

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 687 523**

51 Int. Cl.:

<b>A61B 3/107</b>	(2006.01)
<b>A61B 3/11</b>	(2006.01)
<b>A61B 3/15</b>	(2006.01)
<b>A61H 5/00</b>	(2006.01)
<b>A61B 3/113</b>	(2006.01)
<b>A61F 9/008</b>	(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.10.2013 PCT/EP2013/003145**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.04.2015 WO15055223**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.10.2013 E 13779741 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.08.2018 EP 3057485**

54 Título: **Dispositivo para centrar un campo de aplicación**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.10.2018**

73 Titular/es:  
**WAVELIGHT GMBH (100.0%)  
Am Wolfsmantel 5  
91058 Erlangen, DE**

72 Inventor/es:  
**LEMONIS, SISSIMOS y  
ABRAHAM, MARIO**

74 Agente/Representante:  
**LEHMANN NOVO, María Isabel**

ES 2 687 523 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**

Dispositivo para centrar un campo de aplicación

Campo técnico

5 La presente descripción se refiere en general a una técnica para centrar un campo de aplicación para una aplicación oftálmica. Más específicamente, y sin limitación, la descripción se refiere a un dispositivo para centrar un campo de aplicación en relación con la córnea de un ojo humano que responde al movimiento del ojo seguido en tiempo real durante la aplicación oftálmica basada en un centro de la pupila.

Antecedentes

10 Un dispositivo oftálmico o un método para hacer funcionar tal dispositivo permite realizar uno o más procedimientos con respecto a un ojo de un paciente, es decir, una aplicación oftálmica, tal como un procedimiento quirúrgico, terapéutico o diagnóstico, por ejemplo, que incluye y no está limitado a, LASIK (Queratomileusis in situ asistida por láser), Epi-LASIK, PRK, extracción lenticular o queratoplastia.

15 Se puede evitar una fijación del ojo durante la aplicación oftálmica, por ejemplo, una extirpación con láser, siguiendo el movimiento del ojo, por ejemplo, las sacudidas involuntarias, en tiempo real. En este caso, el campo de aplicación incluye un perfil de extirpación que es aplicado a la córnea de acuerdo con el campo de aplicación. El campo de aplicación de la extirpación con láser es reposicionado lateralmente en relación con la extirpación con láser de modo que el campo de aplicación permanece centrado en un punto de centrado predefinido en la córnea.

20 Para controlar la extirpación con láser, una cámara observa el centro de la pupila del ojo como un punto de referencia utilizado para centrar el campo de aplicación. Los sistemas existentes para cirugía refractiva centran el campo de aplicación en el centro actual de la pupila, opcionalmente en combinación con uno o más puntos corneales adicionales. Tales puntos corneales adicionales pueden ser definidos topográficamente dependiendo de la ametropía del ojo (por ejemplo, miopía, hipermetropía o astigmatismo). Dado que el centro de la pupila puede desplazarse en relación con la córnea cuando el iris del ojo se astringe o se dilata, el desplazamiento del centro de la pupila es compensado, como se ha descrito en el documento EP 1 985 269 A1.

25 Algunos sistemas conocidos permiten desplazar manualmente el punto de centrado lejos del centro de la pupila. El desplazamiento puede ser importante, si el centro de la pupila del ojo se desvía mucho de un centro óptico del ojo o de un centro topográfico de la superficie corneal. Sin embargo, desplazar manualmente el punto de centrado está basado convencionalmente en una estimación visual subjetiva y limitado por instrumentos utilizados para la inspección visual, por ejemplo, una resolución de microscopio. Además, el mero hecho de que el desplazamiento se realice manualmente  
30 puede introducir un factor de incertidumbre y contribuir a una imprecisión del resultado de la extirpación, por ejemplo, después de la aplicación de medicación y la utilización de instrumentos quirúrgicos. Además, el desplazamiento manual consume tiempo y requiere un esfuerzo adicional por parte del cirujano.

Resumen

35 Por consiguiente, existe una necesidad de una técnica para centrar un campo de aplicación de una aplicación oftálmica, lo que proporciona grados de libertad comparables al desplazamiento manual evitando al menos algunas de las desventajas asociadas con realizar manualmente el desplazamiento.

40 De acuerdo con un aspecto, se ha proporcionado un dispositivo para centrar un campo de aplicación para una aplicación oftálmica en una córnea de un ojo. El dispositivo comprende una interfaz de control adaptada para recibir un primer parámetro antes de la aplicación oftálmica; un dispositivo de formación de imágenes adaptado para capturar una imagen de una pupila del ojo durante la aplicación oftálmica; una unidad de determinación adaptada para determinar durante la aplicación oftálmica un centro actual de la pupila y un tamaño actual de la pupila basándose en la imagen del dispositivo de formación de imágenes, un primer punto compensando un desplazamiento del centro actual de la pupila que utiliza una característica de desplazamiento del centro de la pupila que representa el desplazamiento como una función del tamaño de la pupila, en donde el primer parámetro determina una extensión de la compensación, y un segundo punto en  
45 una superficie de la córnea; y una unidad de control adaptada para controlar la aplicación oftálmica centrando el campo de aplicación en un punto de centrado entre el primer punto y el segundo punto.

El segundo punto puede, al menos sustancialmente, corresponder a un ápice o vértice de la superficie corneal, o a un punto de intersección de un eje visual del ojo y la córnea.

50 El dispositivo de formación de imágenes puede incluir una cámara, un dispositivo de Tomografía de Coherencia Óptica (OCT) y/o un dispositivo de Reflectometría de Baja Coherencia Óptica (OLCR).

La aplicación oftálmica puede incluir procedimientos quirúrgicos o terapéuticos que son realizados, por ejemplo, por medio del dispositivo que comprende además una fuente de luz láser. La fuente de luz láser puede incluir una fuente de luz láser de femtosegundo, picosegundo o attosegundo, una fuente de luz láser excimer, o una combinación de las

mismas. La fuente de luz láser puede estar configurada para extirpación o foto-disrupción del tejido de un ojo, por ejemplo, material corneal.

5 La aplicación oftálmica puede ser una extirpación con láser. El campo de aplicación puede ser un perfil de extirpación. El perfil de extirpación puede ser predefinido antes de la extirpación con láser. El perfil de extirpación puede ser almacenado en el dispositivo, por ejemplo, en la forma de un programa de control ejecutado por la unidad de control. El perfil de extirpación puede definir una profundidad de material corneal que ha de ser extirpado. El perfil de extirpación puede definir una profundidad de material corneal que ha de ser extirpado como una función de dos coordenadas transversales, por ejemplo, transversal a un eje óptico de la fuente de luz láser.

10 La aplicación oftálmica puede incluir procedimientos diagnósticos. La aplicación oftálmica puede incluir una medición del ojo, por ejemplo, mediciones de aberrometría, topografía o biometría, o una combinación de las mismas. La aplicación oftálmica puede ser realizada, por ejemplo, por el dispositivo que incluye además medios para las mediciones de aberrometría, topografía o biometría, o una combinación de las mismas.

15 Para al menos algunas realizaciones del dispositivo, el primer punto es fijo al menos sustancialmente en relación con la córnea e independiente del tamaño actual de la pupila. Compensando el desplazamiento, el primer punto puede ser un centro de pupila corregido que está fijado al menos sustancialmente en relación con la córnea durante la extirpación con láser, mientras el centro actual de la pupila puede variar, por ejemplo, sobre todo el intervalo de la característica de desplazamiento del centro de la pupila dependiendo de la iluminación del ojo. El primer punto puede corresponder a un punto en el intervalo de la característica de desplazamiento del centro de la pupila. El intervalo de la característica de desplazamiento del centro de la pupila puede extenderse desde el centro escotópico de la pupila al centro fotópico de la pupila.

20 Antes de la aplicación oftálmica, un usuario puede determinar la extensión de la compensación, por ejemplo, introduciendo el primer parámetro en la interfaz de control. La compensación del desplazamiento del centro de la pupila puede eliminar una dependencia del centro actual de la pupila en una condición de iluminación y/o en una condición de acomodación, que colectivamente puede denominarse como una "condición de la pupila" o brevemente una "condición". El primer parámetro puede definir cuál de las ubicaciones de desplazamiento del centro de la pupila ha de ser determinada como el primer punto. El primer parámetro puede permitir fijar el primer punto al centro de la pupila de una cierta condición (que también es denominada como una condición paramétrica). La condición paramétrica puede estar predefinida antes de la aplicación oftálmica, por ejemplo, la extirpación con láser. La condición paramétrica puede ser independiente de la condición real durante la aplicación oftálmica.

30 El primer parámetro puede definir la condición paramétrica de la pupila o un tamaño paramétrico de la pupila correspondiente a la condición paramétrica de la pupila. El tamaño paramétrico de la pupila puede determinar la extensión de la compensación del desplazamiento del centro de la pupila, por ejemplo, evaluando la característica de desplazamiento del centro de la pupila como una función del tamaño de la pupila para el tamaño paramétrico de la pupila. El primer punto puede ser una ubicación del centro de la pupila calculado basándose en la característica de desplazamiento del centro de la pupila, de modo que el primer punto corresponde al centro de la pupila que asume la condición paramétrica de la pupila o el tamaño paramétrico de la pupila.

35 Para al menos algunas de las realizaciones, el segundo punto puede corresponder al menos sustancialmente al ápice como un punto topológico de la superficie corneal, de modo que el segundo punto es fijo al menos sustancialmente en relación con la córnea durante la aplicación oftálmica. Alternativa o adicionalmente, el segundo punto puede corresponder al menos sustancialmente a un vértice en la superficie corneal.

40 Derivando el punto de centrado desde el primer y el segundo puntos que son fijos al menos sustancialmente en relación con la córnea, el punto de centrado puede seguir de forma precisa el movimiento del ojo, es decir, de la córnea. Por lo tanto, al menos algunas realizaciones controlan la aplicación oftálmica de modo que el campo de aplicación es centrado en el punto de centrado como un punto fijo en relación con la córnea, incluso si la luz visual de intensidad cambiante es irradiada en el ojo y produce un reflejo de luz pupilar, por ejemplo, un reflejo de Purkinje, o incluso si la luz visual de intensidad cambiante es irradiada en el ojo y la pupila reacciona a la luz como una simulación de acomodación. La característica de desplazamiento del centro de la pupila puede ser recibida y/o calculada antes de la extirpación con láser. Una interfaz de dispositivo puede proporcionar la característica de desplazamiento del centro de la pupila del ojo a la unidad de determinación. Alternativa o adicionalmente, la interfaz del dispositivo puede proporcionar datos de medición para calcular la característica de desplazamiento del centro de la pupila. La característica de desplazamiento del centro de la pupila puede indicar el desplazamiento del centro de la pupila del ojo en relación con la córnea, por ejemplo, el centro del limbo del ojo.

45 El tamaño de la pupila puede incluir una dimensión lateral lineal de la pupila. El tamaño de la pupila puede estar representado por uno o más diámetros de la pupila. La característica de desplazamiento del centro de la pupila puede indicar el desplazamiento del centro de la pupila como una función del diámetro de la pupila. La función puede ser discretizada con respecto al diámetro de la pupila. La función puede interpolarse entre un conjunto discreto de diámetros medidos de la pupila.

La unidad de determinación puede determinar el primer punto sustrayendo del centro actual de la pupila el desplazamiento que es indicado para el tamaño actual de la pupila por la característica de desplazamiento del centro de la pupila. El desplazamiento del centro de la pupila para el tamaño paramétrico de la pupila de acuerdo con la característica de desplazamiento del centro de la pupila puede ser añadido a un resultado de la sustracción.

5 Un dominio de la característica de desplazamiento del centro de la pupila puede incluir un tamaño escotópico de la pupila, un tamaño mesópico de la pupila, un tamaño fotópico de la pupila o cualquier tamaño intermedio. La interfaz de control puede estar adaptada además para ajustar un valor de fallo para el primer parámetro al tamaño escotópico de la pupila, el tamaño más grande de la pupila en un dominio de la característica de desplazamiento del centro de la pupila, una condición escotópica de la pupila o una condición de la pupila que corresponde al diámetro más grande de la pupila  
10 en el dominio de la característica de desplazamiento del centro de la pupila.

Centrar el perfil de extirpación a, o cerca de, el centro de la pupila de la condición escotópica puede proporcionar una corrección de visión sobre todo el intervalo de condiciones de iluminación, incluso si el centro fotópico de la pupila se desvía significativamente del centro escotópico de la pupila. Por ejemplo, el perfil de extirpación puede corregir la visión bajo la condición escotópica, mientras una resolución óptica del ojo puede ser limitada por difracción bajo la condición  
15 fotópica. Por ejemplo, una combinación del campo de aplicación desplazado en relación con el centro fotópico de la pupila y la pequeñez de la abertura de acuerdo con el diámetro fotópico de la pupila puede conseguir una resolución satisfactoria para todas las condiciones de la pupila.

El dominio de la característica de desplazamiento del centro de la pupila puede extenderse desde un tamaño fotópico de la pupila al tamaño escotópico de la pupila. La característica de desplazamiento del centro de la pupila puede ser  
20 calculada basándose en un centro medido de la pupila y un tamaño medido de la pupila. El centro de la pupila y el tamaño de la pupila pueden ser medidos para al menos una condición fotópica y una condición escotópica de la pupila. Alternativamente o en combinación, cada uno del centro de la pupila y del tamaño de la pupila pueden ser medidos para al menos dos condiciones de la pupila entre la condición fotópica y la condición escotópica de la pupila, y la característica de desplazamiento del centro de la pupila es calculada por extrapolación más allá de las condiciones medidas. Una  
25 tercera condición puede ser una condición mesópica. El dominio de la característica de desplazamiento del centro de la pupila puede incluir un diámetro escotópico, por ejemplo, de 2 mm, y/o un diámetro fotópico, por ejemplo, de 6 mm. El dominio de la característica de desplazamiento del centro de la pupila puede extenderse desde 2 mm a 6 mm. Para medir el tamaño de la pupila antes de la aplicación oftálmica y/o para determinar el tamaño de la pupila durante la aplicación oftálmica, se puede ajustar un círculo en la línea del borde entre el iris y la pupila detectados en la imagen.

30 La unidad de determinación puede determinar el segundo punto basándose en un desplazamiento en relación con un centro de referencia de la pupila. El desplazamiento puede indicar una separación espacial lateral entre el segundo punto, por ejemplo, el ápice, y el centro de referencia de la pupila. La unidad de determinación puede determinar el segundo punto añadiendo el desplazamiento al centro de referencia de la pupila. La unidad de determinación puede recibir, antes de la aplicación oftálmica, coordenadas para el desplazamiento. La unidad de determinación puede  
35 determinar el centro de referencia de la pupila sustrayendo del centro actual de la pupila el desplazamiento para el tamaño actual de la pupila de acuerdo con la característica de desplazamiento del centro de la pupila. La unidad de determinación puede recibir, antes de la aplicación oftálmica, un tamaño de referencia de la pupila. El centro de referencia de la pupila puede ser determinado basándose en el tamaño de referencia de la pupila añadiendo el desplazamiento para el tamaño de referencia de la pupila de acuerdo con la característica de desplazamiento del centro de la pupila a un resultado de la sustracción. Alternativa o adicionalmente, el segundo punto puede ser determinado por  
40 medio de puntos marcadores en el iris, el limbo corneal o vasos sanguíneos en la esclerótica.

El dispositivo puede comprender además una unidad de medición topográfica, por ejemplo, una unidad de OCT o de Scheimpflug. La unidad de medición topográfica puede medir la segunda unidad basándose en la topografía de la  
45 superficie corneal, el centro de referencia de la pupila y/o el tamaño de referencia de la pupila. Las mediciones para el segundo punto, el centro de la pupila y/o el tamaño de la pupila pueden ser realizadas al menos sustancialmente al mismo tiempo, por ejemplo, en un período de 20 ms o menos. Las mediciones pueden ser realizadas antes de la aplicación oftálmica. La unidad de medición puede calcular el desplazamiento entre el segundo punto y el centro de referencia, por ejemplo, el centro de referencia de la pupila o el centro de referencia del limbo. La unidad de medición topográfica puede proyectar anillos de Placido sobre la superficie corneal para medir la topografía y/o el ápice. El  
50 dispositivo puede comprender además una unidad de medición pupilar. La unidad de medición pupilar puede medir el desplazamiento del centro de la pupila y el tamaño de la pupila. La medición puede ser realizada ópticamente, por ejemplo, utilizando luz infrarroja. La medición puede ser realizada antes de la aplicación oftálmica.

Una interfaz óptica orientable hacia el ojo puede ser común a la unidad de medición pupilar y a la unidad de medición topográfica. El desplazamiento puede representar una separación espacial entre el centro de referencia de la pupila y un  
55 centro medido de la pupila. En otras palabras, el mismo centro de referencia de la pupila puede ser utilizado para el desplazamiento del centro de la pupila y el desplazamiento del segundo punto.

La unidad de determinación puede recibir además coordenadas para el desplazamiento en combinación con el tamaño medido. La unidad de determinación puede calcular la característica de desplazamiento del centro de la pupila basándose en el desplazamiento medido y el tamaño medido de la pupila. La unidad de medición pupilar puede medir el

desplazamiento y el tamaño bajo diferentes condiciones de iluminación de la pupila. La unidad de medición pupilar puede incluir una fuente de luz infrarroja para iluminar el ojo a fin de producir una condición fotópica.

5 La unidad de medición pupilar puede incluir una pluralidad de Diodos de Emisión de Luz, LED, para la luz visible y/o la luz infrarroja. Los LED pueden estar dispuestos en uno o más anillos. Los anillos pueden ser concéntricos en relación con un eje óptico de la aplicación oftálmica, por ejemplo, un eje óptico de la medición de OCT y/o un eje óptico de la extirpación con láser.

10 Basándose en las mediciones de al menos tres condiciones diferentes, el desplazamiento de acuerdo con la característica de desplazamiento del centro de la pupila para un tamaño de pupila entre la condición escotópica y la condición fotópica puede estar en una línea curvada entre el centro de la pupila de la condición fotópica y el centro de la pupila de la condición escotópica.

15 El desplazamiento del centro de la pupila de acuerdo con la característica de desplazamiento del centro de la pupila puede ser una función no lineal del diámetro de la pupila. Cuando el diámetro de la pupila aumenta, el desplazamiento puede cambiar no linealmente como una función del diámetro de la pupila desde el centro de la pupila de la condición fotópica al centro de la pupila de la condición escotópica. El centro de la pupila medido bajo la condición escotópica es denominado como el centro escotópico de la pupila. El desplazamiento del centro de la pupila puede representar un desplazamiento del centro de la pupila en relación con el centro escotópico de la pupila.

20 El punto de centrado puede ser un punto en una línea recta entre el primer punto y el segundo punto. La interfaz de control puede recibir además un segundo parámetro. El segundo parámetro puede definir la posición del punto de centrado en la línea recta. Una longitud de un segmento de línea entre el segundo punto y el punto de centrado en proporción a una longitud de la línea entre el primer punto y el segundo punto puede ser predeterminada antes de la extirpación y/o fijada durante la aplicación oftálmica. La proporción puede estar representada por un valor de porcentaje. El segundo parámetro puede ser la proporción.

25 El primer parámetro y el segundo parámetro pueden definir el punto de centrado del campo de aplicación dentro de un triángulo en la superficie corneal. El triángulo puede estar determinado, por ejemplo, durante toda la aplicación oftálmica, sin ninguna intervención humana. El triángulo puede extenderse por el segundo punto (por ejemplo, el ápice o el vértice), por el centro fotópico de la pupila, y por el centro escotópico de la pupila.

30 El dispositivo de formación de imágenes, la unidad de determinación y la unidad de control pueden estar operativos durante la aplicación oftálmica. El dispositivo de formación de imágenes puede capturar continua o periódicamente la imagen. La unidad de determinación puede determinar continua o periódicamente al menos el primer punto y el segundo punto.

35 Se ha proporcionado un método para centrar un campo de aplicación para una aplicación oftálmica en una córnea de un ojo. El método comprende una operación para recibir un primer parámetro antes de la aplicación oftálmica; capturar una imagen de una pupila del ojo durante la aplicación oftálmica; una operación para determinar durante la aplicación oftálmica un centro actual de la pupila y un tamaño actual de la pupila basada en la imagen capturada, un primer punto compensando un desplazamiento del centro actual de la pupila que utiliza una característica de desplazamiento del centro de la pupila que representa el desplazamiento como una función del tamaño de la pupila, en donde el primer parámetro determina una extensión de la compensación, y un segundo punto en una superficie de la córnea; y una operación para controlar la aplicación oftálmica centrando el campo de aplicación en un punto de centrado entre el primer punto y el segundo punto.

40 El segundo punto puede, al menos sustancialmente, corresponder a un ápice o vértice de la superficie corneal. El método puede comprender además una o más de las características, unidades y operaciones para hacer funcionar las unidades descritas en el contexto del aspecto del dispositivo.

Una ejecución de la operación de determinación, es decir, realizar las tres operaciones una vez, puede llevar 100 ms, 20 ms, o menos. La invención está definida en las reivindicaciones.

45 Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirá la descripción con más detalle con referencia a realizaciones ejemplares ilustradas en los dibujos, en las que

La fig. 1 ilustra esquemáticamente la estructura de un ojo humano en una sección paralela al plano transversal,

La fig. 2 ilustra esquemáticamente una realización de un dispositivo para centrar un campo de aplicación;

50 La fig. 3 ilustra esquemáticamente grados de libertad para determinar un punto de centrado del campo de aplicación en una córnea; y

La fig. 4 ilustra esquemáticamente un cálculo de coordenadas para el punto de centrado.

Descripción detallada

5 En la siguiente descripción, con propósitos explicativos y no limitativos, se han expuesto detalles específicos, tales como configuraciones específicas de dispositivos y puntos específicos en una córnea de un ojo con el fin de proporcionar una comprensión exhaustiva de la técnica descrita en este documento. Resultará evidente para un experto en la técnica que la técnica puede ser practicada en otras realizaciones que se apartan de estos detalles específicos. Por ejemplo, aunque las siguientes realizaciones se han descrito en relación a un ápice corneal, la técnica es practicada fácilmente utilizando una intersección de un eje visual y la superficie corneal o un vértice de la superficie corneal en lugar de, o en combinación con, el ápice.

10 Los expertos en la técnica apreciarán además que los métodos, funciones y componentes explicados en este documento pueden ser implementados utilizando circuitos de hardware individuales, utilizando un software que funciona en combinación con un microprocesador o un ordenador de propósito general, o una combinación de los mismos.

La fig. 1 muestra una sección esquemática de un ojo 100 humano paralela al plano transversal que incluye un eje óptico 102 del ojo 100. El ojo 100 incluye una córnea 104 que define una superficie corneal 106.

15 El ojo 100 incluye además un iris 108, cuyo borde 110 forma el límite de una pupila 112. El centro geométrico de la pupila 112 es denominado como el centro 114 de la pupila.

20 La superficie corneal 106 incluye un ápice 116. El ápice 116 puede ser definido como el punto corneal más alto de la superficie corneal 106 y/o como el punto de mayor curvatura superficial dentro de la superficie corneal 106. El ápice 116 no coincide necesariamente con una intersección del eje óptico 102 y la superficie corneal 106. En general, el ápice 116 tampoco está ubicado en un vértice 118, que está definido como el punto de penetración, inserción o intersección del reflejo corneal visto coaxialmente y la superficie corneal 106. El ojo incluye además una lente 120, un limbo corneal 122 en el límite de la córnea 104, y una esclerótica 124. El limbo 122 y la pupila 112 pueden ser objetos para análisis de imágenes basados en máquinas y el seguimiento del movimiento del ojo.

25 En lo que sigue, el centro 114 de la pupila es utilizado para centrar un campo de aplicación de una aplicación oftálmica de la córnea 104. El experto en la técnica puede extender fácilmente la técnica de centrado, por ejemplo, teniendo en cuenta otros objetos. En este documento, centrar se refiere a posicionar el campo de aplicación en relación con la córnea 104. Se conocen medios para enfocar axialmente la luz de láser, de modo que la siguiente descripción se concentra en posicionar el campo de aplicación en dos dimensiones de forma transversal al eje óptico, por ejemplo en la superficie corneal 106.

30 Por ejemplo, el centro 114 de la pupila ha de ser entendido como un punto en las dos dimensiones transversales, por ejemplo, un saliente del centro 114 de la pupila en la superficie corneal 106 de la córnea 104. El saliente puede incluir una corrección lineal de la posición transversal que depende de una distancia entre un centro de rotación del ojo 100 y el centro 114 de la pupila en relación a una distancia entre el centro de rotación del ojo 100 y la superficie corneal 106.

La técnica se ha descrito con referencia a la fig. 2 para una primera realización, en donde la extirpación con láser es la aplicación oftálmica y un perfil de extirpación es el campo de aplicación.

35 Además, aunque la técnica se ha explicado con referencia a una extirpación con láser en la córnea 104, la extirpación con láser puede ser realizada directamente en la superficie corneal 106 o dentro de la córnea 104, por ejemplo, después de cortar un colgajo y doblar el colgajo. In este caso, todos los puntos puede ser proyectados en el plano en sección del colgajo.

40 La fig. 2 ilustra esquemáticamente un sistema 200 que incluye un dispositivo 210 de medición y una realización de un dispositivo 220 para centrar un perfil de extirpación para extirpación con láser en una córnea de un ojo 100. Aunque la realización del dispositivo 220 mostrado en la fig. 2 incluye una interfaz 222 de dispositivo para acoplar el dispositivo 210 de medición al dispositivo 220, una realización alternativa del dispositivo 220 incluye una o todas las unidades del dispositivo 210 de medición. La integración del dispositivo 210 de medición en el dispositivo de centrado 220 puede obviar transportar un paciente después de las mediciones y antes de la extirpación con láser, como se ha indicado en el signo de referencia 240 en la fig. 2.

45 El dispositivo 220 incluye una interfaz 224 de control, un dispositivo 226 de formación de imágenes, una unidad 228 de determinación y una unidad 230 de control. La interfaz 224 de control está acoplada a la unidad 228 de determinación y a la unidad 230 de control y proporciona un primer parámetro a la unidad 228 de determinación antes de la extirpación con láser.

50 El dispositivo 226 de formación de imágenes captura una imagen de la pupila 112 del ojo 100 utilizando luz infrarroja. Por ejemplo, el dispositivo 226 de formación de imágenes incluye una fuente de luz infrarroja dirigida hacia el ojo 100 para una intensidad de luz suficiente y constante en el espectro infrarrojo al que el dispositivo 226 de formación de imágenes es sensible. Una calidad de la imagen capturada por el dispositivo 226 de formación de imágenes es así independiente de una iluminación visual elegida por un cirujano durante la aplicación oftálmica. La imagen es proporcionada a la unidad 55 228 de determinación.

5 La unidad 228 de determinación determina durante la extirpación con láser un centro 114 actual de la pupila y un tamaño actual de la pupila 112 basándose en la imagen del dispositivo 226 de formación de imágenes. Alternativamente, la funcionalidad para determinar el centro 114 actual de la pupila y el tamaño actual de la pupila 112 son implementados por una sub-unidad 232 incluida en el dispositivo 226 de formación de imágenes, como se ha mostrado para la realización del dispositivo 220 en la fig. 2. Las coordenadas para el centro actual de la pupila y el tamaño actual de la pupila son proporcionadas por la sub-unidad 232 a la unidad 228 de determinación.

10 La unidad 228 de determinación determina durante la extirpación con láser un primer punto y un segundo punto en la superficie 106 de la córnea 104. El primer punto es determinado compensando un desplazamiento del centro 114 actual de la pupila que utiliza una característica de desplazamiento del centro de la pupila. La característica de desplazamiento del centro de la pupila representa el desplazamiento del centro de la pupila como una función del tamaño de la pupila 112, por ejemplo, un diámetro de la pupila 112. El primer parámetro recibido desde la interfaz 224 de control determina una extensión de la compensación.

15 El segundo punto en la superficie 106 de la córnea 104 es determinado durante la extirpación con láser basándose en un desplazamiento en relación con un punto de referencia. El desplazamiento es proporcionado antes de la extirpación con láser por el dispositivo de medición. El punto de referencia es determinado durante la extirpación con láser utilizando la imagen del dispositivo 226 de formación de imágenes. Dependiendo de la implementación del dispositivo 220, el segundo punto corresponde al menos sustancialmente al ápice 116, el vértice 118, una línea de visión del ojo 100, o una combinación de los mismos.

20 La unidad 230 de control controla la extirpación con láser centrando el perfil de extirpación en un punto de centrado entre el primer punto y el segundo punto. En la realización del dispositivo 220 mostrado en la fig. 2, la unidad 228 de determinación y la unidad 230 de control son implementados por un módulo 233 de cálculo para compartir eficientemente los recursos de cálculo, tales como un procesador, una memoria acoplada al procesador y un sistema operativo almacenado en la memoria.

25 En la realización mostrada en la fig. 2, el dispositivo 220 comprende además una unidad 234 de extirpación que incluye una fuente 236 de luz láser para extirpación y ópticas 238. La unidad 230 de control dispara la generación de impulsos láser por la fuente 236 de luz láser. Las ópticas 238 reciben y desvían transversalmente los impulsos de luz láser de acuerdo con el perfil de extirpación y el punto de centrado.

30 En una realización extendida del dispositivo 220, la interfaz de control 224 proporciona además a la unidad 228 de determinación un segundo parámetro que determina la posición del punto de centrado a lo largo de una línea recta entre el primer punto y el segundo punto.

35 El dispositivo 210 de medición incluye una unidad 212 de medición topográfica y una unidad 214 de medición pupilar. La unidad 212 de medición topográfica mide una topografía superficial de la superficie corneal 106 y proporciona coordenadas para el segundo punto, por ejemplo, el ápice 116 y/o el vértice 118, a la unidad 228 de determinación. La topografía o vértice superficial es medido utilizando el análisis de frente de onda, por ejemplo, proyectando anillos de Plácido sobre la superficie corneal 106.

Las coordenadas de desplazamiento para el segundo punto son proporcionadas por la unidad 212 de medición topográfica en relación con un centro de referencia de la pupila. El centro de referencia de la pupila es el centro 114 de la pupila durante la medición topográfica antes de la extirpación con láser.

40 La unidad 214 de medición pupilar detecta el borde 110 de la pupila 112 bajo diferentes condiciones de iluminación en el espectro visual, al que la pupila 112 es sensible. Las condiciones de iluminación incluyen una condición escotópica y una condición fotópica. La unidad 214 de medición pupilar mide el centro 114 de la pupila y el tamaño de la pupila 112 para cada una de las condiciones de iluminación. La medición pupilar es realizada utilizando una fuente de luz infrarroja y un dispositivo de formación de imágenes infrarrojas incluido en el dispositivo 210 de medición y proporcionando una imagen de la pupila 112 sobre todo el intervalo de condiciones de iluminación visual. En la realización alternativa del dispositivo 220 que incluye la unidad 214 de medición pupilar, la fuente de luz infrarroja y el dispositivo 226 de formación de imágenes infrarrojas del dispositivo 220 también son utilizados para la medición pupilar antes de la extirpación.

45 El tamaño de la pupila es medido ajustando un círculo al borde 110 de la pupila 112. Un diámetro del círculo ajustado representa el tamaño de la pupila. La unidad de medición pupilar proporciona el tamaño medido de la pupila en combinación con un desplazamiento del centro 114 de la pupila a la unidad 228 de determinación. La unidad 228 de determinación calcula la característica de desplazamiento del centro de la pupila, es decir, una función que proporciona el desplazamiento del centro de la pupila para un diámetro de pupila dado basándose en los valores medidos para el desplazamiento del centro de la pupila y el diámetro de la pupila. Alternativamente, la unidad 214 de medición pupilar calcula la característica de desplazamiento del centro de la pupila y proporciona la característica de desplazamiento del centro de la pupila a la unidad 228 de determinación.

55 La característica de desplazamiento del centro de la pupila es almacenada, por ejemplo, como pares de valores tabulados para el desplazamiento y el diámetro, o como coeficientes de un polinomio. El cálculo de la característica de desplazamiento del centro de la pupila incluye ajustar los valores medidos para las dos o más condiciones de iluminación

- que resultan del desplazamiento del centro de la pupila como una función del diámetro de la pupila. Los centros 114 medidos de la pupila son ajustados preferiblemente en una línea recta en la superficie corneal 106. Alternativamente, segmentos de línea recta entre los centros 114 medidos de la pupila representan la característica de desplazamiento del centro de la pupila. En una realización avanzada del dispositivo 220, la característica de desplazamiento del centro de la pupila resulta de un ajuste no lineal que utiliza los pares de valores de tres o más condiciones de iluminación.
- El dispositivo 210 de medición proporciona además un diámetro de referencia a la unidad 228 de determinación que representa el tamaño de la pupila en el momento de la medición topográfica. Basándose en el diámetro de referencia y en la característica de desplazamiento del centro de la pupila, la unidad 228 de determinación determina el centro de la pupila de referencia para determinar el segundo punto basándose en las coordenadas de desplazamiento del segundo punto en relación con el centro de referencia de la pupila.
- En una segunda realización, la aplicación oftálmica es una medición oftálmica y el campo de aplicación es un campo de medición. La segunda realización del dispositivo para centrar el campo de medición para la medición oftálmica en la córnea de un ojo incluye componentes que corresponden a los componentes 224 a 230 descritos anteriormente en el contexto de la primera realización. La segunda realización difiere en que el punto de centrado define las posiciones de medición en lugar de ubicaciones de extirpación con láser.
- La fuente 236 de luz láser y las ópticas 238 son características opcionales para la segunda realización. La segunda realización comprende una unidad de medición de OCT. La unidad de medición de OCT está acoplada a la unidad 230 de control. La unidad 230 de control controla la unidad de medición de OCT de modo que la posición de una medición de profundidad de OCT a través de la córnea 104 es reposicionada transversalmente con el fin de seguir el movimiento de la córnea 104.
- Por ejemplo, una secuencia de puntos ha de ser medida en el campo de medición. Sensible al movimiento de los ojos, la unidad 228 de determinación determina el primer punto y el segundo punto en la superficie corneal 106 y proporciona las coordenadas para el punto de centrado de la unidad 230 de control. Estas coordenadas están definidas para un sistema de coordenadas de la unidad de medición de OCT.
- Se han descrito detalles adicionales para calcular el primer punto, el segundo punto y el punto de centrado con referencia a las figs. 3 y 4. El cálculo puede ser implementado, completamente o en parte, por ejemplo, para la primera realización y/o la segunda realización del dispositivo.
- La técnica permite, dependiendo de la implementación, a un usuario cambiar el punto de centrado para el campo de aplicación ajustando el primer parámetro y/o el segundo parámetro en la interfaz 224 de control. La fig. 3 ilustra esquemáticamente una característica 300 de desplazamiento del centro de la pupila y un punto de centrado 302 ejemplar para la aplicación oftálmica.
- La pupila 112 es medida antes de la aplicación oftálmica para una condición fotópica, una condición mesópica y una condición escotópica para las que se han medido los bordes 110a, 110b y 110c, respectivamente, de la pupila 112. Los centros geométricos correspondientes a los bordes medidos 110a a 110c son los centros 114a, 114b y 114c medidos de la pupila, respectivamente. Como se ha ilustrado esquemáticamente en la fig. 3, los centros 114a a 114c de la pupila de diferentes condiciones de iluminación no coinciden (por ejemplo, cuando son proyectados sobre la superficie corneal 106). Los centros 114a, 114b y 114c de la pupila son desplazados dependiendo de la condición de iluminación. El desplazamiento es representado por la característica 300 de desplazamiento del centro de la pupila como una función del diámetro correspondiente de la pupila. En otras palabras, la característica de desplazamiento del centro de la pupila proporciona un desplazamiento (por ejemplo, como un vector de desplazamiento en la superficie corneal 106) en relación con el centro de referencia de la pupila a lo largo de la línea mostrada en el signo de referencia 300 como una función de un diámetro de pupila dado. En la realización ilustrada en la fig. 3, el intervalo de la característica 300 de desplazamiento del centro de la pupila es un segmento de línea recta. Una característica de desplazamiento del centro de la pupila no lineal es calculada para la realización avanzada del dispositivo 220 midiendo el desplazamiento y el diámetro para una pluralidad de diferentes condiciones de iluminación.
- En la realización ejemplar descrita con referencia a la fig. 3, el centro 114b mesópico de la pupila es el centro de referencia de la pupila. El dispositivo 210 de medición indica el centro 114b de referencia de la pupila proporcionando la característica de desplazamiento del centro de referencia y el diámetro de referencia del borde 110b a la unidad 228 de determinación.
- La unidad 228 de determinación determina el centro 114b de referencia de la pupila bajo cualquier condición de iluminación durante la aplicación oftálmica determinando el centro 114 actual de la pupila y el diámetro actual de la pupila, y sustrayendo el desplazamiento para el diámetro actual de pupila de acuerdo con la característica de desplazamiento del centro de la pupila.
- La unidad 228 de determinación determina el segundo punto, por ejemplo, el ápice 116 y/o el vértice 118, añadiendo el desplazamiento (mostrado en el signo de referencia 304) al centro 114b de referencia de la pupila de acuerdo con las coordenadas de desplazamiento proporcionadas por la unidad 212 de medición topográfica. Bajo ciertas condiciones, la posición medida para el ápice 116 y/o el vértice 118 como el segundo punto puede variar ligeramente dependiendo del

tamaño de la pupila.

5 Durante la aplicación oftálmica, la unidad 228 de determinación determina el primer punto (mostrado en el signo de referencia 114p). El primer punto 114p es al menos sustancialmente independiente del centro 114 actual de la pupila compensando el desplazamiento del centro de la pupila que utiliza la característica 300 de desplazamiento del centro de la pupila. El primer parámetro determina la extensión de la compensación, por ejemplo, la posición del primer punto 114p a lo largo de la línea 300 entre el centro 114a fotópico de la pupila y el centro 114c escotópico de la pupila. En otras palabras, el primer parámetro determina la posición del primer punto 114p en el intervalo de la característica 300 de desplazamiento del centro de la pupila. El primer punto 114p puede así ser predeterminado por un usuario. El primer punto 114p es independiente del centro 114 de la pupila durante la medición topográfica. La medición topográfica es, alternativa o adicionalmente, implementada por medio de una queratometría o medición de OCT.

10 El punto de centrado 302 es un punto en una línea recta entre el primer punto 114p y el segundo punto 116 o 118. La posición del punto de centrado 302 a lo largo de la línea entre el primer punto y el segundo punto está determinada por el segundo parámetro.

15 La fig. 4 ilustra esquemáticamente operaciones de cálculo realizadas por la unidad 228 de determinación. El centro actual de la pupila, cuando es capturado por el dispositivo 226 de formación de imágenes durante la aplicación oftálmica, está indicado por el signo de referencia 400. El desplazamiento 402 para el diámetro actual de la pupila de acuerdo con la característica 300 de desplazamiento del centro de la pupila es sustraído del centro 400 actual de la pupila que resulta en el centro 114b de referencia de la pupila. El desplazamiento 404 del centro de la pupila para la condición de iluminación determinada por el primer parámetro (que también es denominada como una condición de iluminación paramétrica) es añadido al centro 114b de referencia de la pupila que resulta en el primer punto 114p.

20 El primer parámetro define así la posición del primer punto 114p en el intervalo de la característica 300 de desplazamiento del centro de la pupila entre el centro 114a fotópico de la pupila y el centro 114c escotópico de la pupila. El primer parámetro permite preseleccionar el primer punto 114p, y en consecuencia, el punto de centrado 302 en la dirección indicada por una flecha 406.

25 El segundo punto 116 o 118 es calculado añadiendo el desplazamiento 304 al centro 114b de referencia de la pupila. La posición del punto de centrado 302 es determinada por el segundo parámetro en la línea recta entre el primer punto y el segundo punto. En otras palabras, para un segundo parámetro dado, el punto de centrado 302 está en una línea paralela a la línea 300 dentro de un tipo de triángulo definido por el centro 114a fotópico de la pupila, el centro 114c escotópico de la pupila y el segundo punto 116 o 118. Cuando el segundo parámetro es aumentado, el punto de centrado 302 es desplazado lejos de la línea 300 de los centros de las pupilas hacia el segundo punto 116 o 118, como se ha indicado por una flecha 408.

30 El primer parámetro es ajustado en una interfaz 224 de control como un valor de porcentaje indicativo de la condición de iluminación. Por ejemplo, cuando el primer parámetro es igual al 0%, la condición de iluminación paramétrica correspondiente puede ser la condición escotópica. El punto de centrado 302 está entonces en una línea 410 entre el centro 114c escotópico de la pupila y el segundo punto 116 o 118. Ajustando el primer parámetro al 100% corresponde a la condición de iluminación fotópica como la condición de iluminación paramétrica. El punto de centrado 302 está entonces en una línea 412 entre el centro 114a fotópico de la pupila y el segundo punto 116 o 118.

35 El segundo parámetro es introducido en la interfaz 224 de control como un valor porcentual, preferiblemente discretizado a múltiplos del 10%. Para un segundo parámetro del 0%, el punto de centrado 302 está en la línea 300. Para un segundo parámetro del 100%, el punto de centrado 302 coincide con el segundo punto 116 o 118.

40 El primer y segundo parámetros proporcionan dos grados independientes de libertad para definir el punto de centrado 302. El punto de centrado puede ser definido libremente dentro del triángulo definido por los puntos 114a, 114c y 116 (o 118) en la superficie corneal 106. La técnica permite definir numéricamente el punto de centrado 302 en la interfaz de control 224 y así proporciona la misma libertad como si un desplazamiento es realizado manualmente sin la incertidumbre y el consumo de tiempo del desplazamiento manual.

45 En la ausencia de una entrada de usuario en la interfaz 224 de control como para el primer parámetro, la interfaz de control proporciona un valor de fallo para el primer parámetro correspondiente al tamaño de pupila más grande en la característica 300 de desplazamiento del centro de la pupila, de modo que el punto de centrado 302 está en la línea 410.

50 Además, se pueden implementar las dependencias no lineales del centro 302 de extirpación y el segundo punto 116 o 118 medido. Además, el punto de centrado 302 puede estar centrado sobre un eje óptico de una lente intraocular (IOL) utilizando el primer parámetro y/o el segundo parámetro.

55 Como resulta evidente basándose en las realizaciones ejemplares anteriores, la técnica proporciona un dispositivo de modo que un usuario puede determinar libremente un centro de extirpación antes de la aplicación oftálmica especificando, por ejemplo, un tamaño paramétrico de pupila o condición de iluminación paramétrica y/o una proporción para el centro de la pupila y el ápice o vértice que evita la incertidumbre en la aplicación oftálmica causada por un desplazamiento manual.

En lo anterior, se han descrito de manera ejemplar principios, realizaciones y diferentes modos para implementar la técnica descrita en este documento. Sin embargo, la presente invención no debería interpretarse como estando limitada a los principios particulares, realizaciones y modos tratados anteriormente. Por el contrario, es evidente que pueden hacerse variaciones y modificaciones por un experto en la técnica sin salirse del marco de la presente invención como se ha definido por las reivindicaciones.

5

**REIVINDICACIONES**

1. Un dispositivo (200; 220) para centrar un campo de aplicación para una aplicación oftálmica en una córnea (104) de un ojo (100), comprendiendo el dispositivo:

una interfaz (224) de control adaptada para recibir un primer parámetro (406) antes de la aplicación oftálmica;

5 un dispositivo (226) de formación de imágenes adaptado para capturar una imagen de una pupila (112) del ojo (100) durante la aplicación oftálmica;

una unidad (228) de determinación adaptada para determinar durante la aplicación oftálmica

– un centro (114; 400) actual de la pupila y un tamaño actual de la pupila (112) basado en la imagen del dispositivo (226) de formación de imágenes,

10 – un primer punto (114p) compensando un desplazamiento del centro (114; 400) actual de la pupila que utiliza una característica (300) de desplazamiento del centro de la pupila que representa el desplazamiento como una función del tamaño de la pupila (112), en donde el primer parámetro determina una extensión de la compensación, y

15 – un segundo punto (116) en una superficie (106) de la córnea (104), en donde el segundo punto corresponde al menos sustancialmente a un ápice de la superficie corneal; y

una unidad (230) de control adaptada para controlar la aplicación oftálmica centrando el campo de aplicación en un punto de centrado (302) entre el primer punto (114p) y el segundo punto (116).

20 2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que el tamaño de la pupila (112) incluye un diámetro de la pupila, y en el que la característica (300) de desplazamiento del centro de la pupila representa el desplazamiento del centro (114) de la pupila como una función del diámetro de la pupila.

25 3. El dispositivo de la reivindicación 1 o 2, en el que el primer parámetro (406) define una condición paramétrica de la pupila o un tamaño paramétrico de la pupila correspondiente a la condición paramétrica de la pupila, y en donde el primer punto (114p) es una ubicación del centro de la pupila de acuerdo con la característica (300) de desplazamiento del centro de la pupila para la condición paramétrica de la pupila o el tamaño paramétrico de la pupila correspondiente a la condición paramétrica de la pupila, en donde opcionalmente la unidad (228) de determinación determina el primer punto (114p) sustrayendo del centro (114; 400) actual de la pupila el desplazamiento (402) para el tamaño actual de acuerdo con la característica (300) de desplazamiento del centro de la pupila y añadiendo el desplazamiento (404) al tamaño paramétrico de la pupila de acuerdo con la característica (300) de desplazamiento del centro de la pupila.

30 4. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que un dominio de la característica (300) de desplazamiento del centro de la pupila incluye un tamaño (110c) escotópico de la pupila, en el que opcionalmente la interfaz (224) de control está adaptada adicionalmente para ajustar un valor por defecto para el primer parámetro al tamaño (110c) escotópico de la pupila, el tamaño más grande de la pupila en un dominio de la característica (300) de desplazamiento del centro de la pupila, una condición escotópica de la pupila, una condición de la pupila correspondiente al tamaño más grande de la pupila en el dominio de la característica (300) de desplazamiento del centro de la pupila, u otro tamaño de la pupila o condición de la pupila.

35 5. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que la característica (300) de desplazamiento del centro de la pupila es calculada basándose en un centro (114a, 114b, 114c) medido de la pupila y un tamaño medido (110a, 110b, 110c) de la pupila (112), cada uno de los cuales es medido para al menos una condición fotópica y una condición escotópica de la pupila.

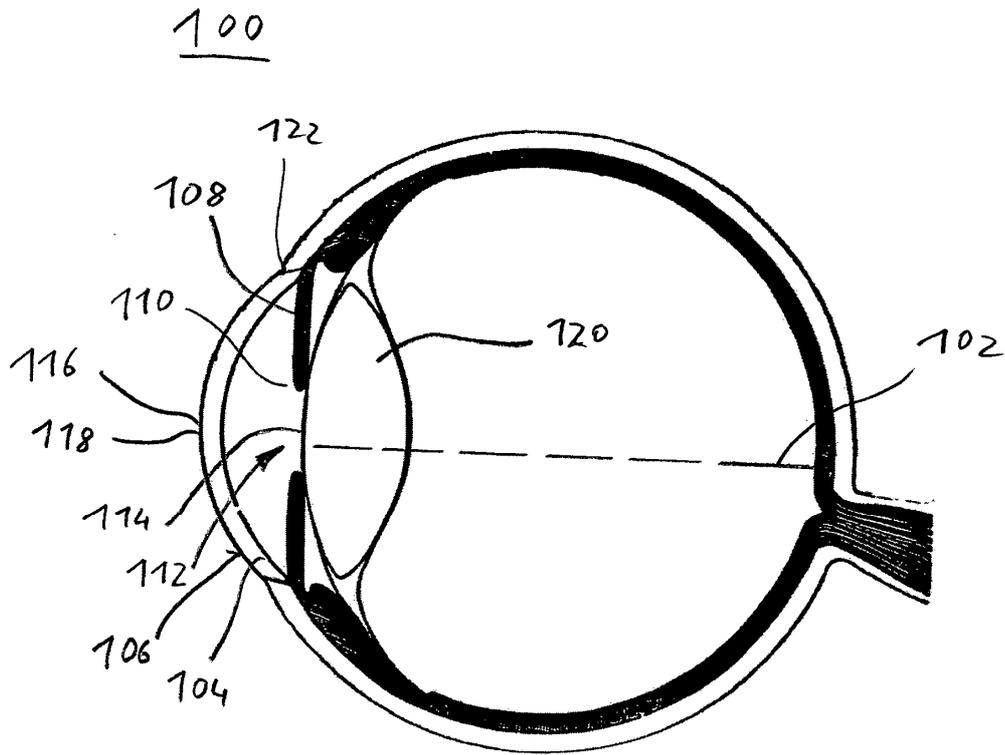
40 6. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la unidad (228) de determinación está adaptada para determinar el segundo punto (116) basándose en un desplazamiento (304) en relación con un centro (114b) de referencia de la pupila, en el que opcionalmente la unidad de determinación (228) está adaptada además para recibir, antes de la aplicación oftálmica, coordenadas para la compensación (304).

45 7. El dispositivo de la reivindicación 6, en el que la unidad (228) de determinación está adaptada además para determinar el centro (114b) de referencia de la pupila sustrayendo del centro (114; 400) actual de la pupila el desplazamiento (402) para el tamaño actual (110) de acuerdo con la característica (300) de desplazamiento del centro de la pupila, en donde opcionalmente la unidad (228) de determinación está adaptada además para recibir, antes de la aplicación oftálmica, un tamaño (110b) de referencia, en donde el centro (114b) de referencia de la pupila es determinado añadiendo además el desplazamiento para el tamaño de referencia de la pupila de acuerdo con la característica (300) de desplazamiento del centro de la pupila.

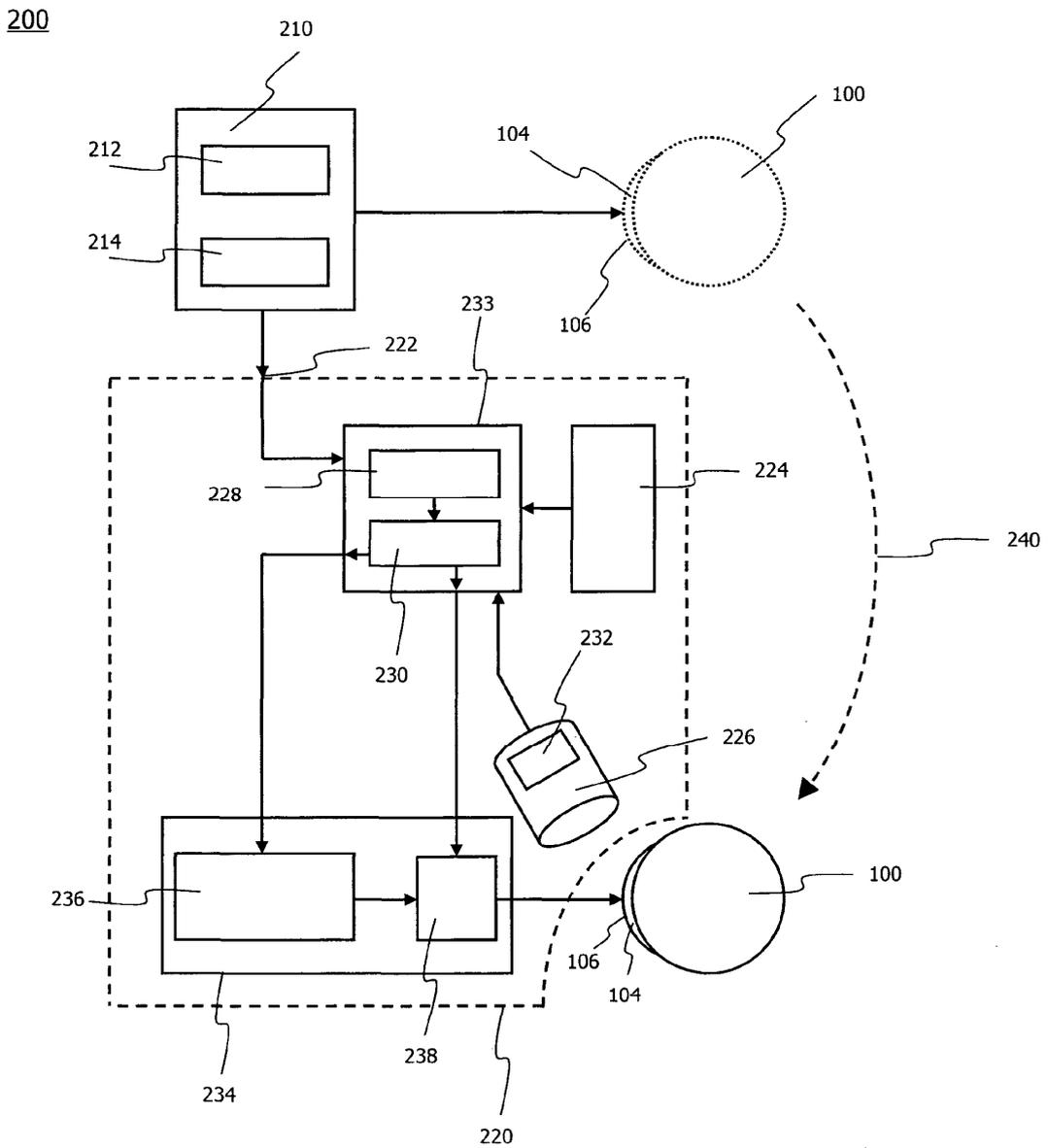
50 8. El dispositivo de la reivindicación 7, que comprende además una unidad (212) de medición topográfica adaptada para medir, al menos sustancialmente al mismo tiempo, el ápice (116) basándose en una topografía de la superficie corneal

(106), el centro (114b) de referencia de la pupila y el diámetro (110b) de referencia de la pupila, y para calcular la compensación entre el ápice (116) y centro (114b) de referencia de la pupila.

- 5 9. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, que comprende además una unidad (214) de medición pupilar adaptada para medir ópticamente, antes de la aplicación oftálmica, el desplazamiento del centro (114) de la pupila y para medir el tamaño de la pupila (112), en donde opcionalmente una interfaz óptica orientable hacia el ojo (100) es común para la unidad (214) de medición pupilar y la unidad (212) de medición topográfica, y en donde el desplazamiento representa una separación espacial entre el centro (114b) de referencia de la pupila y un centro (114) medido de la pupila.
- 10 10. El dispositivo de la reivindicación 9, en el que la unidad (228) de determinación está adaptada además para recibir coordenadas para el desplazamiento en combinación con el tamaño medido, y para calcular la característica de desplazamiento del centro de la pupila basándose en las coordenadas de desplazamiento y en el tamaño (110a, 110b, 110c) de la pupila (112) antes de la aplicación oftálmica.
- 15 11. El dispositivo de la reivindicación 9 o 10, en el que la unidad (214) de medición pupilar está adaptada para medir el desplazamiento del centro (114) de la pupila y el tamaño (110) de la pupila bajo diferentes condiciones de iluminación del ojo (100), en donde la unidad (214) de medición pupilar incluye una fuente de luz infrarroja para iluminar el ojo bajo una condición escotópica y una fuente de luz visible para iluminar el ojo bajo una condición fotópica, en donde opcionalmente las condiciones de iluminación incluyen al menos tres condiciones diferentes.
- 20 12. El dispositivo de la reivindicación 11, en donde los desplazamientos de acuerdo con la característica de desplazamiento del centro de la pupila para tamaños de pupila entre la condición escotópica y la condición fotópica están en una línea curvada entre el centro (114a) de la pupila de la condición fotópica y el centro (114c) de la pupila de la condición escotópica.
- 25 13. El dispositivo de la reivindicación 11 o 12, en el que el desplazamiento del centro (114) de la pupila de acuerdo con la característica de desplazamiento del centro de la pupila cambia de forma no lineal como una función de un diámetro de la pupila (112) desde el centro (114a) de la pupila de la condición fotópica al centro de la pupila de la condición escotópica (114c).
- 30 14. El dispositivo de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13, en el que el punto de centrado (302) es un punto en una línea recta entre el primer punto (114p) y el segundo punto (116), en donde la interfaz (224) de control está adaptada además para recibir un segundo parámetro, definiendo el segundo parámetro la posición del punto de centrado en la línea recta, en donde opcionalmente el primer parámetro y el segundo parámetro definen el punto de centrado (302) de la aplicación oftálmica dentro de un tipo de triángulo en la superficie corneal (106), que se extiende por el ápice (116), el centro (114a) fotópico de la pupila y el centro (114c) escotópico de la pupila.

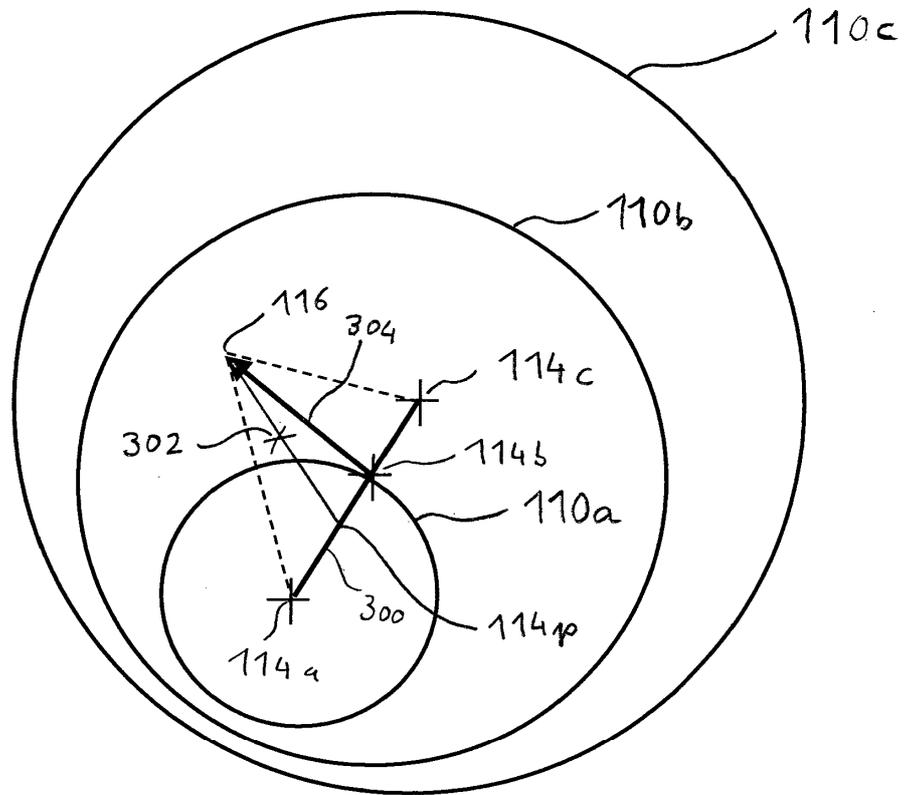


**Fig. 1**



**Fig. 2**

106



**Fig. 3**

