعمة تستخدم من أجل الجراحات الصغيرة السهلة .

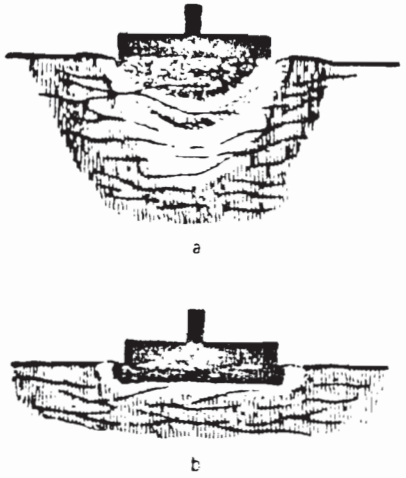
٣ ـ ٣ ـ ٢ : التخثير : Koagulatin

كلمة (تخثير) تتضمن عمليتان من الناحية الجـراحية هما التخثـير العمقـي من ناحية وايقاف النزف من ناحية أخرى . التخثير العمقي يتم بواسطة أقطـاب صفيحية أو كروية (انظر الشكل ٧) تيار التردد العالي المستعمل هنا غير معدل تعديلاً أولياً أو ثانوياً (الشـكل



الشـــكل (٧)

٦ ـ أ) أما مدى وعمق التخثير فيتعلق بكثافة التيار ومدة تطبيقه :
أ) كثافة تيار صغيرة نسبياً ومدة تطبيق طويلة تؤدي الى تخثير ذو عمق (الشكل ٨ ـ أ)
ب) كثافة تيار عالية تؤدي الى تخثير سطحي مع تشكل هامش تفحم يعرقل انتشار الحرارة في الاتجاه العمقي (الشكل ٨ ـ ب) .



الشـــكل (٨) أ و ب

من أجل ايقاف النزيف باغلاق الأوعية الدموية تستخدم ملاقط خاصة لذلك من أجل التوصل الى قطبي جهاز توليد الترددات ونتيجة الأثر الحراري لمرور التيار يتم انغلاق هذه الأوعية . لايقاف النزيف بفضل استعمال تيارات معدلة تعديلاً نبضياً (الشكل ٦ ـ ب) .

الشـــكل (٦ ، ب)

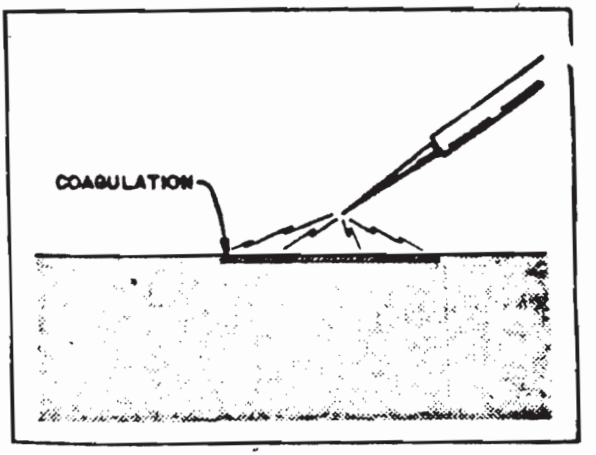
لايقاف النزيف المتسربي Sickerbcutuny أو التضحي يتم استخدام اقطاب سطحية التأثير Flachig وتيار معدل تعديلا نبضياً غير أن مدة النبضات هنا أقصر وقيمة التوتر المطبق أكبر (الشكل ٦ ـ جـ) . القمم العالية للنبضات تؤدي الى انغلاق الأوعية الدموية

الشكل (٦ ، جـ)

الصغيرة ، وبما أن الاستطاعة الوسطية منخفضة نسبياً فانه من الممكن استعمال أقطاب صغيرة دون التخوف من أن هذه الأقطاب يمكن أن تفرز في النسيج .

٣ ـ ٣ ـ ٣ : التبريق Fulguration

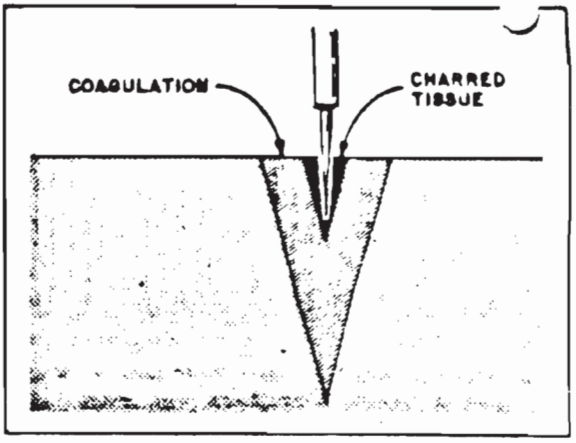
هي حالة خاصة وشكل خاص من أشكال التخثير Koaguletion المقصود بالتبريق هو التخثير السطحي Oberflächige Koagulation من ناحية وازاحة السوائل من النسج Dehydration من ناحية ثانية وذلك عن طريق تطبيق شرارة كهربائية . الأقطاب المستعملة تكون عادة أقطاب ابرية . انظر الشكل (٩) .



الشكل (٩)

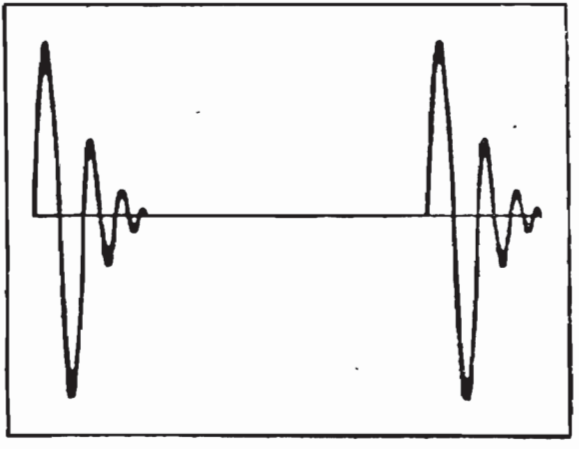
٣ ـ ٣ ـ ٤ : **التجفيف** : Disikkation

الفرق الوحيد بينه وبين التبريق هو عدم السماح للشرارات بالنشوء وذلك بغرز الأقطاب الابرية في النسيج نفسه . قيم التوترات مشابهة للمستعملة في التبريق . انظر (الشكل ١٠) .

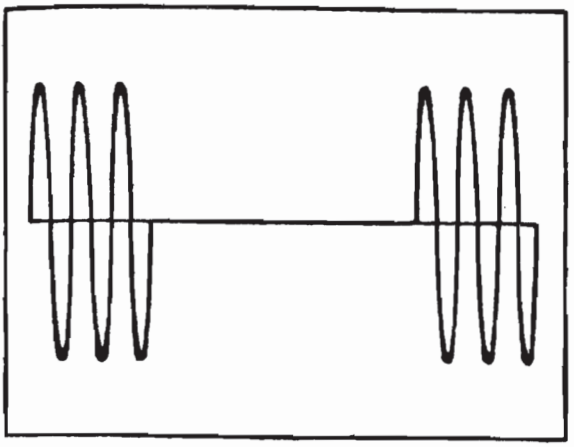


الشـــكل (١٠)

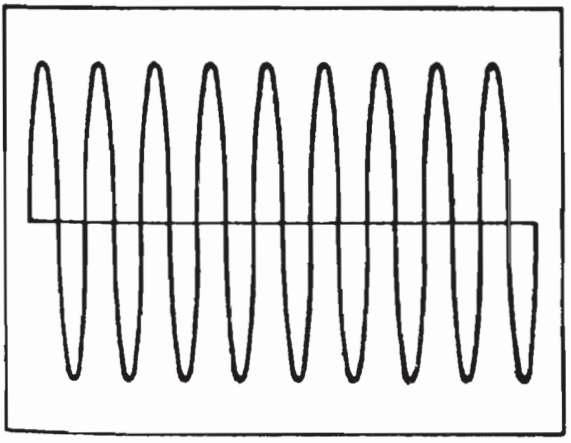
خلاصة القول : لتيار التردد العالي ثلاثة آثار جراحية تطبيقية وهي التخثير والتجفيف والقص . للتجفيف والتخثير تستخدم تيارات ذات تعديل نبضي مع كون النبضات متباعدة Low duty cycle انظر الشكلين (١١) و(١٢) . أما للقص أو الشراطة فتكون التيارات غير معدلة وغير متخامدة (الشكل ١٣) .



الشـكل (١١)

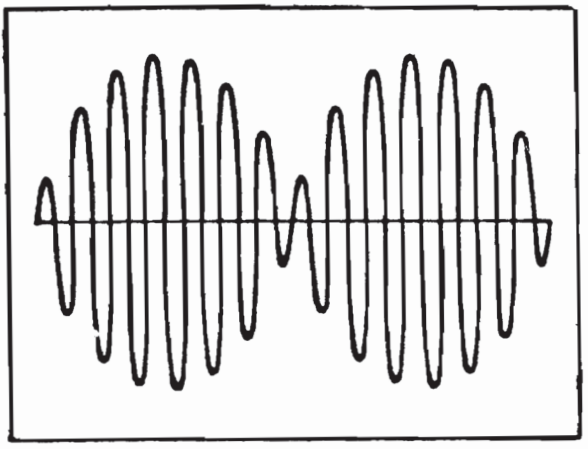


الشـكل (١٢)

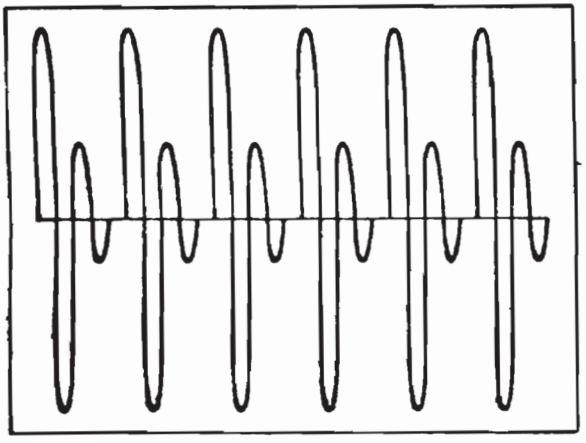


الشـكل (١٣)

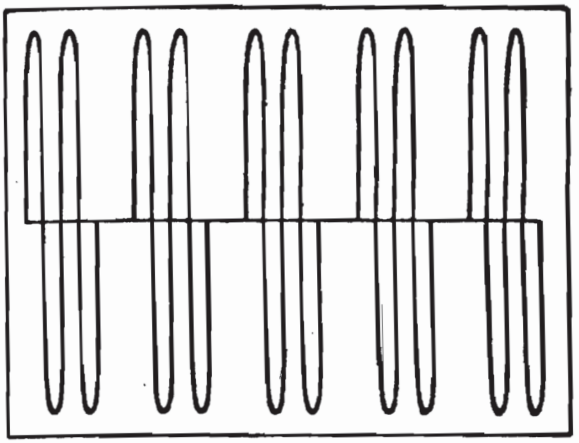
إذا كان المطلوب ايقاف النزيف ايضاً خلال عملية القص او الشراطة فنستخدم عندها (الشكل ١٤) ترددات معدلة تعديلاً نبضياً مع كون النبضات متقاربة (الشـكلان ١٥ و ١٦) .



الشـــكل (١٤)



الشـــكل (١٥)



الشكل (١٦)

٤ : التطبيقات الجراحية : Operations Techniken

٤ ـ ١ : الجراحة العامة: All gemeinc hirurgie

الامكانيات الخاصة التي تقدمها الجراحة الكهربائية بالترددات العالية أدت الى استخدامها وتطبيقها في كافة مجالات الجراحة العامة . الميزات التي تتمتع بها الجراحة الكهربائية في مجال الشراطة أو القص يمكن تعدادها كما يلي :

ا) امكانية اختيار درجة تخثر الدم .

د) اماكانية فصل النسج أو قصه بدون الحاجة لتطبيق اجهادات ميكانيكية .

٣) العقم الكامل المضمون لعملية القص .

٤) انغلاق النسج والفراغات اللمفية ضد المواد السامة والخلايا الغريبة والبكتريات .

٥) تخفيف الآلام اللاحقة للعملية الجراحية Postopenativ . كما هو معروف فإن أسباب هذه الآلام اللاحقة تكمن في كون النسغ العصبية Nervenfasern تبقى طليقة بعد العملية الجراحية بالطريقة التقليدية .

٦) النمو الرد فعلي reaktiv القوي للنسج الضامة Bindegewebe بعد العملية والتروية الدموية فوق العادية hypesâmie .

٤ ـ ٢ : تطبيقات جراحية خاصة :

ا) الجراحة البولية : بواسطة أدوات خاصة فانه بالامكان استئصال الاجسام الغريبة في الاوعية والمجاري البولية (البروستاتا وأورام المثانة) وذلك بدون أي جرح خارجي وبتخدير موضعي فقط(Lumbal ouasthesie) . فيما يلي سرد سريع مختصر للتطبيقات الأخرى :

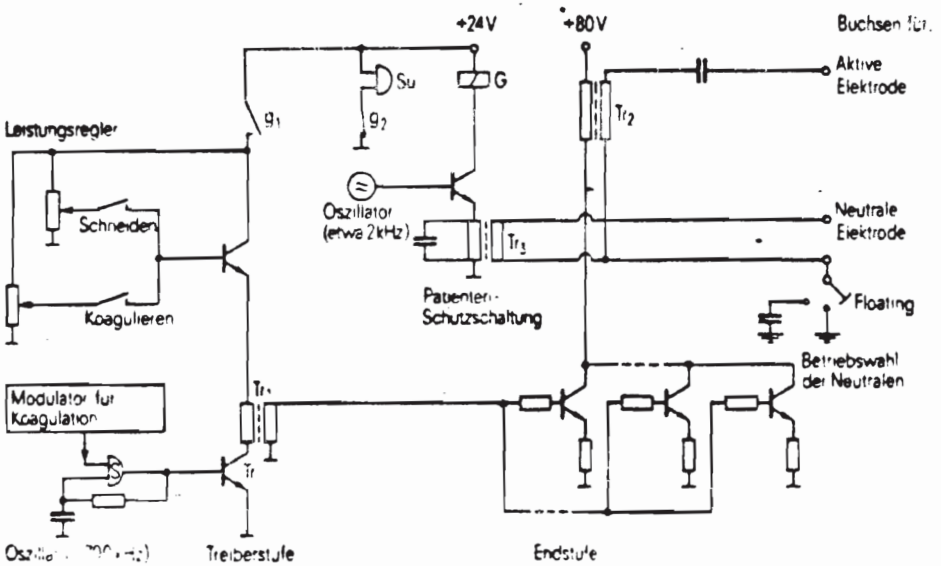
ب) الجراحة العينية . جـ) الجراحة العصبية .

د) جراحة الأطفال وجراحة الأذن والانف والحنجرة السنية .

٥ : المعطيات الفنية لاجهزة الجراحة الكهربائية : Gerätetechnik

يمكن ان تصل استطاعة مولدات التردد العالي المستخدمة في اجراحة الكهربائية حتى (٨٠٠)واط . اما الترددات فتتراوح بين (٤٠,٠) و(٢) ميغاهرتز . الجدول [١] يعطي لمحة عامة عن استطاعات مولدات التردد حسب الوظيفة المناطة بها . هنا تجدر الاشارة الى ان المولدات المذكورة في الجدول يجب ان تكون قادرة أيضاً على اعطاء ١٥٠٪ من الاستطاعات المذكورة في الجدول .

بالاضافة للاجهزة التقليدية التي تستخدم المصابيح الكهربائية Röhie ففي الأسواق في الوقت الحاضر أجهزة تستخدم أنصاف النواقل والترانزستورات وما اليها . مبدأ العمل واحد في كل الحالات . الشكل (١٧) يبين الدارة المبدئية Prntipschaltung لجهاز يستخدم الترانزستورات :



الشكل (١٧)

توترات التشغيل هي (٢٤) فولت للتحكم و(٨٠) فولت من أجل مرحلة الخرج . الهزازُ ذو التردد (٠,٧) ميغاهرتز يتحكم بمرحلة الخرج عن طريق دارة تضخيم Tr والفصل بين المرحلتين يتم عن طريق المحولة Tr1 . أما الهزاز نفسه فهو عبارة عن دارة تكاملية (ic) قائمة بذاتها . بواسطة منظمي الاستطاعة Leistwingsregler يتم اختيار شكل التيار المناسب للغرض المطلوب . ترانزستورات الاستطاعة المربوطة على التوازي في مرحلة الخرج Endstufe تفيد في رفع مردود الجهاز Wirkungsgrad القطب الفعال Aktive El. مربوط الى الدارة الثانوية للمحولة Tr2 . القطب الآخر (الحيادي) مربوط بشكل مزدوج بحيث يمكن اما تاريضه (مباشرة أو سعويا) وما تعويمه Floating . وظيفة دارة الحماية Patienten-Schwtzsechaltung هي عدم السماح للجهاز بالعمل ما لم يفصل القطب الحيادي بشكل صحيح . المحولة Tr3 تقوم بوظيفة العزل في حالة تعويم القطب الحيادي .

فنون جراحية جديدة :

في الآونة الآونة الأخيرة عرفت بعض الفنون الجراحية الجديدة الواعدة والتي يمكن أن تكون في المستقبل القريب عاملاً تكميلياً هاماً في بعض المجالات الخاصة في الجراحة . اهم هذه الفنون : ـ الجراحة بأشعة ليزر Laserchirurgie

ـ الجراحة بالتبريد البليغ Krovhirurgie

٦ ـ١ الجراحة بأشعة ليزر :

يتم تحريض والحصول على أشعة ليزر اما ضوئياً أو كيميائياً أو كهربائياً . يتم تصريف الحرارة الضخمة الناتجة عن الاستطاعة الضائعة في مولد أشعة ليزر بواسطة نظام تبريد خاص . اما شعاع ليزر نفسه فيكون في جو من غاز خاص (الهيدروجين مثلاً) بفرض الوقاية والحماية .

قيادة شعاع ليزر الى الهدف تتم بواسطة قضبان زجاجية عاكسة Vpicgelstange من أجل الموجات أكبر من «٢»ميكرو متر) أو بواسطة تقنية خاصة (Licht fosun) من أجل الموجات الأصغر من «٢»ميكرو متر ، من أجل عملية التصويب يتم الاستعانة بشعاع ضوئي عادي .

آلية التأثير في النسيج هي (حسب المعلومات المتوفرة حتى الآن) حرارية صرفة . مدى ونوع وكيفية التأثير الجراحي يعتمد على : ـ طول الموجة

ـ زمن التأثير

ـ كثافة الاستطاعة

وبذا فتيار التردد العالي وأشعة ليزر من هذه الناحية متشابهان . أما العوامل التي تحد من استعمال اشعة ليزر في الجراحة بشكل واسع فهي عديدة نذكر منها :

- الكلفة العالية
- مسائل الحماية والأمان
- مدى القص محدود بعمق معين
- انعدام الاتصال المباشر بين الجراح والمربص
- محاول الاستخدام في الأوعية الدموية محدود فالأوعية الدموية ذات القطر الأكبر من ملمتر واحد لا يمكن اجراء الجراحة عليها الا بواسطة تيار التردد العالي .

٦ - ٢ : الجراحة بالتبريد البليغ :

وفيها يتم استغلال البرودة الناتجة عن تمدد وتبخر بعض الغازات المعينة مثل الغريون Freon (درجة التبخر - ٦٠°) والهيدروجين (درجة التبخر - ١٩٦) أما آلية التأثير فتعتمد على تخريب الخلية بالبرودة والخلايا المحطمة اما ان نلفظ بشكل طبيعي من الجسم او أن يتم ذلك بأدوات خاصة Kryokathetes مجالات الاستخدام الممكنة هي في الجراحات العينية والبولية وجراحة الحبال الصوتية والجراحة العصبية وفي الجراحات السرطانية بشكل عام (في المعدة والمثانة والحنجرة والفم والنخاع والبشرة) . لايمكن استخدام هذه الطريقة في الأعضاء ذات التروية الدموية الجيدة .