

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 536 298**

51 Int. Cl.:

A61F 9/007 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.09.2011 E 11767552 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015 EP 2621422**

54 Título: **Potencia de RF atenuada para capsulorrexis automatizada**

30 Prioridad:

29.09.2010 US 893149

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

22.05.2015

73 Titular/es:

**ALCON RESEARCH, LTD. (100.0%)
6201 South Freeway
Fort Worth, Texas 76134, US**

72 Inventor/es:

**JIA, GUANGYAO;
SALEHI, AHMAD;
SUSSMAN, GLENN R. y
YADLOWSKY, ANN**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 536 298 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Potencia de RF atenuada para capsulorrexis automatizada.

5 Campo técnico

La presente invención se refiere en general al campo de la cirugía de cataratas y, más particularmente, a aparatos para realizar una capsulorrexis.

10 Antecedentes

Un tratamiento aceptado para las cataratas es la retirada quirúrgica del cristalino y la sustitución de la función del cristalino por una lente intraocular artificial. En los Estados Unidos, la mayoría de los cristalinos cataratosos son retirados por una técnica quirúrgica denominada facoemulsificación. Antes de retirar el cristalino cataratoso, debe hacerse una abertura o rexis en la cápsula anterior. Durante la facoemulsificación hay una gran cantidad de tensión en los bordes cortados de la capsulorrexis anterior mientras se emulsifica el núcleo del cristalino. En consecuencia, un corte o desgarre continuo (rexis), sin "rebabas", es un paso crítico en una intervención de facoemulsificación segura y efectiva.

Si se abre la cápsula con numerosos desgarres capsulares pequeños, las pequeñas rebabas que quedan pueden llevar a desgarres capsulares radiales que pueden extenderse dentro de la cápsula posterior. Tal desgarre radial constituye una complicación, puesto que desestabiliza el cristalino para la retirada adicional de la catarata y la colocación segura de la lente intraocular dentro de la cápsula del cristalino más tarde durante la operación. Además, si se perfora la cápsula posterior, el humor vítreo puede tener entonces acceso a la cámara anterior del ojo. Si sucede esto, el humor vítreo debe ser retirado por una intervención adicional con instrumentos especiales. La pérdida de humor vítreo está asociada también a una tasa incrementada de desprendimiento retinal subsiguiente y/o de infección dentro del ojo. Lo importante es que estas complicaciones son potencialmente cegadoras.

El equipo convencional utilizado para facoemulsificación incluye una pieza de mano ultrasónicamente accionada con una punta de corte aneja. En algunas de estas piezas de mano, la parte operativa es una barra o cuerno resonante hueco centralmente localizado, directamente sujeto a un conjunto de cristales piezoeléctricos. Los cristales suministran una vibración ultrasónica para accionar tanto el cuerno como la punta de corte aneja durante la facoemulsificación.

Muchos de los dispositivos y métodos conocidos utilizados para la intervención de capsulorrexis requieren una gran cantidad de pericia por parte del cirujano a fin de producir una abertura capsular curvilínea continua. Esto es debido a la dificultad extrema del control de la trayectoria de la punta de corte del dispositivo. Por ejemplo, una intervención típica comienza con una incisión capsular hecha con un cistótomo, por ejemplo una punta de corte como se describe anteriormente. Esta incisión es forzada después a adoptar una forma circular u ovalada empujando el borde delantero de la incisión en la cápsula, utilizando el cistótomo como una cuña en vez de usarlo de una manera cortante. Alternativamente, la incisión capsular inicial puede ser desgarrada para darle una forma circular agarrando el borde delantero con un fórceps de calibre fino y haciendo avanzar el corte. Cualquiera de estos enfoques implica una maniobra muy retardadora y el movimiento de desgarre puede llevar a veces a un desgarre indeseable de la cápsula hacia la parte trasera del cristalino, incluso en las manos más experimentadas.

Además, aun cuando se produzca finalmente una abertura capsular lisa sin rebabas, el tamaño y/o la posición de la abertura capsular pueden plantear un problema. Por ejemplo, una abertura capsular que sea demasiado pequeña puede dificultar la retirada segura del núcleo y el córtex del cristalino e impedir la inserción apropiada de la lente intraocular en la cápsula del cristalino. Los esfuerzos adicionales necesarios para realizar la operación con una abertura capsular pequeña o mal colocada ponen el ojo en riesgo de rotura zonular y capsular. Cualquiera de estas complicaciones aumentará probablemente la duración y la complejidad de la operación y puede dar como resultado una pérdida de humor vítreo.

Una abertura continua, apropiadamente posicionada y circular es así altamente deseable debido a que da como resultado: (1) una reducción significativa de desgarres radiales y rebabas dentro de la cápsula anterior; (2) integridad de la cápsula necesaria para el centrado apropiado de una prótesis de cristalino; (3) hidrodisección segura y efectiva; y (4) uso seguro de intervenciones capsulares en pacientes que tengan cápsulas pobremente visualizadas y/o aberturas de pupila pequeñas. Además, la capsulorrexis deberá dimensionarse apropiadamente con respecto al diámetro de la lente intraocular que se implanta a fin de reducir las probabilidades de una catarata secundaria, denominada también opacificación de cápsula posterior, y para uso con diseños propuestos de lente intraocular acomodativa. Por tanto, hay una necesidad continuada de dispositivos mejorados para realizar una capsulorrexis de la cámara anterior.

Se han propuesto diversos métodos y dispositivos para automatizar el proceso de capsulorrexis. Un enfoque se describe en el documento US2011/0118734 A1, solicitud de patente US nº. de serie 12/618.805, presentada el 16 de noviembre de 2009 y titulada "Capsularhexis Device Using Pulsed Electric Fields" (en lo que sigue "la solicitud

'805"). La solicitud '805 describe métodos y aparatos para realizar capsulorrexis utilizando corrientes eléctricas de alta frecuencia aplicadas a la cápsula anterior del cristalino a través de un electrodo unipolar. El dispositivo utiliza campos eléctricos pulsados para realizar la acción de corte – se genera el campo eléctrico pulsado utilizando un electrodo de anillo colocado contra la cápsula anterior del ojo y un electrodo de puesta a tierra localizado en una posición diferente dentro o fuera del ojo. En algunas formas de realización de este sistema, el electrodo de anillo comprende un alambre delgado eléctricamente conductor. Una sección transversal muy pequeña (por ejemplo, menor que alrededor de 0,25 milímetros de diámetro) producirá campos eléctricos de alta intensidad cerca del alambre; estos campos eléctricos disminuirán en intensidad al alejarse más del alambre. Debido a que en este sistema se utiliza un electrodo de puesta a tierra que tiene una sección transversal mucho mayor que el electrodo de corte, los campos eléctricos permanecen atenuados en el electrodo de puesta a tierra, y una alta proporción de la energía de corte disponible se deposita en una región delgada inmediatamente alrededor del alambre del electrodo de corte.

En la publicación de solicitud de patente US nº. 2006/0100617 se describe otro sistema. Esta publicación describe un dispositivo de capsulorrexis que comprende un anillo circular flexible hecho de un elastómero o un material acrílico o termoplástico. Incrustado dentro de cada una de las diversas formas de realización de este anillo flexible se encuentra un elemento de calentamiento por resistencia o un par de electrodos bipolares que se energizan según técnicas conocidas para producir un calentamiento localizado en la cápsula anterior, para definir un límite debilitado para una separación fácil de la parte de la cápsula dentro del anillo circular. Se han propuesto otros diversos dispositivos, muchos de los cuales dependen de elementos de cauterio de calentamiento resistivo, tales como los de la patente US nº 6.066.138, expedida el 23 de mayo de 2000; la patente US nº 4.481.948, expedida el 13 de noviembre de 1984; y la publicación WIPO nº WO 2006/109290 A2, publicada el 19 de octubre de 2006.

El estado de la técnica se ejemplifica también por el documento EP-0.506.618-A.

Sumario

La presente invención proporciona un aparato de capsulorrexis de acuerdo con las reivindicaciones siguientes.

Un aparato de capsulorrexis incluye una sonda de capsulorrexis configurada para su inserción en un ojo a través de una incisión y un generador de impulsos configurado para suministrar por lo menos un impulso de radiofrecuencia (RF) a la sonda de capsulorrexis. El impulso de RF suministrado tiene un perfil de atenuación predeterminado de tal manera que el nivel de potencia del impulso de RF suministrado se atenúe sustancialmente a lo largo de la duración del impulso de RF. En algunas formas de realización, el generador de impulsos está configurado para suministrar una serie de dos o más impulsos de RF al ojo, de tal manera que la energía de cada uno de los impulsos segundo y siguientes de la serie se atenúe sustancialmente con respecto a su predecesor.

En algunas formas de realización, el perfil de atenuación predeterminado es tal que el nivel de potencia del impulso de RF suministrado se reduce en por lo menos una mitad a lo largo de la duración del impulso de RF. En estas y otras formas de realización, el perfil de atenuación predeterminado puede diseñarse para asegurar que el impulso de RF suministrado inicie una nucleación de burbujas en el ojo, sin coalescencia o sobrecalentamiento excesivos de la cápsula del cristalino más allá del área dianizada. En varias formas de realización, se suministran una serie de dos o más impulsos de RF al ojo, de tal manera que la energía de cada uno de los impulsos segundo y siguientes de la serie se atenúe sustancialmente con respecto a su predecesor. En algunas de estas formas de realización, la amplitud de cada uno de los impulsos segundo y siguientes de la serie se atenúa sustancialmente con respecto a la amplitud del impulso inmediatamente precedente. En otras formas de realización, la amplitud de cada uno de los impulsos segundo y siguientes es sustancialmente la misma que la amplitud del primer impulso de la serie, pero la longitud de cada uno de los impulsos segundo y siguientes de la serie es sustancialmente más corta que la longitud del impulso inmediatamente anterior.

Se describen métodos que implican el uso de perfiles de atenuación intrainpulsos en los que se atenúa la potencia del impulso a lo largo de la duración del impulso, o perfiles de atenuación intrainpulsos en los que la energía de cada uno de una serie de impulsos se atenúa con respecto a su predecesor. En algunas formas de realización, se utilizan ambas técnicas. En consecuencia, un ejemplo de método para realizar capsulorrexis comienza con la inserción de una sonda de capsulorrexis en la cámara anterior de un ojo y el posicionamiento de la parte de corte de la sonda de capsulorrexis en contacto con la cápsula anterior del cristalino del ojo. Por lo menos un impulso de radiofrecuencia (RF) se suministra entonces al ojo, a través de la sonda de capsulorrexis, según un perfil de atenuación predeterminado. Este perfil es tal que el nivel de potencia del impulso de RF suministrado se atenúa sustancialmente a lo largo de la duración del impulso de RF.

Otro ejemplo de método comienza también con la inserción de una sonda de capsulorrexis en la cámara anterior de un ojo y el posicionamiento de la parte de corte de la sonda de capsulorrexis en contacto con la cápsula anterior del cristalino del ojo. Se suministra entonces al ojo una serie de dos o más impulsos de radiofrecuencia (RF) a través de la sonda de capsulorrexis, de tal manera que la energía de cada uno de los impulsos segundo y siguientes de la serie se atenúa sustancialmente con respecto a su predecesor. Este uso de un perfil de atenuación interimpulsos puede combinarse con el uso de perfiles de atenuación intrainpulsos en algunas formas de realización.

Un aparato de capsulorrexis para implementar las técnicas inventivas aquí descritas incluye, en algunas formas de realización, una sonda de capsulorrexis configurada para su inserción en un ojo a través de una incisión y un generador de impulsos eléctricamente conectado a la sonda de capsulorrexis. El generador de impulsos está configurado para suministrar por lo menos un impulso de radiofrecuencia (RF) a la sonda de capsulorrexis, de tal manera que el impulso de RF suministrado tenga un perfil de atenuación predeterminado para que el nivel de potencia del impulso de RF suministrado se atenúe sustancialmente a lo largo de la duración del impulso RF. Por el contrario, en algunas formas de realización el generador de impulsos está configurado para suministrar una serie de dos o más impulsos de RF al ojo, de tal manera que la energía de cada uno de los impulsos segundo y siguientes de la serie se atenúe sustancialmente con respecto a su predecesor. Todavía en otras formas de realización se utilizan ambas técnicas.

Por supuesto, los expertos en la materia apreciarán que la presente invención no está limitada a las características, ventajas, contextos o ejemplos anteriores, y reconocerán características y ventajas adicionales tras la lectura de la siguiente descripción detallada y tras ver los dibujos que se acompañan.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra un aparato de capsulorrexis según algunas formas de realización de la invención, incluyendo un generador de impulso y un dispositivo de electrodo de corte.

La figura 2 ilustra detalles de una sonda de capsulorrexis.

La figura 3 es una sección transversal de la parte de anillo de la sonda de la figura 2.

La figura 4 es un diagrama de flujo de proceso que ilustra un método para realizar capsulorrexis.

La figura 5 es un diagrama de bloques de un generador de impulsos.

La figura 6 ilustra un impulso de radiofrecuencia que tiene un perfil de atenuación predeterminado.

La figura 7 ilustra una serie de impulsos de radiofrecuencia progresivamente atenuados.

La figura 8 ilustra una serie de impulsos de radiofrecuencia atenuados.

Descripción detallada

Como se hace notar anteriormente, se han propuesto diversos métodos y dispositivos para automatizar el proceso de capsulorrexis. Por ejemplo, la solicitud '805 describe métodos y aparatos para realizar capsulorrexis utilizando corrientes eléctricas de alta frecuencia aplicadas a la cápsula anterior del cristalino a través de un electrodo unipolar. Son posibles otras configuraciones de sonda de capsulorrexis, incluyendo las que dependen de elementos de calentamiento por resistencia o un par de electrodos bipolares que se energizan según técnicas conocidas para producir un calentamiento localizado en la cápsula anterior. Es común a muchos de estos sistemas el uso de un generador de impulsos de alta energía para suministrar energía de impulso calibrada al sitio quirúrgico.

Aunque los expertos en la materia apreciarán la aplicabilidad más amplia de varias de las técnicas inventivas y el aparato aquí descritos, estas técnicas se describirán con referencia a los métodos previamente descritos para realizar capsulorrexis utilizando impulsos aplicados a un elemento de calentamiento colocado contra la cápsula anterior del cristalino. Un método de esta clase se describe en la publicación de solicitud de patente US nº 2010/0094278, titulada "Capsularhexis Device with Flexible Heating Element". Este enfoque utiliza un elemento de calentamiento resistivo producido a partir de un alambre superelástico eléctricamente resistivo transformado en un bucle. El elemento de calentamiento se energiza con un impulso corto o una serie de impulsos de corriente. El calentamiento del elemento en forma de bucle cauteriza la cápsula del cristalino, creando efectivamente un corte continuo liso en la cápsula.

Por el contrario, el sistema descrito en la solicitud '805 utiliza campos eléctricos pulsados para realizar la acción de corte – el campo eléctrico pulsado se genera utilizando un electrodo de anillo colocado contra la cápsula anterior del ojo y un electrodo de puesta a tierra colocado en algún lugar dentro o fuera del ojo. El electrodo de anillo comprende un alambre delgado eléctricamente conductor, puesto que un alambre muy delgado incrementará la eficiencia de corte y reducirá los efectos de campos lejanos. Una sección transversal muy pequeña (por ejemplo, menor que alrededor de 0,25 milímetros de diámetro) producirá campos eléctricos de alta intensidad cerca del alambre; estos campos eléctricos disminuirán en intensidad al alejarse más del alambre. Debido a que el electrodo de puesta a tierra tiene una sección transversal mucho mayor que el electrodo de corte, los campos eléctricos permanecen atenuados en el electrodo de puesta a tierra. Así, una alta proporción de la energía de corte disponible se deposita en una región delgada inmediatamente alrededor del alambre del electrodo de corte.

La figura 1 ilustra los componentes de un ejemplo de aparato de capsulorrexis según algunas formas de realización de la invención. El sistema representado incluye un generador de impulsos 110 que produce impulsos de alta frecuencia para su aplicación al ojo a través de un electrodo de corte 120. Las figuras 2 y 3 ilustran detalles de un ejemplo de dispositivo de electrodo de corte 120. El dispositivo de electrodo de corte 120 incluye un anillo flexible 122 que tiene un único electrodo de alambre 128 en forma de anillo incrustado en él. Un vástago flexible 124 conecta el anillo flexible 122 a un mango 126. Un terminal eléctrico (no mostrado) discurre dentro del vástago 124 y el mango 126 para conectar el electrodo 128 al generador de impulsos 110. Las formas de realización más simples pueden utilizar solamente un bucle de alambre desnudo como elemento de calentamiento.

La parte de anillo flexible del aparato está dimensionada según el tamaño deseado de la capsulotomía, por ejemplo con un diámetro de aproximadamente 5 milímetros. Los expertos en la materia apreciarán que se prefiere una abertura circular, como se ilustra en la figura 2, para evitar desgarres cuando se retira la parte de la cápsula del cristalino dentro de la abertura. El electrodo de alambre 128 en forma de anillo define los límites de la parte de la cápsula del cristalino que se somete al calentamiento directo que resulta de energizar el electrodo.

Para reducir un daño colateral en el borde de la rexis provocado por un sobrecalentamiento para mejorar la resistencia y extensibilidad de la rexis, pueden utilizarse impulsos atenuados y secuencias de impulsos de voltaje de radiofrecuencia (RF) para accionar las sondas de capsulorrexis discutidas anteriormente. Como se conoce bien por los expertos en la materia, se utiliza frecuentemente un dispositivo de capsulorrexis automatizado en presencia de un material viscoelástico que se introduce en el sitio quirúrgico para proteger el endotelio corneal y mantener la cámara anterior durante la retirada de la catarata. Cuando se energiza la sonda de capsulorrexis, el calentamiento resultante provoca una ebullición explosiva en el material viscoelástico. La ebullición puede tener lugar también en el agua del tejido. El proceso térmico en el material viscoelástico estrechamente alrededor de la sonda energizada puede dividirse en tres pasos: nucleación de burbujas al comienzo del impulso seguido por coalescencia de burbujas y colapso de burbujas al final.

Puesto que tiene lugar un cambio de fase en el material viscoelástico en la etapa de nucleación, es necesaria una alta potencia para iniciar el proceso. Sin embargo, una vez que el elemento de sonda energizado se aísla del líquido por las burbujas, la potencia necesaria para mantener una temperatura elevada dada cae dramáticamente. Esto es el resultado de una disipación de calor significativamente reducida provocada por la conductividad térmica baja del vapor en comparación con la conductividad térmica del líquido viscoelástico circundante.

En diversas formas de realización de la invención, se atenúan entonces los impulsos de radiofrecuencia (RF) suministrados a la sonda de capsulorrexis a lo largo de cada duración de impulso. Esta atenuación intrainpulsos adapta la salida de potencia a los requisitos de potencia rápidamente variables para reducir el daño colateral al borde de la rexis provocado por sobrecalentamiento. Un ejemplo de un perfil de atenuación para un impulso de RF se da en la figura 4. Un alto voltaje al comienzo del impulso puede utilizarse para iniciar rápidamente la ebullición del material viscoelástico y el agua del tejido. La amplitud de impulso se atenúa entonces a una tasa predeterminada o según un perfil experimentalmente determinado de modo que la temperatura en la sonda de capsulorrexis energizada o cerca de ésta pueda mantenerse a un nivel apropiado para producir un corte pasante en la cápsula del cristalino, con menor daño térmico en el borde de la rexis.

Las tasas o perfiles de atenuación deseados dependerán de varios factores, incluyendo las características de la energía de RF aplicada, la configuración precisa de la sonda o sondas de capsulorrexis y similares. Sin embargo, los expertos en la materia apreciarán que pueden determinarse experimentalmente perfiles apropiados a una configuración física dada. Por ejemplo, puede observarse el proceso de nucleación inducido por diversos perfiles de atenuación de impulsos para identificar los perfiles de atenuación que minimizan la coalescencia de burbujas grandes alrededor de la sonda energizada. Asimismo, puede observarse directamente la propia rexis para determinar los perfiles que cortan efectivamente la cápsula del cristalino sin daños excesivos, tales como daños en la extensibilidad de la cápsula.

La figura 6 es un diagrama de flujo de proceso que ilustra un método para realizar capsulorrexis que explota los principios discutidos anteriormente. El proceso comienza, como se muestra en el bloque 610, con la inserción de una sonda de capsulorrexis en la cámara anterior y el posicionamiento de la parte de corte de la sonda en contacto con la cápsula anterior del cristalino del ojo, como se muestra en el bloque 620. Puede utilizarse cualquiera de una amplia variedad de configuraciones de sonda de capsulorrexis, a condición solamente de que la sonda sea capaz de ser energizada con energía de RF pulsada.

Como se muestra en el bloque 630, se suministra luego por lo menos un impulso de RF al ojo a través de la sonda de capsulorrexis. El impulso de RF suministrado tiene un perfil de atenuación predeterminado, de tal manera que el nivel de potencia del impulso de RF suministrado se atenúe sustancialmente a lo largo de la duración del impulso de RF. "Sustancialmente atenuado" significa simplemente que la atenuación de potencia a lo largo del curso del impulso es sistemática e intencionalmente inducida. Los expertos en la materia apreciarán que la generación y suministro de energía de RF pulsada a una carga física es inherentemente imprecisa, de tal manera que son inevitables algunas incertidumbres en la potencia suministrada y variaciones en el reparto de los impulsos. Sin embargo, en sistemas que emplean las técnicas de atenuación intrainpulsos de la presente invención, el grado de atenuación a lo largo de

un impulso aplicado excede estas incertidumbres y variaciones normales.

En algunos casos, el perfil de atenuación predeterminado puede ser tal que el nivel de potencia del impulso de RF suministrado se reduce en por lo menos la mitad, es decir, 3 dB, a lo largo de la duración del impulso de RF. En otros casos, el grado de atenuación puede ser bastante más sustancial, por ejemplo 10, 20 o 30 dB. Como se discute anteriormente, el perfil de atenuación particular aplicado en una situación quirúrgica dada puede determinarse experimentalmente por adelantado y puede diseñarse de modo que la parte inicial del impulso de RF suministrado inicie la nucleación de burbujas en el ojo, mientras que la parte trasera se atenúa suficientemente para evitar la coalescencia de burbujas grandes y/o para evitar un sobrecalentamiento de la cápsula del cristalino.

Para proporcionar un control más flexible de la energía de corte suministrada al sitio quirúrgico, mientras se reduce adicionalmente el daño colateral provocado por la desnaturalización térmica del tejido, pueden utilizarse múltiples impulsos de voltaje de RF. La duración de estos impulsos y la temporización entre ellos pueden diseñarse sobre la base del concepto de tiempo de relajación térmica que es un parámetro comúnmente utilizado para estimar el tiempo requerido para que el calor sea evacuado de una región de tejido directamente calentada. (Por ejemplo, véase B. Choi y A. J. Welch, "Análisis de la relajación térmica durante la irradiación de tejido con láser", *Las. Surg. Med.* 29, 351-359 (2001).) Debido a que es deseable mantener los efectos del calentamiento de la capsulorrexis confinados a un área altamente localizada, el tiempo de relajación térmica característico del tejido es una guía útil para determinar una longitud máxima de los impulsos de RF aplicados, así como el tiempo entre impulsos sucesivos durante los cuales se enfrían el viscoelástico y el tejido calentados.

En lugar o además de la atenuación del voltaje de RF dentro de impulsos individuales, como se discute anteriormente en conexión con las figuras 4 y 6, puede superponerse un perfil de atenuación "global" a la secuencia de impulsos, como se ilustra en la figura 7, para reducir el daño térmico provocado por la acumulación de calor. (La figura 7 es un perfil de potencia de la secuencia de impulsos; la figura 4, por el contrario, traza un perfil de voltaje de un impulso con atenuación intrainpulsos.) Este perfil de atenuación global podría considerarse que define una atenuación "interimpulsos", a diferencia de la atenuación "intrainpulsos" ilustrada en la figura 6. Como se ve en la figura 7, cada uno de entre el segundo impulso y los siguientes en la secuencia ilustrada se atenúa sustancialmente con respecto a su predecesor. Así, se reduce la energía de cada impulso en comparación con el impulso precedente. Como un ejemplo solamente ilustrativo, el nivel de potencia inicial de cada impulso en la serie podría atenuarse en un veinte por ciento (alrededor de 1 dB) con respecto a su predecesor, mientras que los niveles de potencia durante el impulso podrían reducirse también a lo largo del recorrido del impulso, por ejemplo, en una mitad o más. Aunque la serie ilustrada de impulsos incluye solamente impulsos monótonamente atenuados, otras secuencias podrían incluir varias subsecuencias de impulsos, en las que cada uno de los impulsos segundo y siguientes en cada subsecuencia se atenúe sustancialmente con respecto a su predecesor, pero el nivel de potencia se "reajuste" a un nivel más alto al comienzo de cada subsecuencia.

La figura 8 ilustra otra manera de reducir la energía llevada por cada uno de una serie de impulsos suministrados al ojo. En la serie de impulsos representada en la figura 8, la amplitud de cada impulso en la serie es sustancialmente la misma, pero se reduce la duración de cada uno de los impulsos segundo y siguientes con respecto al impulso inmediatamente precedente. Además de la duración de impulso reducida, el tiempo entre impulsos puede variarse también de modo que la potencia de valor medio cuadrático suministrada al ojo a lo largo de cualquier intervalo particular se atenúe según un perfil deseado. Al igual que la técnica descrita en conexión con la figura 7, la técnica ilustrada en la figura 8 puede combinarse con el perfil de atenuación intrainpulsos discutido anteriormente, de modo que la amplitud de cada uno de los impulsos en la serie se atenúa a lo largo de la duración del impulso.

En algunos sistemas, solamente podría utilizarse la atenuación interimpulsos o la atenuación intrainpulsos, mientras que ambas técnicas pueden utilizarse en otros sistemas. Además de las atenuaciones local y global en la magnitud del voltaje de RF, pueden utilizarse longitudes de impulso variadas, ciclos de servicio variados, etc. para adaptar la salida de potencia de RF incluso con más precisión a las necesidades de potencia en diferentes etapas del proceso térmico. Además, los esquemas de potencia antes mencionados pueden afinarse para mejorar el papel de la ebullición explosiva de agua del tejido como mecanismo de corte para reducir aún más el daño térmico al borde de la rexis. (La cápsula del cristalino contiene agua. Si la tasa de calentamiento es suficientemente alta, puede tener lugar una ebullición explosiva del agua en el tejido y esto puede llevar a una presión alta localizada, es decir, a esfuerzo en el tejido, debido al confinamiento de éste. Tal esfuerzo localizado puede jugar un papel en la disección de tejido. Por tanto, el mecanismo de corte es una combinación de efectos térmicos y mecánicos, y el daño colateral al tejido puede reducirse en comparación con el corte térmico puro.)

La figura 5 ilustra elementos funcionales de un generador de impulsos 110 según algunas formas de realización de la presente invención. El generador de impulsos 110 incluye un suministro de potencia principal 510 que puede hacerse funcionar desde una fuente de corriente alterna externa (por ejemplo, 120 voltios a 60 Hz) o una fuente de corriente continua. El generador de impulsos 530 genera los impulsos de RF desde el suministro de potencia principal 510, bajo el control del circuito de control 520. Los impulsos de RF de alta intensidad se suministran al dispositivo de electrodo de corte 120 a través de unos terminales 550. Una interfaz de usuario 540 provee al operador con mecanismos apropiados para hacer funcionar el generador de impulsos 110 (por ejemplo, interruptores, entradas de pantalla táctil o similares), así como con una realimentación apropiada (por ejemplo,

estado del dispositivo, etc.). En la publicación de solicitud de patente US 2007/0156129 A1, publicada el 5 de julio de 2007, se proporcionan más detalles de un aparato generador de campo eléctrico pulsado de alta intensidad que puede adaptarse fácilmente según las técnicas aquí descritas.

- 5 En algunas formas de realización de la presente invención, el generador de impulsos 110 está configurado para suministrar por lo menos un impulso de radiofrecuencia (RF) a la sonda de capsulorrexis, en donde el impulso de RF suministrado tiene un perfil de atenuación predeterminado de tal manera que el nivel de potencia del impulso de RF suministrado se atenúe sustancialmente a lo largo de la duración del impulso de RF. En otras formas de realización,
- 10 el generador de impulsos 110 está configurado para suministrar una serie de dos o más impulsos de radiofrecuencia (RF) a la sonda de capsulorrexis, de tal manera que cada uno de los impulsos segundo y siguientes de la serie se atenúe sustancialmente con respecto a su predecesor. Otras formas de realización más están configuradas para proporcionar ambas características, de modo que ambos perfiles de atenuación intrainpulsos e interimpulsos se apliquen a una serie de impulsos.

REIVINDICACIONES

1. Aparato de capsulorrexis, que comprende:

5 una sonda de capsulorrexis (120) configurada para su inserción en un ojo a través de una incisión;

caracterizado por que comprende:

10 un generador de impulsos (110) eléctricamente conectado a dicha sonda de capsulorrexis y configurado para suministrar (630) por lo menos un impulso de radiofrecuencia (RF) a la sonda de capsulorrexis,

caracterizado por que

15 el impulso de RF suministrado presenta un perfil de atenuación predeterminado de tal manera que el nivel de potencia del impulso de RF suministrado sea sustancialmente atenuado a lo largo de la duración del impulso de RF.

20 2. Aparato de capsulorrexis según la reivindicación 1, en el que el perfil de atenuación predeterminado es tal que el nivel de potencia del impulso de RF suministrado es reducido en por lo menos la mitad a lo largo de la duración del impulso de RF.

3. Aparato de capsulorrexis según la reivindicación 1, en el que el perfil de atenuación predeterminado es tal que el impulso de RF suministrado inicia una nucleación de burbujas en el ojo.

25 4. Aparato de capsulorrexis según la reivindicación 1, en el que el generador de impulsos está configurado para suministrar una serie de dos o más impulsos de RF al ojo, de tal manera que la energía de cada uno de entre el segundo impulso y los impulsos siguientes de la serie sea sustancialmente atenuada con respecto a su predecesor.

30 5. Aparato de capsulorrexis según la reivindicación 4, en el que la amplitud de cada uno de entre el segundo impulso y los impulsos siguientes de la serie sea sustancialmente atenuada con respecto a la amplitud del impulso inmediatamente precedente.

35 6. Aparato de capsulorrexis según la reivindicación 4, en el que la amplitud de cada uno de entre el segundo impulso y los impulsos siguientes de la serie es sustancialmente la misma que la amplitud del primer impulso de la serie, y en el que la longitud de cada uno de entre el segundo impulso y los impulsos siguientes de la serie es sustancialmente más corta que la longitud del impulso inmediatamente precedente.

40 7. Aparato de capsulorrexis según la reivindicación 5, en el que cada uno de entre los impulsos de RF suministrados tiene un perfil de atenuación predeterminado de tal manera que el nivel de potencia del impulso de RF suministrado sea sustancialmente atenuado a lo largo de la duración del impulso de RF.

45 8. Aparato de capsulorrexis según la reivindicación 7, en el que la amplitud de cada uno de entre el segundo impulso y los impulsos siguientes de la serie sea sustancialmente atenuada con respecto a la amplitud del impulso inmediatamente precedente.

50 9. Aparato de capsulorrexis según la reivindicación 7, en el que la amplitud de cada uno de entre el segundo impulso y los impulsos siguientes de la serie es sustancialmente la misma que la amplitud del primer impulso de la serie, y en el que la longitud de cada uno de entre el segundo impulso y los impulsos siguientes de la serie es sustancialmente más corta que la longitud del impulso inmediatamente precedente.

10. Aparato de capsulorrexis según la reivindicación 7, en el que la energía de cada uno de entre el segundo impulso y los impulsos siguientes de la serie sean atenuados con respecto a su predecesor en por lo menos un veinte por ciento.

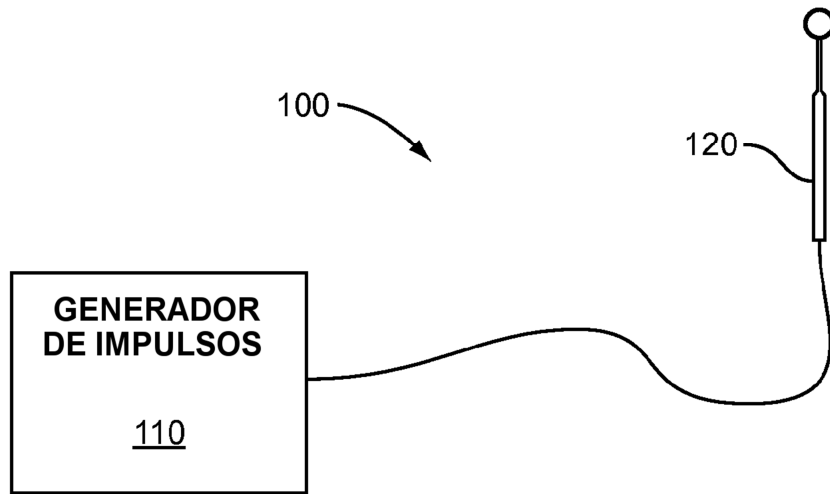


FIG. 1

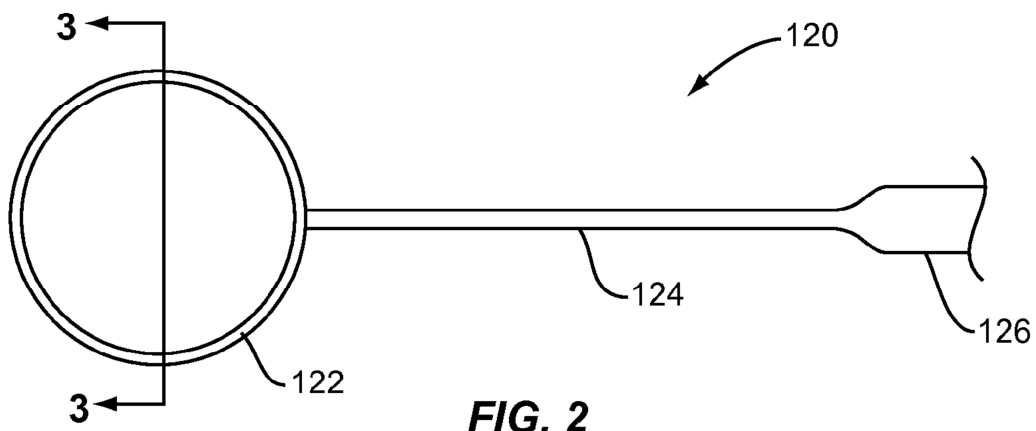


FIG. 2



FIG. 3

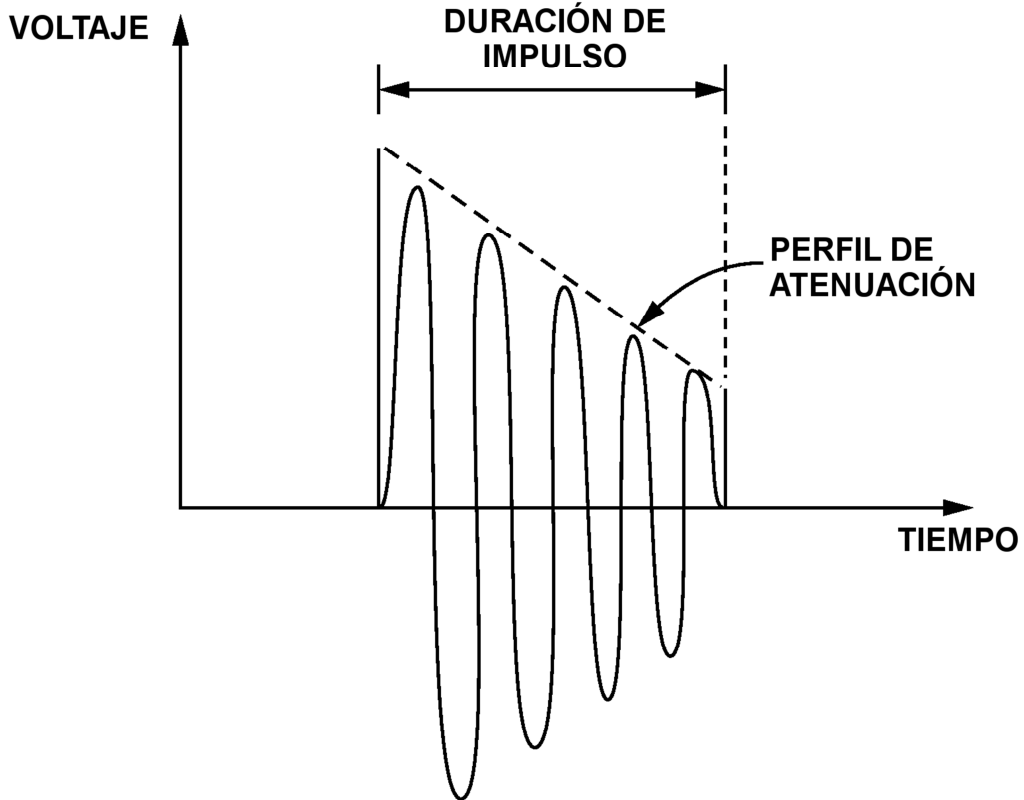


FIG. 4

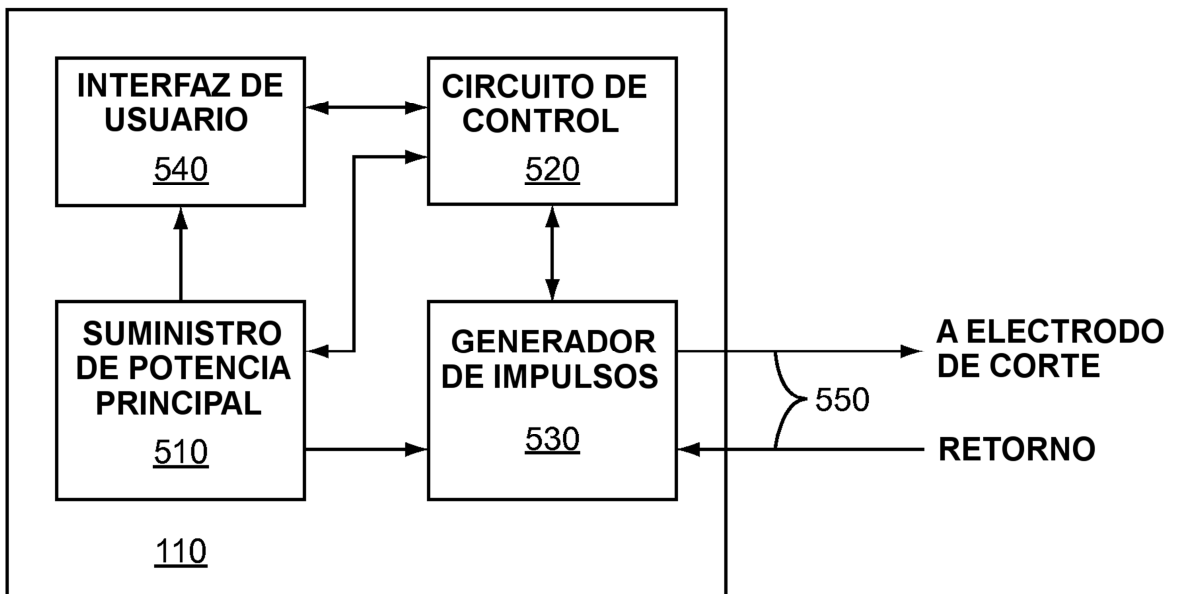


FIG. 5



FIG. 6

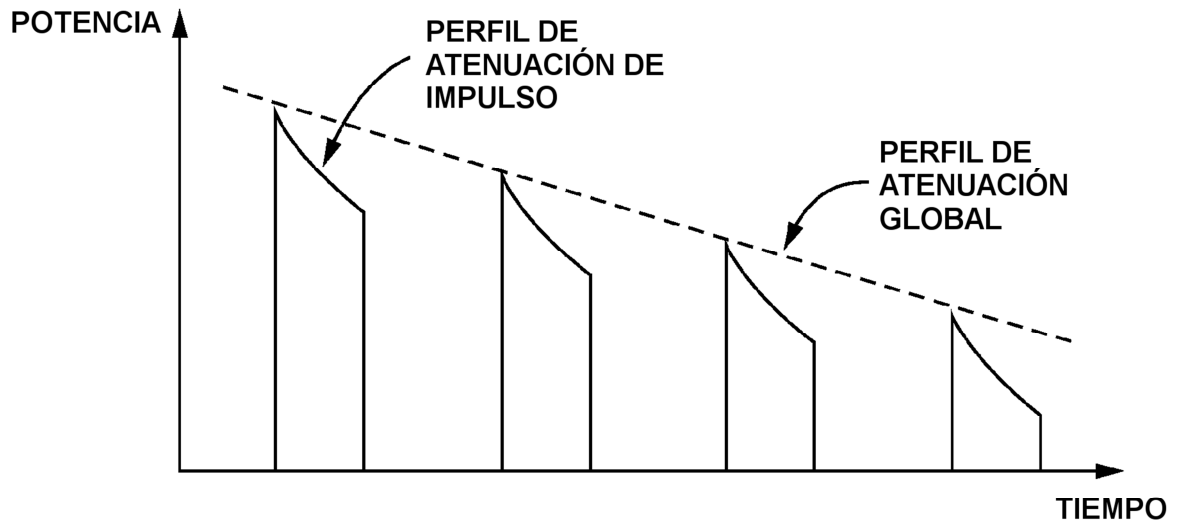


FIG. 7

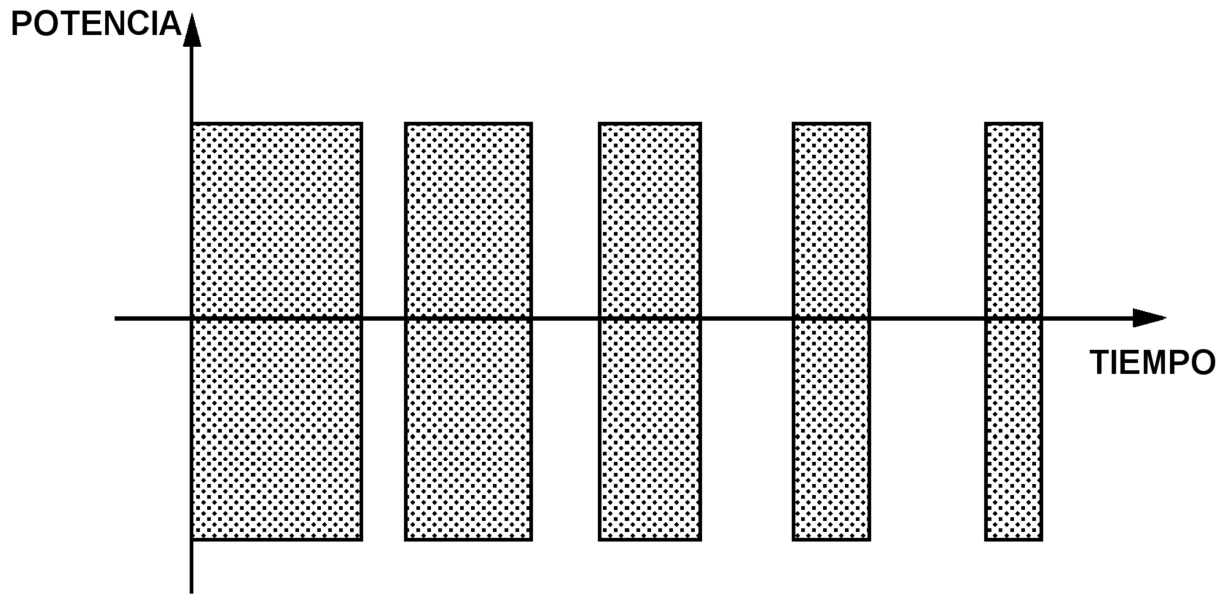


FIG. 8