(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 640 437**

(51) Int. CI.:

A61C 13/00 (2006.01)
A61B 90/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.04.2012 PCT/US2012/031942**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **11.10.2012 WO12138624**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.04.2012 E 12767234 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2017 EP 2693976**

(54) Título: **Sistema y método para planificación y simulación quirúrgica maxilofacial tridimensional**

(30) Prioridad:

07.04.2011 US 201113081895
07.04.2011 US 201113081869

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
03.11.2017

(73) Titular/es:

DOLPHIN IMAGING SYSTEMS, LLC (100.0%)
9200 Eton Avenue
Chatsworth, CA 91311-5807, US

(72) Inventor/es:

LIAO, SWANWA

(74) Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

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

Sistema y método para planificación y simulación quirúrgica maxilofacial tridimensional

Campo técnico

La presente descripción se refiere en general a la formación de imágenes dentofacial, y más particularmente a sistemas y métodos para la planificación quirúrgica usando la formación de imágenes dentofacial.

Antecedentes

La cirugía dentofacial, también conocida como cirugía oral y maxilofacial, se emplea a menudo para corregir un amplio espectro de enfermedades, lesiones y defectos en la cabeza, el cuello, la cara, las mandíbulas y los tejidos duros y blandos de la región oral y maxilofacial de los seres humanos u otros pacientes no humanos. A medida que las capacidades de los ordenadores y el software mejoran, los facultativos de la cirugía dentofacial usan cada vez más herramientas dentofaciales de formación de imágenes, asistidas por ordenador, con el fin de modelar características dentofaciales de los pacientes, diagnosticar enfermedades, lesiones y defectos, planificar procedimientos quirúrgicos dentofaciales y otros tratamientos, y educar a los pacientes con relación a diagnósticos y tratamientos.

Por ejemplo, para planificar y simular una cirugía dentofacial, un facultativo puede, con la ayuda de una herramienta asistida por ordenador, modificar virtualmente diversos huesos o segmentos de hueso del paciente por mediación de una interfaz de usuario de un ordenador. Tal planificación y tal simulación asistidas por ordenador puede permitir que el facultativo simule el efecto de diversos ajustes quirúrgicos en un paciente, incluyendo efectos en la apariencia estética del paciente. Sin embargo, las herramientas tradicionales de planificación y simulación quirúrgicas asistidas por ordenador tienen importantes desventajas. Por ejemplo, las imágenes digitales de los tejidos faciales de un paciente generadas por dispositivos de formación de imágenes pueden incluir ruido indeseable y otros artefactos. Así, muchas herramientas tradicionales de planificación y simulación permiten que el facultativo realice la "limpieza" de una imagen digital para eliminar ruido de la imagen. Sin embargo, dicha limpieza del ruido es complicada debido a las formas no lineales y tridimensionales de los tejidos que comprenden una cabeza humana. Como otro ejemplo, las herramientas tradicionales de planificación y simulación típicamente permiten que un facultativo haga ajustes quirúrgicos bidimensionales del hueso y generan una respuesta bidimensional simulada de tejidos blandos basada en tales ajustes, lo que no permite que el facultativo vea un modelo tridimensional de la respuesta de los tejidos blandos.

Además, métodos de la técnica anterior tales como el descrito en el documento WO 02/03304 han usado complejos modelos estadísticos en lugar de modelos físicos. Este método requiere un conjunto de información de entrenamiento antes de que se pueda usar para un paciente dado y está limitado por la cantidad de información de entrenamiento.

Sumario

De acuerdo con las enseñanzas de la presente divulgación, se pueden reducir sustancialmente o eliminar desventajas y problemas asociados con enfoques tradicionales de la planificación quirúrgica que usan la formación de imágenes dentofacial.

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un método como se define en la reivindicación 1.

De acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un artículo de fabricación como se define en la reivindicación 6.

De acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un sistema de computación como se define en la reivindicación 11.

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, un método puede incluir mapear una elipse con su centro en el origen de un plano de coordenadas xy a un círculo con su centro en el origen del plano de coordenadas xy. El método incluye transformar una imagen tridimensional de sujeto que incluye un perfil curvado en el plano de coordenadas xy en una imagen intermedia basándose al menos en el mapeo de la elipse a un círculo base. El método incluye además transformar la imagen intermedia en una imagen transformada que tiene un perfil lineal

distorsionando cada uno de uno o más puntos de interés de la imagen intermedia basándose al menos en una dimensión del círculo y una coordenada de tal punto.

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, un artículo de fabricación incluye un medio no transitorio legible por ordenador e instrucciones ejecutables por ordenador llevadas en el medio legible por ordenador, ejecutables las instrucciones por uno o más procesadores y configuradas para hacer que el o los procesadores: (i) mapeen una elipse con su centro en el origen de un plano de coordenadas xy a un círculo con su centro en el origen del plano de coordenadas xy; (ii) transformen una imagen tridimensional de sujeto que incluye un perfil curvado en el plano de coordenadas xy en una imagen intermedia basándose al menos en el mapeo de la elipse a un círculo base; y (iii) transformen la imagen intermedia en una imagen transformada que tiene un perfil lineal distorsionando cada uno de uno o más puntos de interés de la imagen intermedia basándose al menos en una dimensión del círculo y una coordenada de tal punto.

De acuerdo con realizaciones de la presente divulgación, un sistema de computación incluye un procesador y una memoria acoplada de manera comunicativa al procesador y que tiene almacenado en ella un programa de instrucciones configurado para, cuando se ejecuta mediante el procesador: (i) mapear una elipse con su centro en el origen de un plano de coordenadas xy a un círculo con su centro en el origen del plano de coordenadas xy; (ii) transformar una imagen tridimensional de sujeto que incluye un perfil curvado en el plano de coordenadas xy en una imagen intermedia basándose al menos en el mapeo de la elipse a un círculo base; y (iii) transformar la imagen intermedia en una imagen transformada que tiene un perfil lineal distorsionando cada uno de uno o más puntos de interés de la imagen intermedia basándose al menos en una dimensión del círculo y una coordenada de tal punto.

Otras ventajas técnicas serán evidentes para los expertos en la técnica en vista de la memoria descriptiva, las reivindicaciones y los dibujos siguientes.

Breve descripción de los dibujos

Una comprensión más completa de los presentes aspectos, y de realizaciones y ventajas de ellos, puede ser adquirida haciendo referencia a la siguiente descripción tomada conjuntamente con los dibujos que se acompañan, en los que números de referencia similares indican características similares, y en los que:

las figuras 1A, 1B y 2A-2D exhiben otra pantalla de interfaz de usuario de ejemplo de una herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador;

la figura 3 es un diagrama de flujo que exhibe un método de ejemplo para la transformación de una imagen tridimensional con un perfil curvado en un perfil lineal tridimensional;

las figuras 4-6 exhiben representaciones gráficas de diversas etapas para la transformación de una imagen tridimensional con un perfil curvado en un perfil lineal tridimensional;

las figuras 7 y 9 exhiben otras pantallas de interfaz de usuario de ejemplo de una herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador; y

la figura 8 exhibe una imagen tridimensional de tejido blando de un paciente y una imagen bidimensional de tejido blando de un paciente, incluyendo hitos particulares de la cara del paciente en cada una de las imágenes;

las figuras 10 y 11 exhiben imágenes de vista frontal bidimensional y vista lateral derecha de un paciente con diversos polígonos y puntos de control superpuestos sobre las imágenes para uso al modificar las imágenes en respuesta al movimiento simulado de tejido óseo; y

la figura 12 exhibe un diagrama de bloques de un sistema de computación de ejemplo.

Descripción detallada

Las figuras 1A, 1B y 2A-2D exhiben un ejemplo de usuario interfaz 400 de una herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador. En particular, la pantalla 400 de interfaz de usuario puede ser visualizada para un usuario para ayudar a un usuario a "limpiar" una imagen de la anatomía de un paciente. Por ejemplo, para planificar eficazmente una cirugía, un usuario puede desear eliminar artefactos de imagen causados por ruido en un dispositivo de formación de imágenes. Como otro ejemplo, un usuario puede desear recortar ciertas estructuras anatómicas (por ejemplo, aparatos ortodóncicos, dientes, etc.) de tal manera que la imagen resultante exhiba

estructuras anatómicas deseadas.

Para ilustrar, la pantalla 400 de interfaz de usuario de las figuras 1A y 1B incluye dos vistas diferentes de una imagen 402 de superficie segmentada de la mandíbula 404 de un paciente. La imagen 402 de superficie segmentada puede exhibir la superficie externa de una porción particular de la anatomía de un paciente y puede ser generada de cualquier manera adecuada. Por ejemplo, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede generar una imagen 402 de superficie segmentada basándose en datos producidos por formación de imágenes del paciente usando radiografía u otra formación de imágenes médica. La herramienta quirúrgica asistida por ordenador también puede permitir que un usuario manipule la imagen 402 de superficie segmentada para obtener diferentes vistas de la imagen 402 de superficie segmentada. Como ejemplo, un usuario puede, por mediación de uno o más dispositivos de interfaz de usuario (por ejemplo, ratón, teclado, etc.), introducir acciones o comandos para visualizar una vista diferente de la imagen 402 de superficie segmentada (por ejemplo, girar desde la vista de la figura 1A a la vista de la figura 1B) permitiendo a un usuario diversas perspectivas de la imagen tridimensional 402 de superficie segmentada. La herramienta quirúrgica asistida por ordenador también puede permitir que un usuario realice otras acciones sobre la imagen 402 de superficie segmentada, incluyendo seleccionar y eliminar porciones no deseadas de la imagen 402 de superficie segmentada.

Para ilustrar, en las figuras 1A y 1B, la imagen 402 de superficie segmentada incluye no sólo una mandíbula 404 del paciente y dientes inferiores de tal mandíbula 404, sino también los dientes superiores del paciente, que un usuario puede desear recortar de la imagen 402. Sin embargo, la naturaleza curvada de la mandíbula del paciente puede hacer difícil la selección y la supresión de características no deseadas. Por ejemplo, si un usuario selecciona la fila superior de dientes de una vista anterior de la mandíbula 404 como se indica por la selección 406 en la figura 1A, la selección 406 puede solaparse a otras características de la mandíbula 404 que el usuario desea retener en la imagen 402. De este modo, la supresión de dicha selección 406 puede suprimir indeseablemente tales características. Como otro ejemplo, si el usuario selecciona la fila superior de dientes de una vista lateral derecha de la mandíbula 404 como se indica por la selección 408 en la figura 1B, la selección 408 puede solaparse a características en el lado izquierdo de la mandíbula 404 que el usuario desea retener en la imagen 402, y la supresión de tal selección 408 puede suprimir indeseablemente tales características.

Para reducir o eliminar tales desventajas, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede permitir que un usuario introduzca una acción o comando (por ejemplo, usando un ratón u otro dispositivo señalador para marcar la casilla de verificación denominada "Modo estirado" en la pantalla 400 de interfaz) para transformar la representación de la mandíbula 404 en la imagen 402 de tal manera que la mandíbula curvada se deforma en una forma lineal, como se exhibe en las figuras 2A (vista inferior de la mandíbula 404) y 2B (vista anterior de la mandíbula 404). Tal transformación puede hacerse de modo que los puntos que representan la superficie de la mandíbula 404 se trasladan sólo en una dirección latitudinal (por ejemplo, permanecen a la misma altura). Con tal representación, un usuario puede seleccionar la fila superior de dientes, como se indica mediante la selección 410, y suprimir tal selección 410, como se muestra en la figura 2C. En consecuencia, es menos probable que se eliminen las características que el usuario desea retener, ya que la representación lineal de la mandíbula 404 puede reducir o evitar la supresión de otras características detrás de los dientes que se van a eliminar de la imagen 402. La figura 2D exhibe una vista anterior de la mandíbula 404 después de la linealización de la mandíbula 404 y la selección y supresión de la fila superior de dientes como se muestra en las figuras 2A-2C.

Aunque las figuras 1A, 1B y 2A-2D exhiben la linealización de una imagen de una mandíbula humana, se pueden usar técnicas similares para la linealización de cualquier otra imagen tridimensional que tenga una característica curvada (por ejemplo, un maxilar).

La figura 3 es un diagrama de flujo que exhibe un método 600 de ejemplo para la transformación de una imagen tridimensional con un perfil curvado en un perfil lineal tridimensional. Por ejemplo, las etapas de la figura 3 pueden emplearse para transformar una imagen de una mandíbula o maxilar desde su forma curvada natural hasta una forma lineal. El método 600 puede realizarse mediante una herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador o cualquier otro programa ejecutable adecuado de instrucciones materializado en un medio legible por ordenador.

En la etapa 602, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador y/o un usuario de la misma pueden definir una curva base 414 y un plano de coordenadas xy para la imagen tridimensional a transformar. Por ejemplo, tal como se representa en las figuras 2A a 2C, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede visualizar un panel 412 que permite a un usuario definir interactivamente la curva base 414 como una semi-elipse que tiene un radio menor y un radio mayor deseados. Además, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede superponerse a una vista de la imagen tridimensional (por ejemplo, maxilar,

mandíbula) perpendicular al perfil curvado de la imagen del sujeto a transformar en el panel 412, lo que puede proporcionar al usuario una guía para definir las dimensiones de la curva base 414. Además, la curva base 414 puede definir un plano de coordenadas xy (por ejemplo, en el que la base de la semi-elipse de la curva base 414 puede comprender el eje x) y la alineación de la vista de la imagen tridimensional relativa a la curva base puede definir las ubicaciones de puntos de la imagen en tal sistema de coordenadas xy.

En la etapa 604, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede mapear una elipse que tiene su radio menor a y su radio mayor b igual al de la semi-elipse de la curva base 414 a un círculo base que tiene su origen en el centro del origen del plano xy. El círculo base puede tener un radio igual al radio menor de la elipse, el radio mayor de la elipse, o algún otro radio. Un ejemplo de tal mapeo se ilustra en la figura 4, teniendo el círculo base un radio igual a b, el radio mayor de la elipse.

En la etapa 606, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede realizar una primera transformación que transforma la imagen del sujeto en una imagen intermedia basándose en el mapeo de la elipse definida por la curva base 414 al círculo base. Para ilustrar, la imagen a transformar puede ser una imagen de superficie segmentada, que está definida por una pluralidad de puntos en el espacio tridimensional (por ejemplo, coordenadas x, y y z) que sirven como puntos finales de una pluralidad de triángulos que forman la superficie segmentada. Si el eje z de tal sistema de coordenadas es sustancialmente perpendicular a una vista del perfil curvado de la imagen (por ejemplo, perpendicular a la vista superior o inferior de un maxilar o mandíbula), entonces la coordenada z de cada punto P_i de la imagen de superficie segmentada puede permanecer al mismo valor durante esta primera transformación. Además, la coordenada y de cada punto P_i también puede permanecer igual ya que la elipse definida por la curva base puede ser "estirada" hasta el círculo base sólo en el eje x. En consecuencia, en la primera transformación pueden modificarse sólo las coordenadas x de cada punto P_i, y pueden modificarse de acuerdo con las siguientes ecuaciones (suponiendo que el círculo base tiene un radio igual al radio mayor de la elipse base):

$$P_x' = P_x \times b / a$$

$$P_y' = P_y$$

$$P_z' = P_z$$

donde P_x, P_y y P_z son respectivamente las coordenadas x, y y z de cada punto P_i en la imagen a transformar, P_x', P_y' y P_z' son respectivamente las coordenadas x, y y z de cada correspondiente punto P_i' en la imagen intermedia, a es el radio menor de la curva base 114 y b es el radio del círculo y el radio mayor de la curva base 114. La figura 5 ilustra esta primera transformación en el plano xy.

En la etapa 608, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede realizar una segunda transformación que transforma la imagen intermedia en una imagen transformada con el perfil curvado de la imagen del sujeto transformada en un perfil lineal. En la transformación, cada punto de interés en la imagen intermedia (por ejemplo, cada punto de una imagen de superficie segmentada) se puede modificar de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

$$P_x'' = b \times \arctan (P_x' / P_y')$$

$$P_y'' = \sqrt{} (P_x'^2 + P_y'^2)$$

$$P_z'' = P_z'$$

donde P_x'', P_y'' y P_z'' son respectivamente las coordenadas x, y y z de cada punto P_i'' en la imagen transformada, P_x', P_y' y P_z' son respectivamente las coordenadas x, y y z de cada correspondiente punto P_i' en la imagen intermedia, y b es el radio del círculo y el radio mayor de la curva base 114. La figura 6 ilustra esta segunda transformación en el plano xy.

En la etapa 610, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede visualizar la imagen transformada (por ejemplo, en un visualizador como se muestra en las figuras 2A o 2B). Una vez completada la etapa 610, el método 600 puede terminar.

Aunque la figura 3 divulga un número particular de etapas a tomar con respecto al método 600, se entiende que el método 600 puede ejecutarse con pasos mayores o menores que los representados en la figura 3. Además, aunque

la figura 3 describe un cierto orden de etapas a tomar con respecto al método 600, las etapas que comprende el método 600 pueden completarse en cualquier orden adecuado.

El método 600 puede implementarse utilizando un sistema que se puede operar para implementar el método 600, incluyendo, sin limitación, el sistema de ordenador 1200 exhibido en la figura 12. En ciertas realizaciones, el método 600 puede implementarse parcial o totalmente en un software materializado en medios legibles por ordenador.

Después de que una imagen haya sido transformada, un usuario de la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede, por mediación de una interfaz de usuario, "limpiar" artefactos no deseados de una imagen (por ejemplo, seleccionando artefactos no deseados y suprimiendo tales selecciones). Después de tal limpieza, un usuario puede desear transformar la imagen transformada de nuevo en una imagen con un perfil curvado. En consecuencia, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede transformar la imagen de nuevo en una imagen limpia con un perfil curvado aplicando los cálculos inversos de los aplicados anteriormente a diversos puntos de interés en la imagen transformada.

La figura 7 representa una pantalla 1000 de interfaz de usuario de ejemplo de una herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador. La pantalla 1000 de interfaz de usuario puede facilitar la planificación del usuario de un procedimiento de osteotomía, simulando la respuesta del tejido blando de un paciente ante movimientos de tejido óseo por debajo del tejido blando. Como se muestra en la figura 7, la pantalla 1000 de interfaz de usuario puede incluir uno o más paneles 1002 que representan una vista bidimensional de características craneofaciales de un paciente, incluyendo tejido óseo y tejido blando. Las imágenes exhibidas en tales vistas pueden ser creadas por la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador u otro programa de instrucciones basándose en una radiografía u otra imagen de los tejidos de la cabeza de un individuo.

Como se muestra en la figura 7, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede exhibir tejidos blandos de las características craneofaciales como parcialmente transparentes en los paneles 1002, permitiendo que se vea tejido óseo bajo los tejidos blandos superpuestos. En ciertas realizaciones, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede permitir a un usuario variar la opacidad o transparencia de los tejidos blandos. Además, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede cargar una fotografía u otra imagen que exhiba rasgos superficiales de la cara del paciente, y superponer y contornear tal imagen sobre las diversas vistas exhibidas en los paneles 1002, permitiendo la simulación quirúrgica de la respuesta de rasgos faciales superficiales al movimiento del tejido óseo en una osteotomía. Por ejemplo, se puede usar una cámara tridimensional para capturar una imagen de la superficie facial de un paciente, y tal imagen de superficie facial tridimensional puede ser superpuesta sobre la imagen de los tejidos blandos, según técnicas conocidas. Como otro ejemplo, se pueden usar una o más imágenes faciales bidimensionales para capturar imágenes de las superficies faciales de un paciente, y dichas imágenes bidimensionales pueden ser envueltas sobre la superficie de la imagen tridimensional del tejido blando del paciente, como se ilustra en la figura 8. La figura 8 exhibe una imagen tridimensional de un tejido blando 1052 del paciente y una imagen bidimensional de las características faciales superficiales 1054 de un paciente, incluyendo hitos particulares 1056, 1058, 1060, 1062, 1064 y 1066 de la cara del paciente en cada imagen 1052 y 1054. Por ejemplo, una herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede presentar a un usuario una interfaz de usuario similar a la exhibida en la figura 8, y un usuario puede, por mediación de la interfaz de usuario, identificar las características correspondientes en cada una de la imagen 1052 de tejido blando y de la imagen 1054 de característica superficial facial. Por ejemplo, el usuario puede identificar, sin limitación, la línea media 1056, la línea de nasion 1058, la línea superior de nostril 1060, la línea subnasal 1062, la línea de estomion 1064 y el borde de las líneas de ojo 1066. Pueden hacerse identificaciones de hito similares a otras imágenes bidimensionales de las características superficiales de un paciente, y tales imágenes bidimensionales pueden estar superpuestas sobre la imagen tridimensional de volumen de tejido blando de acuerdo con técnicas conocidas.

Volviendo a la figura 7, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede permitir que un usuario defina varios cortes del maxilar y mandíbula de un paciente, definiendo así porciones de tejido óseo que pueden ser movidas durante una osteotomía (por ejemplo, ramas mandibulares 1004, cuerpo mandibular 1006, mentón 1008, lados maxilares 1010 y frente maxilar 1012), y permitiendo al usuario (por ejemplo, a través de comandos o acciones de entrada a través de teclado, ratón u otro dispositivo) simular tales movimientos utilizando la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador trasladando y/o girando tales diversas porciones de tejido óseo.

La figura 9 exhibe otra pantalla 1100 de interfaz de usuario de ejemplo de una herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador que se puede usar en conexión con la planificación de osteotomía. Como se muestra en la figura 9, la pantalla 1100 de interfaz de usuario puede incluir uno o más paneles 1002 que representan

una vista bidimensional de las características craneofaciales de un paciente, incluyendo tejido óseo y tejido blando, y un panel 1102 que tiene una imagen tridimensional 1104, giratoria por el usuario, que exhibe los tejidos blandos y/o las características faciales superficiales de un paciente. Inicialmente, la imagen 1104 puede crearse basándose en una radiografía u otra imagen médica del tejido blando externo de un paciente y una fotografía u otra imagen de las características faciales superficiales del paciente superpuestas y contorneadas al tejido blando externo.

Un usuario puede interactuar con la pantalla 1100 de interfaz de usuario (por ejemplo, utilizando un teclado, ratón y/u otro dispositivo de entrada del usuario) para simular el movimiento (por ejemplo, traslación o rotación) de una porción del tejido óseo del paciente y, en respuesta, la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede volver a dibujar una o más de las imágenes bidimensionales en los paneles 1002 para mostrar el movimiento de tal porción de tejido óseo y simular la respuesta del tejido blando del paciente al movimiento, así como redibujar la imagen 1104 para simular la respuesta del tejido blando del paciente y las características faciales superficiales al movimiento. Además, el usuario puede interactuar con la pantalla 1100 de interfaz de usuario (por ejemplo, utilizando un teclado, ratón y/u otro dispositivo de entrada de usuario) para girar la imagen 1104 en el panel 1102 para obtener perspectivas variables de la imagen 1104 para evaluar el efecto de movimientos de osteotomía en la apariencia exterior del paciente. De este modo, la interfaz 1100 de usuario puede permitir ventajosamente a un usuario la capacidad de simular movimientos en vistas fijas bidimensionales, mientras observa la respuesta del paciente en una imagen tridimensional giratoria.

La herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador puede redibujar basándose en el movimiento simulado de tejido óseo usando cualquier enfoque adecuado. Las figuras 10 y 11 ilustran tal enfoque. Las figuras 10 y 11 exhiben una imagen 1070 de vista frontal bidimensional y una imagen 1080 de vista lateral derecha bidimensional (como se pueden visualizar en los paneles 1002) de un paciente con diversos polígonos 1090 y puntos 1095 de control superpuestos sobre las imágenes para uso en la modificación de las imágenes en respuesta al movimiento simulado de tejido óseo. En algunas realizaciones, tal como se muestra en las figuras 10 y 11, para cada vista bidimensional de un paciente (por ejemplo, vista frontal, vista izquierda, vista derecha, etc.), se pueden definir (por ejemplo, o bien por un usuario de la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador o bien por algoritmos de la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador que reconoce características de la cara de un paciente) una serie de polígonos 1090 (por ejemplo triángulos), definiendo cada polígono 1090 una región de la cara del paciente en la vista particular. Los vértices de tales polígonos 1090 pueden servir como puntos 1095 de control. Los polígonos y vértices no pueden aparecer en realidad a un usuario durante la simulación quirúrgica, sino que pueden existir como una construcción lógica para ser utilizada por la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador para modificar matemáticamente y/o algorítmicamente las imágenes del paciente.

Cuando un usuario de la herramienta de planificación quirúrgica asistida por ordenador simula un movimiento de tejido óseo, cada punto 1095 de control puede ser trasladado basándose en su proximidad a la porción de tejido óseo subyacente que se está moviendo y el grado en que se movió el tejido óseo subyacente. Por ejemplo, para un movimiento simulado de un hueso de mentón, los puntos 1095 de control próximos al mentón del paciente pueden ser trasladados a una distancia mayor que los puntos 1095 de control próximos a los labios del paciente. Además, los diferentes píxeles de las imágenes bidimensionales e imágenes tridimensionales pueden ser trasladados, redibujados y visualizados en la pantalla 1100 de interfaz de usuario basándose en la proximidad de dichos píxeles a los puntos 1095 de control trasladados y el grado en que los puntos 1095 de control fueron trasladados.

La figura 12 representa un diagrama de bloques de un sistema 1200 de computación de ejemplo, de acuerdo con realizaciones de la presente divulgación. El sistema 1200 de computación puede utilizarse en su totalidad o en parte para proporcionar o realizar diversas funciones y operaciones descritas anteriormente con respecto a las figuras 1-8. Como se muestra en la figura 12, el sistema 1200 de computación puede incluir un procesador 1202, una memoria 1204 y una lógica 1206.

El sistema 1200 de computación puede comprender cualquier combinación de hardware y/o software implementado en uno o más módulos para proporcionar o realizar las funciones y operaciones descritas anteriormente con respecto a las figuras 1-11. En algunas realizaciones, el sistema 1200 de computación puede comprender un ordenador central, un ordenador personal de uso general (PC), un Macintosh, una estación de trabajo, un ordenador basado en Unix, un ordenador servidor o cualquier dispositivo de procesamiento adecuado. En algunas realizaciones, las funciones y operaciones descritas anteriormente pueden realizarse mediante un grupo de múltiples sistemas 1200 de computación.

La memoria 1200 puede comprender cualquier disposición adecuada de memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de sólo lectura (ROM), disco de ordenador magnético, CD-ROM u otro medio de almacenamiento

magnético, óptico o de estado sólido, o cualesquiera otros dispositivos de memoria volátil o no volátil que almacenan uno o más archivos, listas, tablas u otras disposiciones de información. Aunque la figura 12 ilustra la memoria 1204 como interna al sistema de computación, debe entenderse que la memoria 1204 puede ser interna o externa al sistema 1200 de computación, dependiendo de implementaciones particulares. La memoria 1204 puede estar separada o integrarse a otros dispositivos de memoria para conseguir cualquier disposición adecuada de dispositivos de memoria para uso al proporcionar o realizar operaciones o funcionalidad deseadas.

La memoria 1204 puede ser además operable para almacenar la lógica 1206. La lógica 1206 comprende generalmente reglas, algoritmos, código, tablas y/u otras instrucciones adecuadas ejecutables por el procesador 1202 para proporcionar o realizar las funciones y operaciones descritas anteriormente con respecto a las figuras 1-11.

La memoria 1204 puede estar acoplada de manera comunicativa al procesador 1202. El procesador 1202 puede ser operable en general para ejecutar lógica para llevar a cabo las operaciones descritas en el presente documento. El procesador 1202 puede comprender cualquier combinación adecuada de hardware y software implementada en uno o más módulos para proporcionar la función u operación descrita.

Aunque la presente divulgación ha sido descrita en detalle, debe entenderse que pueden hacerse diversos cambios, sustituciones y alteraciones a la misma sin salir del alcance de la invención como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método que comprende:

transformar una imagen tridimensional que representa al menos rasgos cráneo-faciales de tejido óseo de un paciente en una imagen bidimensional interactiva que representa los mismos rasgos cráneo-faciales de tejido óseo de un paciente mediante la definición de una elipse base que define adicionalmente un plano de coordenadas x-y para la imagen tridimensional y mediante la definición de un círculo base que tiene su centro en el origen del plano de coordenadas x-y, transformando entonces la imagen bidimensional en una imagen intermedia mediante el mapeo de la elipse base en el círculo base, transformando entonces la imagen intermedia en un perfil lineal que forma la imagen bidimensional interactiva que tiene una o más porciones asociadas, cada una, con una correspondiente porción de un rasgo cráneo-facial de tejido óseo y que contiene al menos un polígono o punto de control superpuesto sobre la imagen en al menos una ubicación;

visualizar una o más imágenes bidimensionales interactivas de tal manera que un usuario puede, por mediación de un dispositivo de entrada de usuario, provocar el movimiento de al menos una de las una o más porciones de tal imagen bidimensional para simular el movimiento de la correspondiente porción del tejido óseo del paciente en un procedimiento de osteotomía;

visualizar una imagen tridimensional que representa rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente;

recibir entrada procedente de un usuario relativa al movimiento de una porción particular de una o más porciones de la imagen bidimensional, en el que la entrada provoca el movimiento de al menos un polígono o punto de control a al menos una nueva ubicación; y

re-dibujar la imagen tridimensional basándose al menos en el movimiento de la porción particular de la imagen bidimensional para simular la respuesta de los rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente al movimiento de una porción del tejido óseo del paciente correspondiente a la porción particular de la imagen bidimensional, en el que el re-dibujo usa al menos una ubicación de al menos un polígono o punto de control.

2. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente incluyen rasgos superficiales de la cara del paciente.

3. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el movimiento de una porción particular del tejido óseo del paciente incluye al menos una de entre la rotación y la traslación de la porción particular del tejido óseo.

4. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la o las imágenes bidimensionales también representan rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente, comprendiendo adicionalmente el método redibujar la imagen bidimensional basándose al menos en el movimiento de la porción particular de la imagen bidimensional para simular la respuesta de los rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente al movimiento de una porción del tejido óseo del paciente correspondiente a la porción particular de la imagen bidimensional.

5. Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que los rasgos cráneo-faciales de tejido óseo incluyen al menos uno de entre el maxilar y la mandíbula del paciente.

6. Un artículo de fabricación, que comprende:

un medio no transitorio legible por ordenador; y

instrucciones ejecutables por ordenador llevadas en el medio legible por ordenador, ejecutables las instrucciones por uno o más procesadores y configuradas para hacer que el o los procesadores:

transformen una imagen tridimensional que representa al menos rasgos cráneo-faciales de tejido óseo de un paciente en una imagen bidimensional interactiva que representa los mismos rasgos cráneo-faciales de tejido óseo de un paciente mediante la definición de una elipse base que define adicionalmente un plano de coordenadas x-y para la imagen tridimensional y mediante la definición de un círculo base que tiene su centro en el origen del plano de coordenadas x-y, transformando entonces la imagen bidimensional en una imagen intermedia mediante el mapeo de la elipse base en el círculo base, transformando entonces la imagen intermedia en un perfil lineal que forma la imagen bidimensional interactiva que tiene una o más porciones asociadas, cada una, con una correspondiente

porción de un rasgo cráneo-facial de tejido óseo y que contiene al menos un polígono o punto de control superpuesto sobre la imagen en al menos una ubicación;

visualicen una o más imágenes bidimensionales interactivas de tal manera que un usuario puede, por mediación de un dispositivo de entrada de usuario, provocar el movimiento de al menos una de las una o más porciones de tal imagen bidimensional para simular el movimiento de la correspondiente porción del tejido óseo del paciente en un procedimiento de osteotomía;

visualicen una imagen tridimensional que representa rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente;

reciban entrada procedente de un usuario relativa al movimiento de una porción particular de una o más porciones de la imagen bidimensional, en el que la entrada provoca el movimiento de al menos un polígono o punto de control a al menos una nueva ubicación; y

re-dibujen la imagen tridimensional basándose al menos en el movimiento de la porción particular de la imagen bidimensional para simular la respuesta de los rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente al movimiento de una porción del tejido óseo del paciente correspondiente a la porción particular de la imagen bidimensional, en el que el re-dibujo usa al menos una ubicación de al menos un polígono o punto de control.

7. Un artículo de método de fabricación de acuerdo con la reivindicación 6, en el que los rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente incluyen rasgos superficiales de la cara del paciente.

8. Un artículo de método de fabricación de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el movimiento de una porción particular del tejido óseo del paciente incluye al menos una de entre la rotación y la traslación de la porción particular del tejido óseo.

9. Un artículo de método de fabricación de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la o las imágenes bidimensionales también representan rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente, comprendiendo adicionalmente el método redibujar la imagen bidimensional basándose al menos en el movimiento de la porción particular de la imagen bidimensional para simular la respuesta de los rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente al movimiento de una porción del tejido óseo del paciente correspondiente a la porción particular de la imagen bidimensional.

10. Un artículo de método de fabricación de acuerdo con la reivindicación 6, en el que los rasgos cráneo-faciales de tejido óseo incluyen al menos uno de entre el maxilar y la mandíbula del paciente.

11. Un sistema de computación, que comprende:

un procesador; y

una memoria acoplada de manera comunicativa al procesador y que tiene almacenado en ella un programa de instrucciones configurado para, cuando se ejecuta mediante el procesador:

transformar una imagen tridimensional que representa al menos rasgos cráneo-faciales de tejido óseo de un paciente en una imagen bidimensional interactiva que representa los mismos rasgos cráneo-faciales de tejido óseo de un paciente mediante la definición de una elipse base que define adicionalmente un plano de coordenadas x-y para la imagen tridimensional y mediante la definición de un círculo base que tiene su centro en el origen del plano de coordenadas x-y, transformando entonces la imagen bidimensional en una imagen intermedia mediante el mapeo de la elipse base en el círculo base, transformando entonces la imagen intermedia en un perfil lineal que forma la imagen bidimensional interactiva que tiene una o más porciones asociadas, cada una, con una correspondiente porción de un rasgo cráneo-facial de tejido óseo y que contiene al menos un polígono o punto de control superpuesto sobre la imagen en al menos una ubicación;

visualizar una o más imágenes bidimensionales interactivas de tal manera que un usuario puede, por mediación de un dispositivo de entrada de usuario, provocar el movimiento de al menos una de las una o más porciones de tal imagen bidimensional para simular el movimiento de la correspondiente porción del tejido óseo del paciente en un procedimiento de osteotomía;

visualizar una imagen tridimensional que representa rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente;

recibir entrada procedente de un usuario relativa al movimiento de una porción particular de una o más porciones de la imagen bidimensional, en el que la entrada provoca el movimiento de al menos un polígono o punto de control a al menos una nueva ubicación; y

re-dibujar la imagen tridimensional basándose al menos en el movimiento de la porción particular de la imagen bidimensional para simular la respuesta de los rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente al movimiento de una porción del tejido óseo del paciente correspondiente a la porción particular de la imagen bidimensional, en el que el re-dibujo usa al menos una ubicación de al menos un polígono o punto de control.

12. Un sistema de computación de acuerdo con la reivindicación 11, en el que los rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente incluyen rasgos superficiales de la cara del paciente.

13. Un sistema de computación de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el movimiento de una porción particular del tejido óseo del paciente incluye al menos una de entre la rotación y la traslación de la porción particular del tejido óseo.

14. Un sistema de computación de acuerdo con la reivindicación 11, en el que la o las imágenes bidimensionales también representan rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente, comprendiendo adicionalmente el método redibujar la imagen bidimensional basándose al menos en el movimiento de la porción particular de la imagen bidimensional para simular la respuesta de los rasgos cráneo-faciales de tejido blando exterior del paciente al movimiento de una porción del tejido óseo del paciente correspondiente a la porción particular de la imagen bidimensional.

15. Un sistema de computación de acuerdo con la reivindicación 11, en el que los rasgos cráneo-faciales de tejido óseo incluyen al menos uno de entre el maxilar y la mandíbula del paciente.

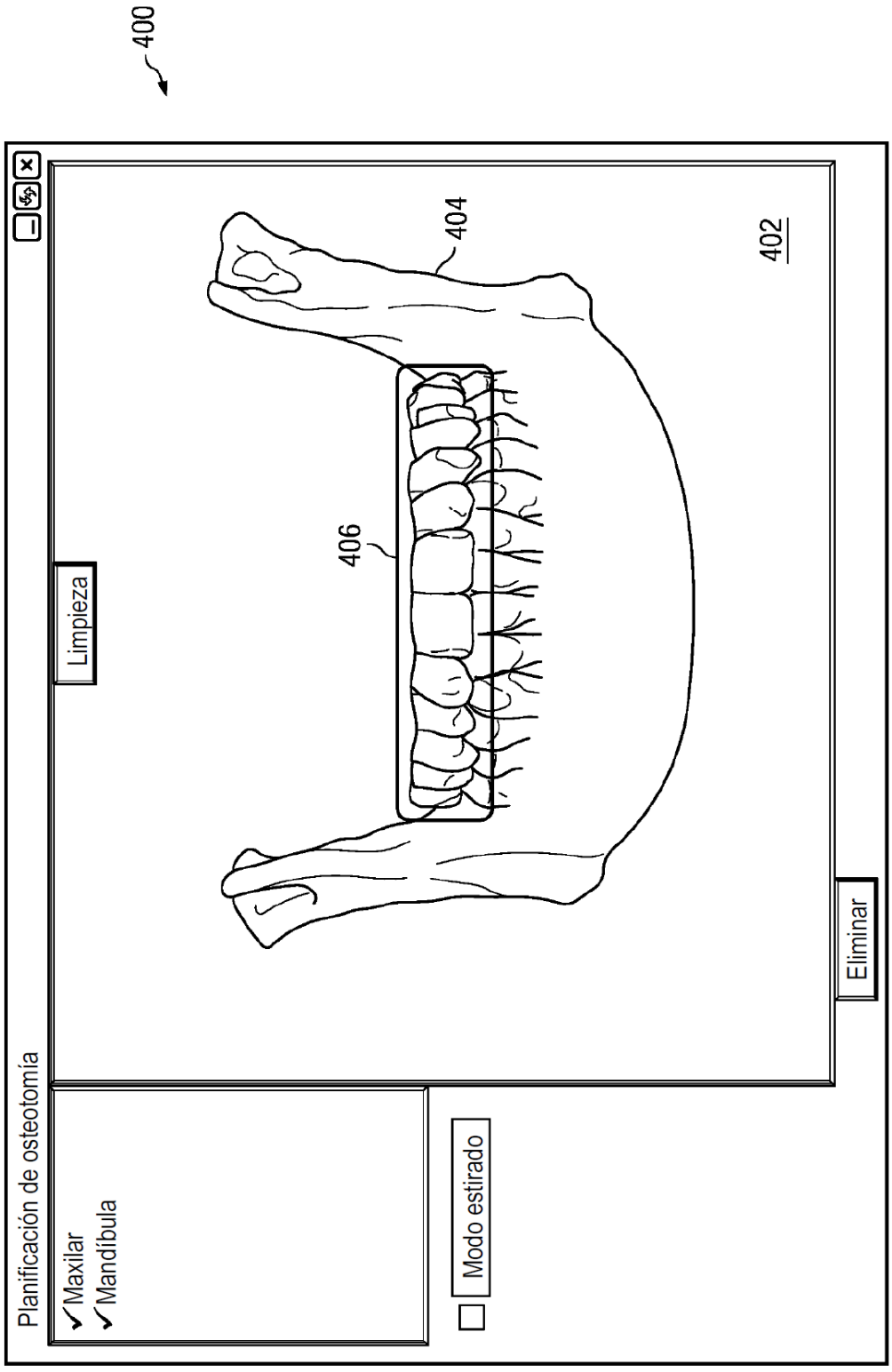

400
Planificación de osteotomía
Maxilar
Mandíbula
Limpieza
Modo estirado
Eliminar
402
404
406

FIG. 1A

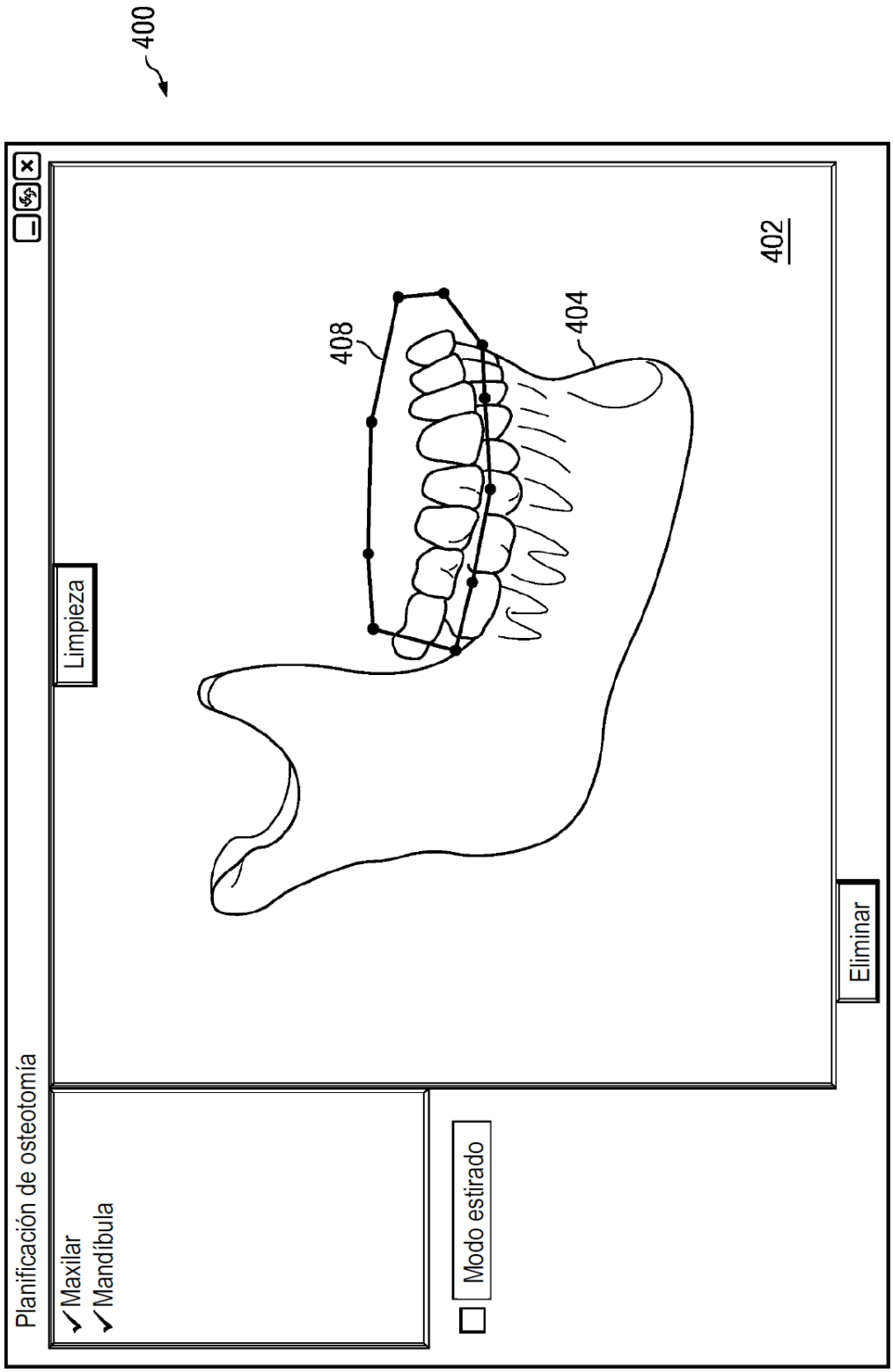

400
Planificación de osteotomía
✓Maxilar
✓Mandíbula
Limpieza
Modo estirado
Eliminar
402
404
408

FIG. 1B

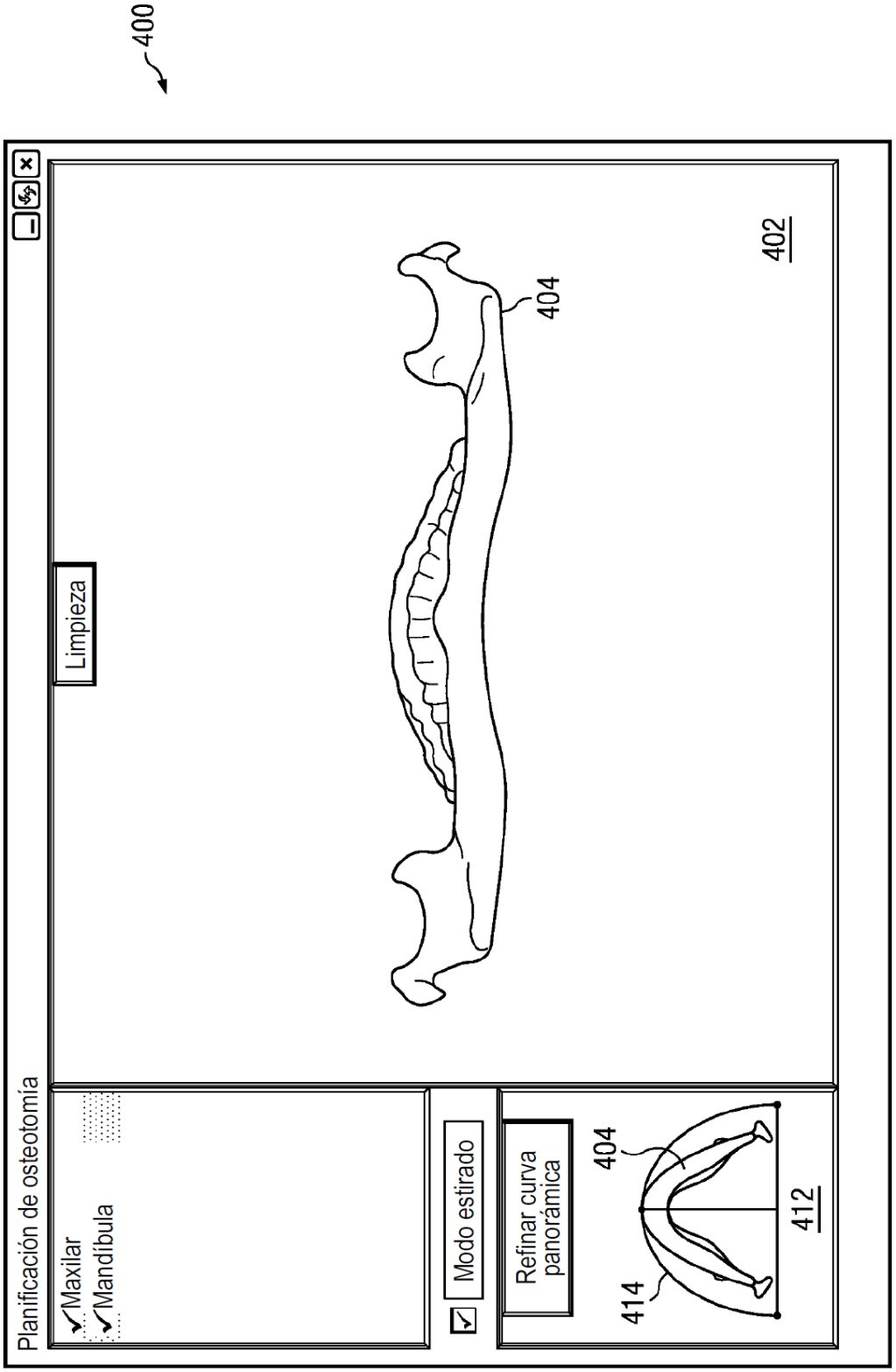

400
Planificación de osteotomía
Maxilar
Mandíbula
Limpieza
Modo estirado
Refinar curva panorámica
404
414
412
404
402

FIG. 2A

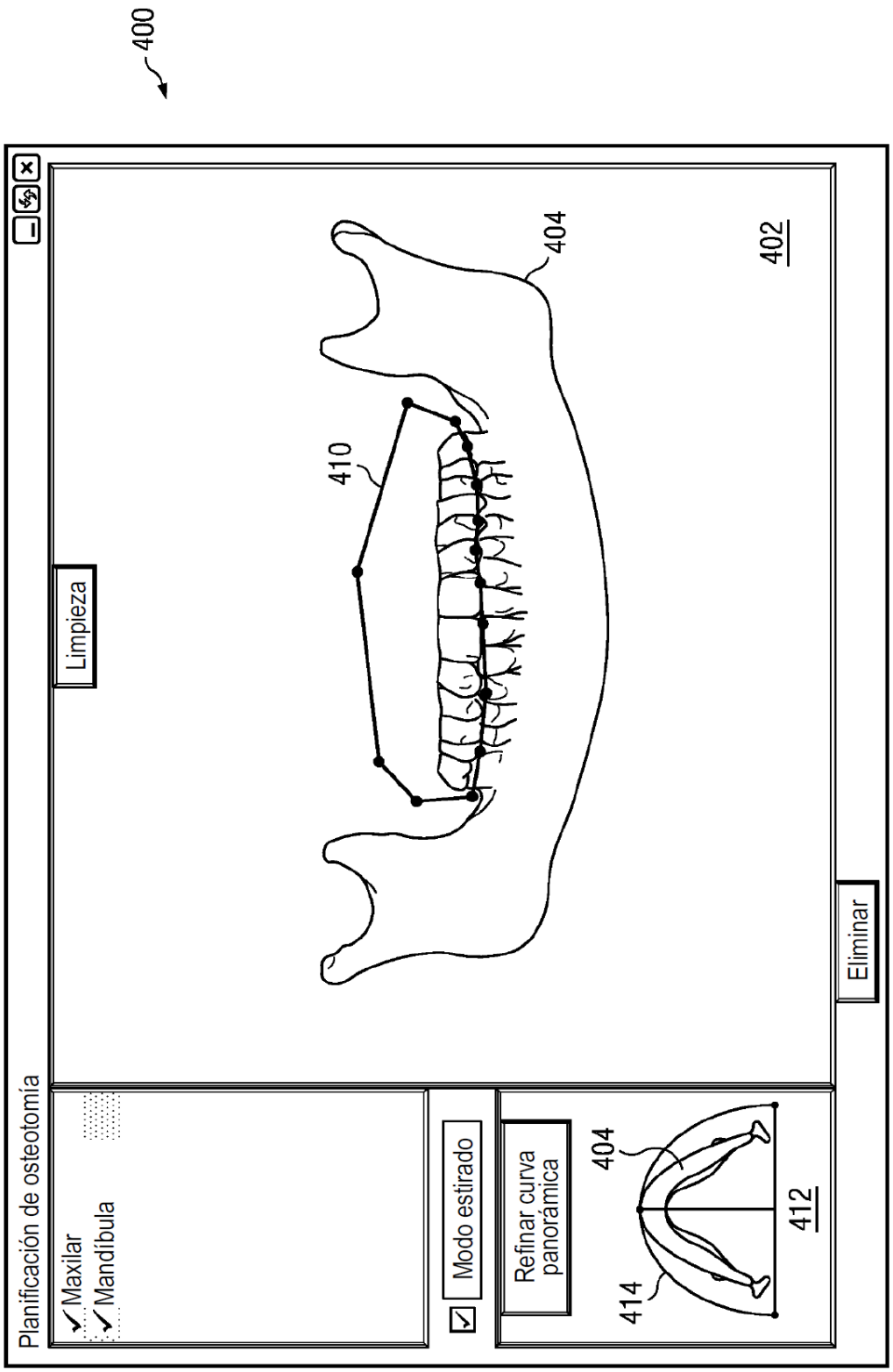

400
Planificación de osteotomía
Maxilar
Mandíbula
Limpieza
Modo estirado
Refinar curva panorámica
Eliminar
410
404
402
404
414
412

FIG. 2B

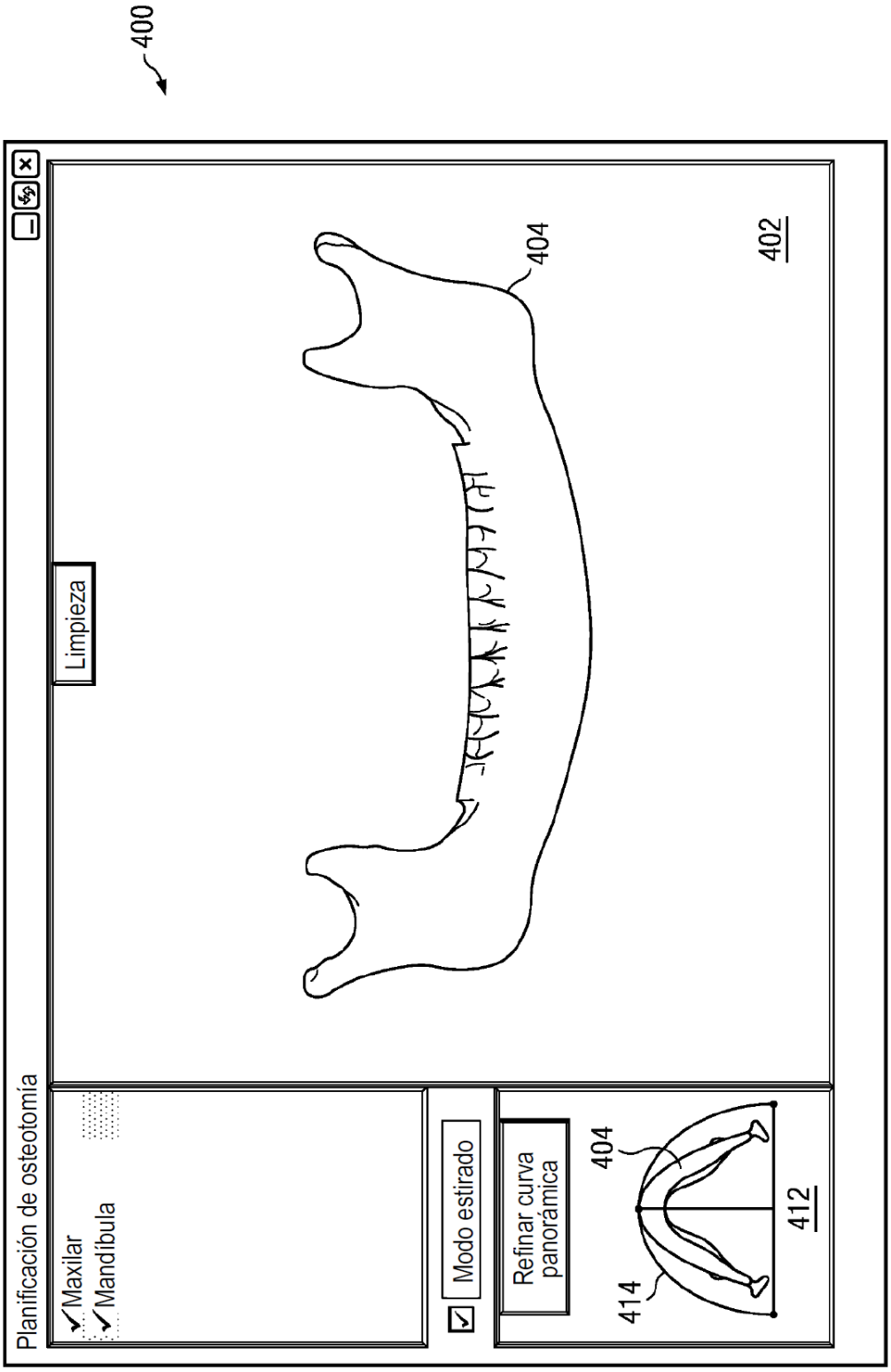

400
Planificación de osteotomía
Maxilar
Mandíbula
Limpieza
404
402
Modo estirado
Refinar curva panorámica
404
414
412

FIG. 2C

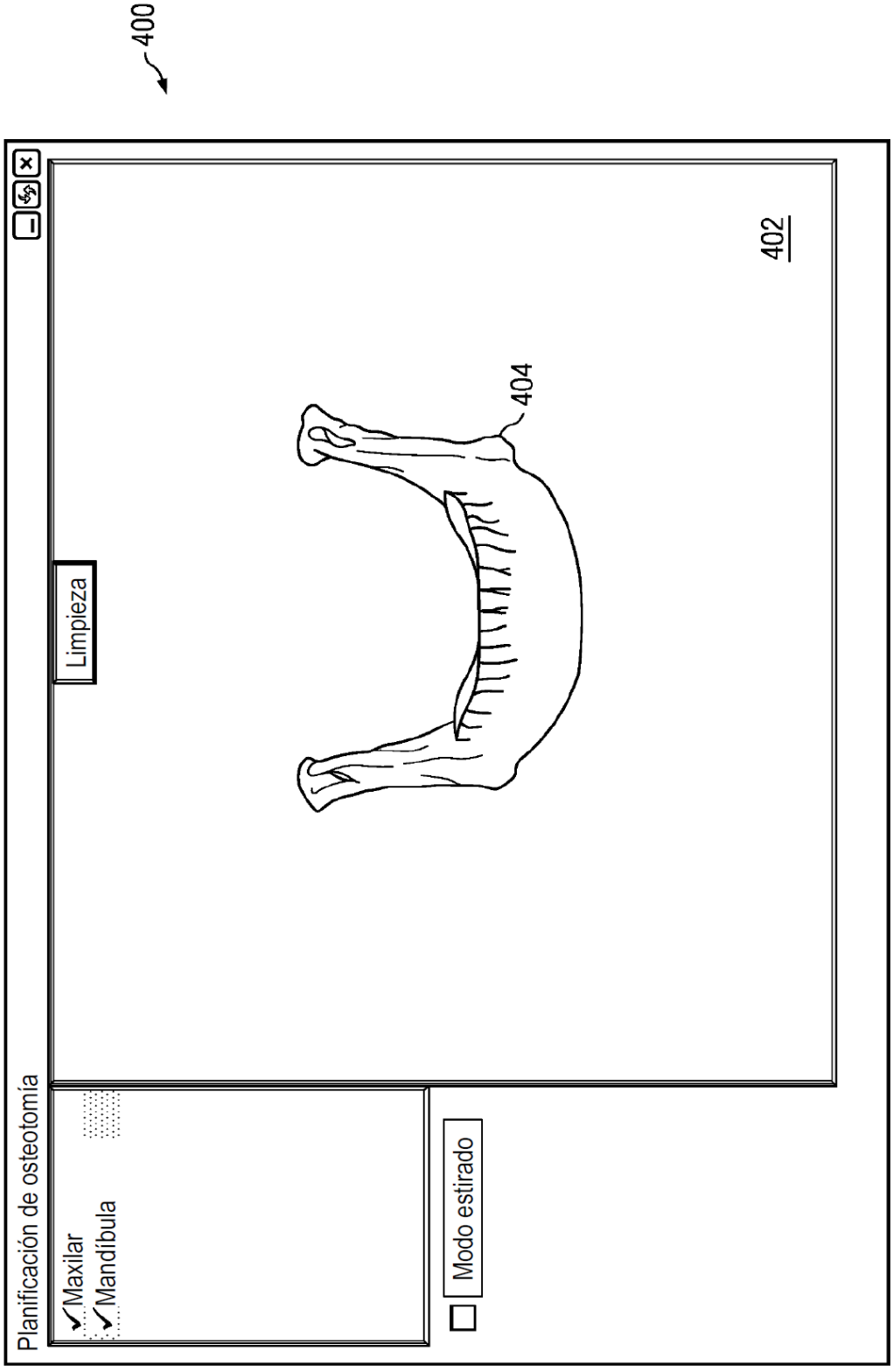

400
Planificación de osteotomía
Maxilar
Mandíbula
Limpieza
Modo estirado
404
402

FIG. 2D

FIG. 3

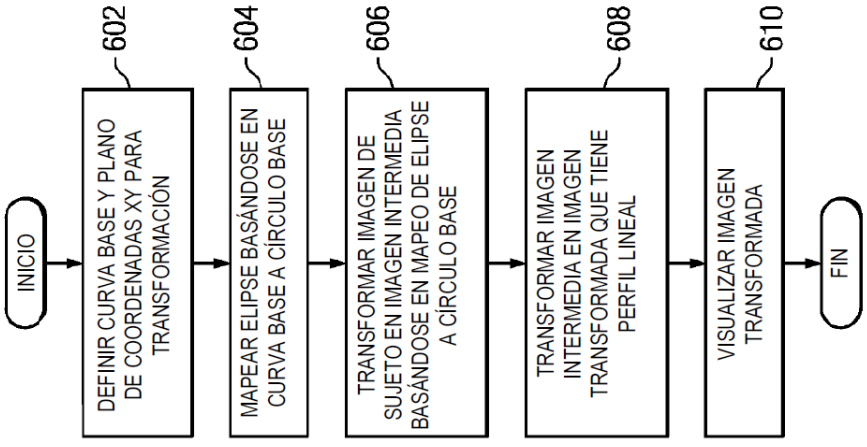
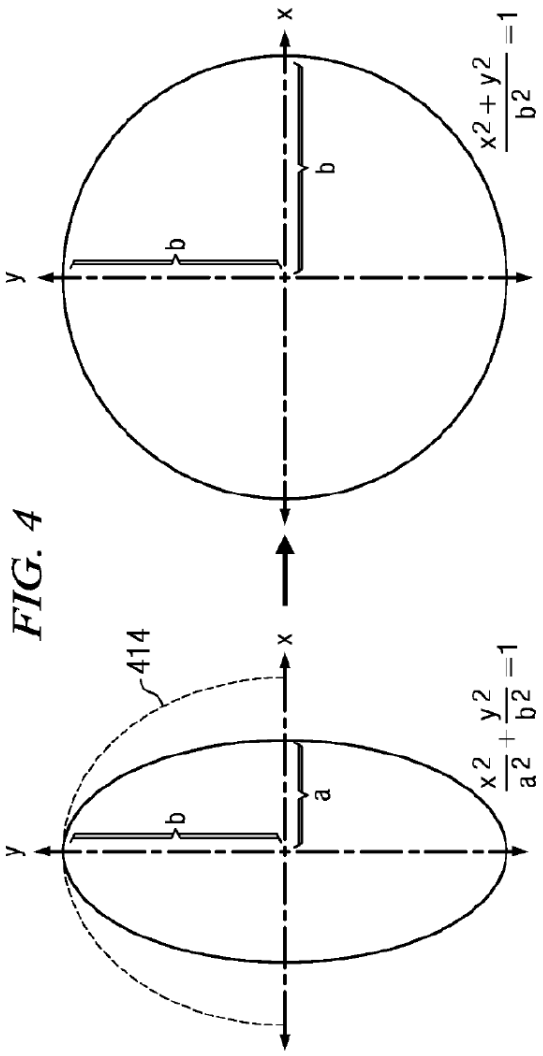

INICIO
602
DEFINIR CURVA BASE Y PLANO DE COORDENADAS XY PARA TRANSFORMACIÓN
604
MAPEAR ELIPSE BASÁNDOSE EN CURVA BASE A CÍRCULO BASE
606
TRANSFORMAR IMAGEN DE SUJETO EN IMAGEN INTERMEDIA BASÁNDOSE EN MAPEO DE ELIPSE A CÍRCULO BASE
608
TRANSFORMAR IMAGEN INTERMEDIA EN IMAGEN TRANSFORMADA QUE TIENE PERFIL LINEAL
610
VISUALIZAR IMAGEN TRANSFORMADA
FIN

FIG. 4


414
x
y
b
a
$\frac{x^2}{a^2}+\frac{y^2}{b^2}=1$
x
y
b
b
$\frac{x^2+y^2}{b^2}=1$

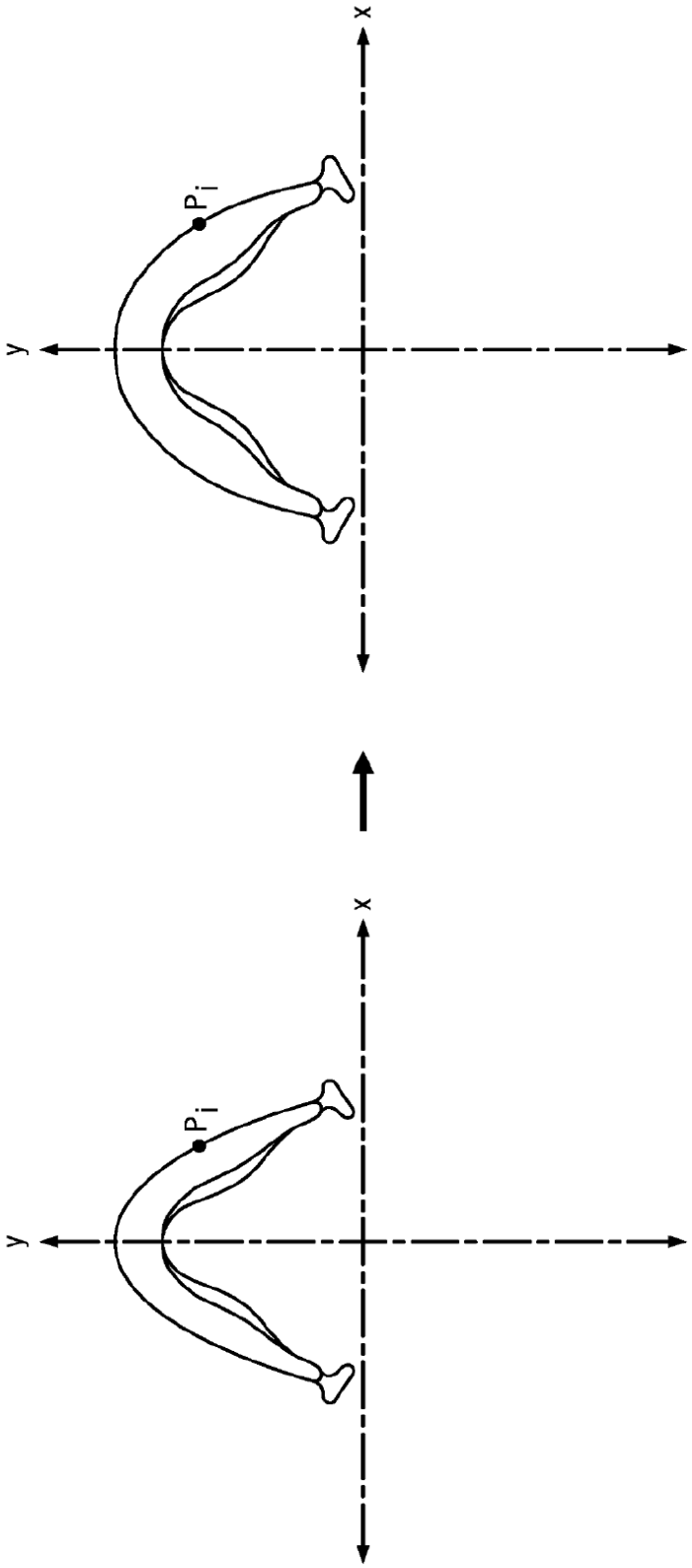


FIG. 5

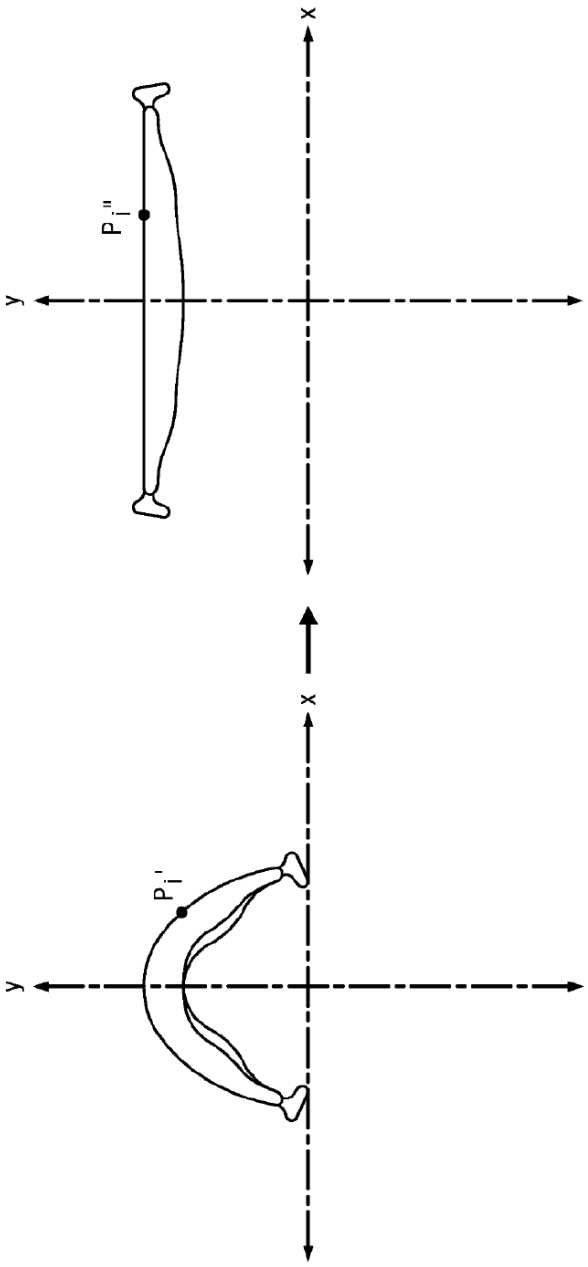

x
y
P_j''
x
y
P_j'

FIG. 6

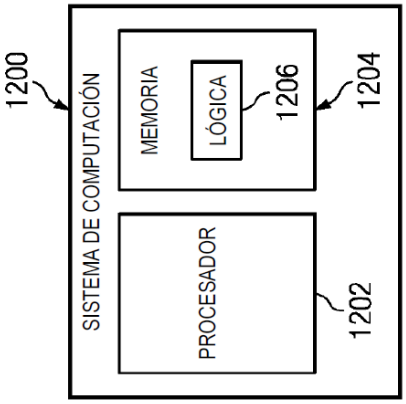
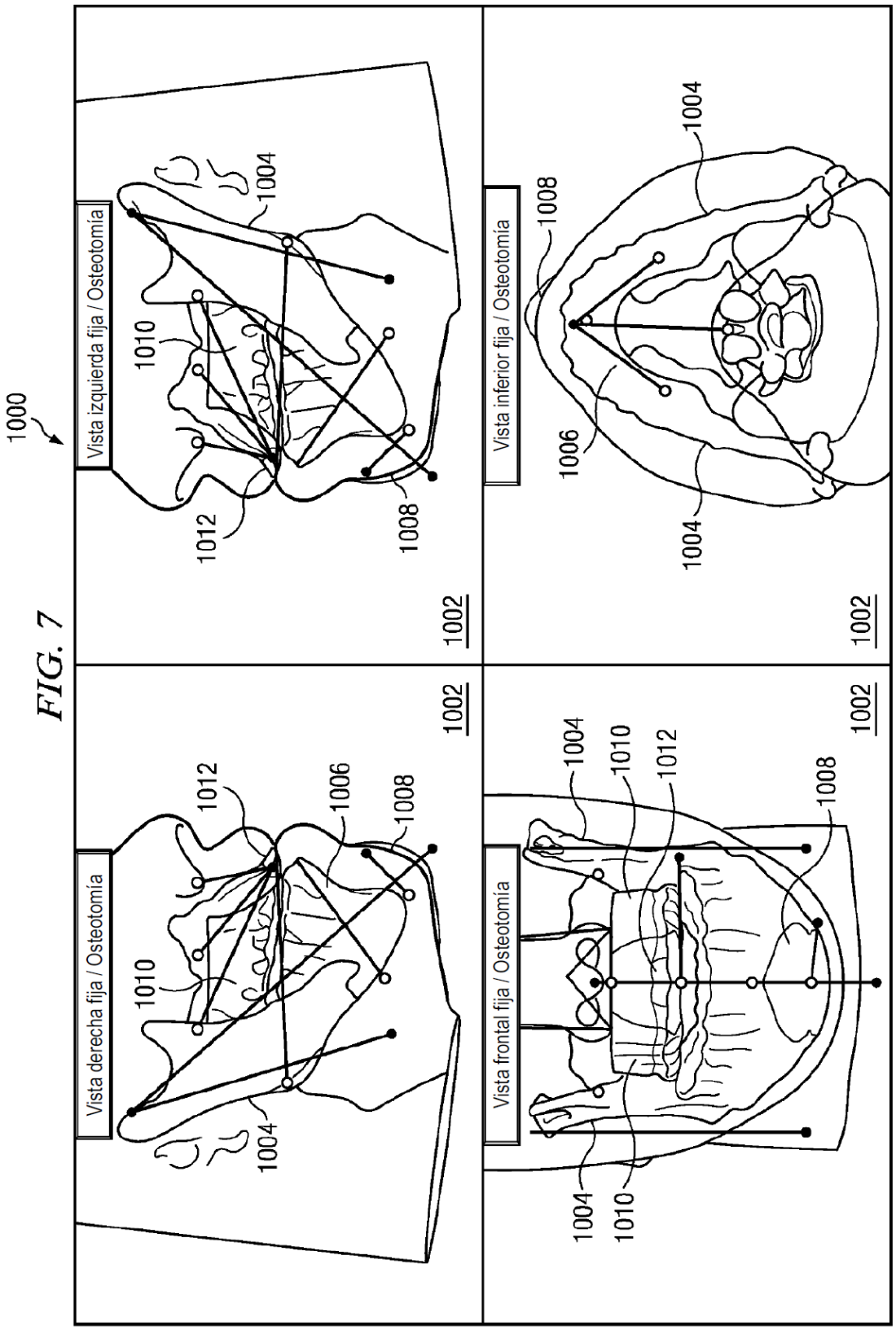

1200
SISTEMA DE COMPUTACIÓN
MEMORIA
LÓGICA
1206
1204
PROCESADOR
1202

FIG. 12

FIG. 7


1000
Vista izquierda fija / Osteotomía
1010
1004
1012
1008
1002
Vista derecha fija / Osteotomía
1012
1006
1008
1010
1004
1002
Vista inferior fija / Osteotomía
1008
1004
1006
1004
1002
Vista frontal fija / Osteotomía
1004
1010
1012
1008
1004
1010
1002

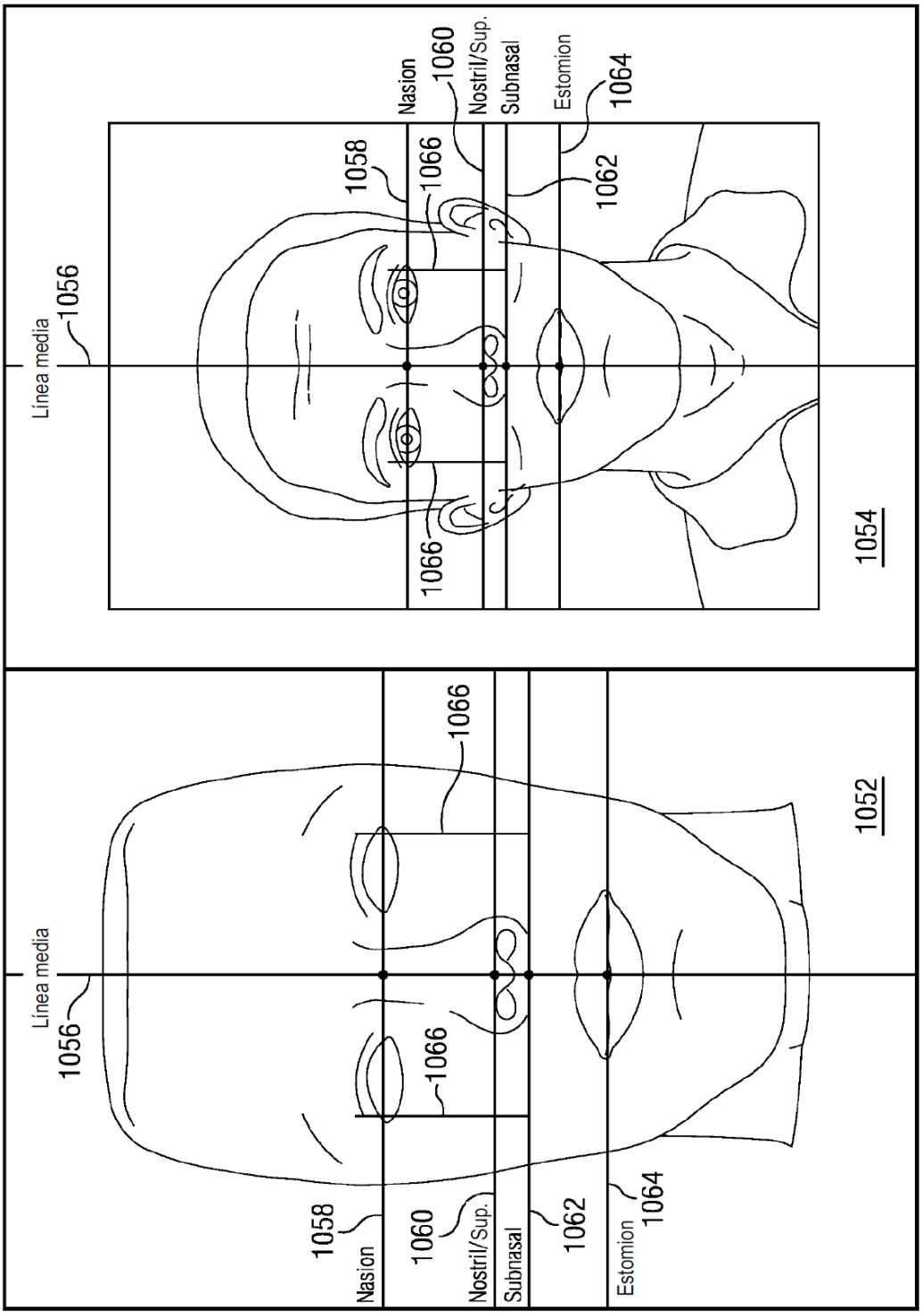
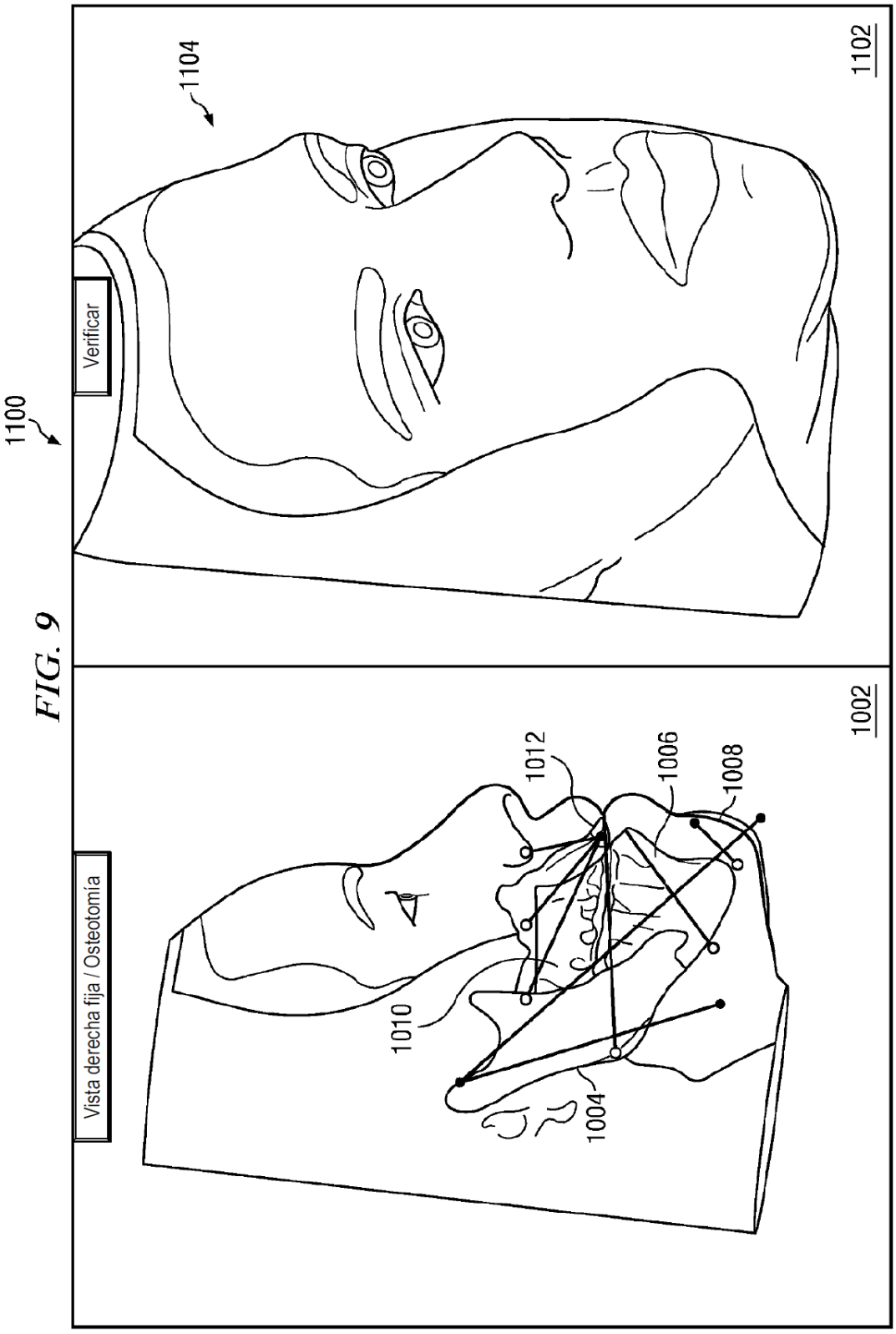

Línea media
1056
1058
Nasion
1060
Nostril/Sup.
Subnasal
1062
Estomion
1064
1066
1052
1054

FIG. 8

FIG. 9


1100
Vista derecha fija / Osteotomía
1002
1012
1006
1008
1010
1004
Verificar
1104
1102

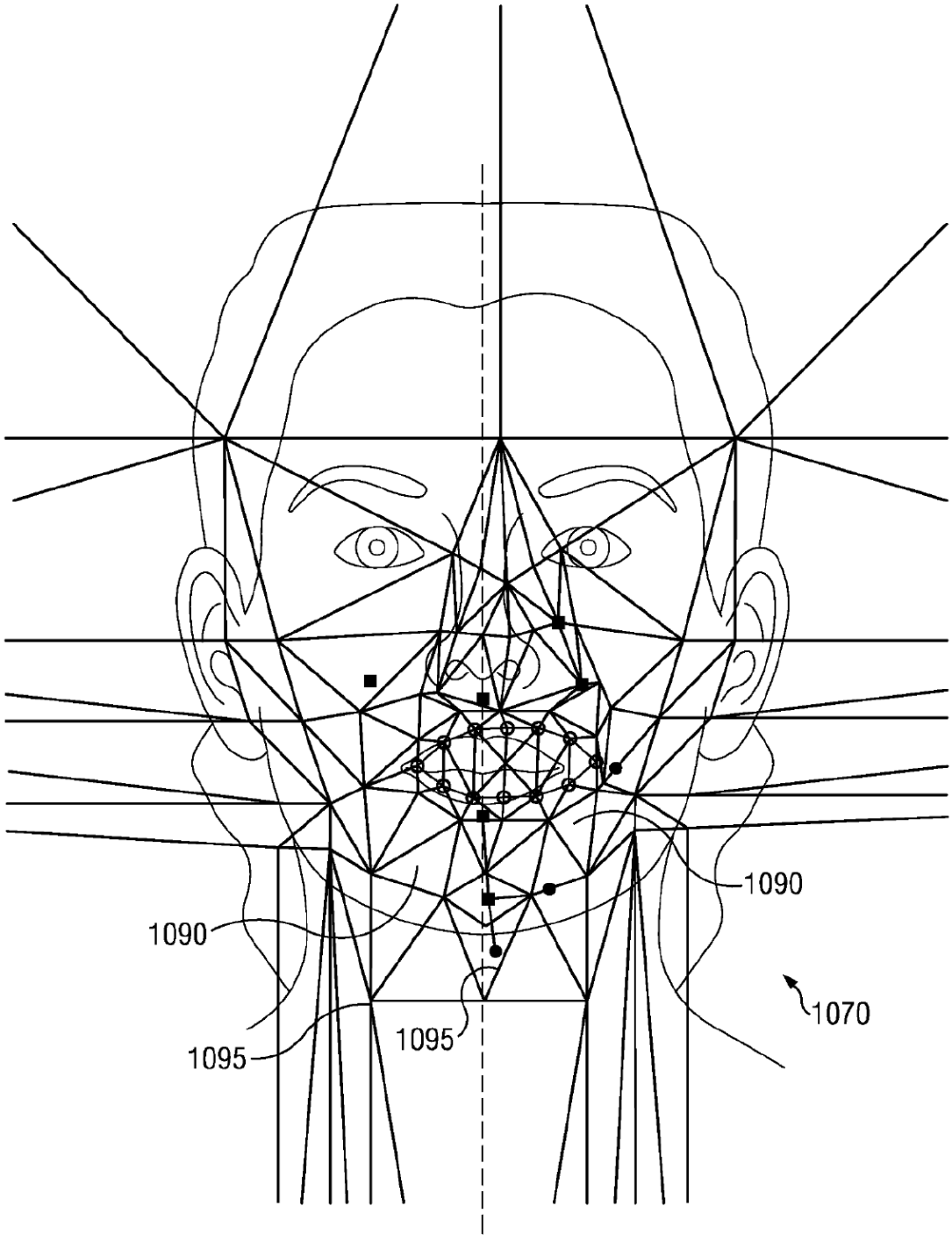


FIG. 10

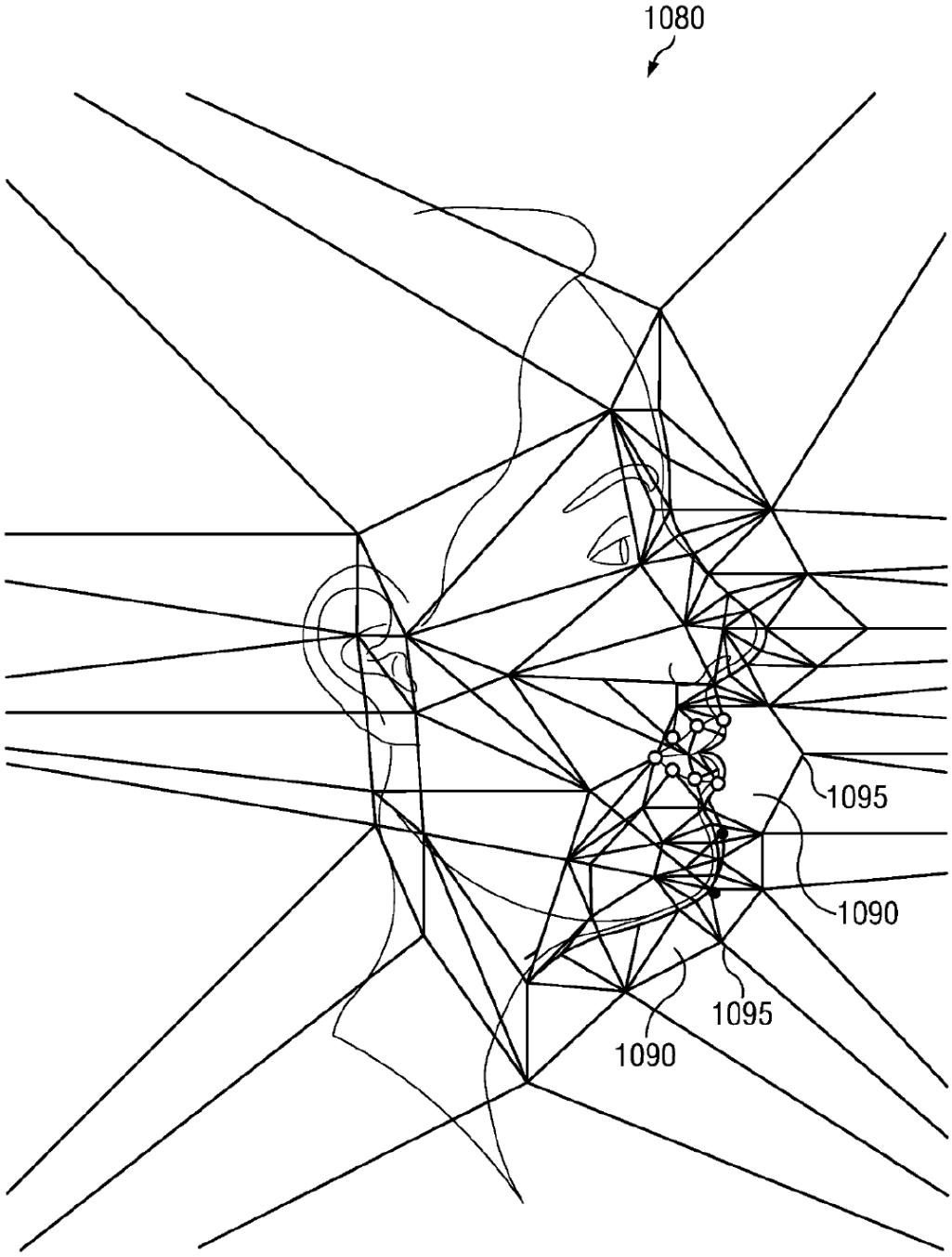


FIG. 11