

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 872 298**

51 Int. Cl.:

G16H 50/50

(2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **24.05.2013** **PCT/US2013/042654**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.11.2013** **WO13177520**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **24.05.2013** **E 13794272 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.04.2021** **EP 2856296**

54 Título: **Renderizado híbrido de imágenes/escena con control de manos libres**

30 Prioridad:

25.05.2012 US 201261651775 P

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

02.11.2021

73 Titular/es:

SURGICAL THEATER, INC. (100.0%)
11500 W Olympic Blvd, Suite 545
Los Angeles CA 90064, US

72 Inventor/es:

GERI, ALON, YAKOB y
AVISAR, MORDECHAI

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 872 298 T3

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

DESCRIPCIÓN

Renderizado híbrido de imágenes/escena con control de manos libres

Antecedente

5 Esta solicitud se refiere en general a un sistema y método para simular procedimientos quirúrgicos. Más específicamente, esta solicitud se refiere a un sistema y método para convertir imágenes médicas estáticas/fijas en imágenes dinámicas e interactivas que interactúan con herramientas médicas (tales como, por ejemplo, herramientas quirúrgicas, sondas, y/o dispositivos médicos implantables) acoplando un modelo de dinámica de tejidos a imágenes específicas del paciente utilizando un control de manos libres. El documento US2010/0217336A1 divulga una herramienta para planificar una cirugía de columna y personalizar una guía para implantaciones. Los documentos
10 US2009/0311655A1 y US2010/0311028A1 divulgan ejemplos de instructores quirúrgicos.

Los cirujanos carecen de una herramienta de ensayo y preparación que les proporcione un modelo visual realista con propiedades físicas del tejido. Lo más importante, es que se desea tener una herramienta quirúrgica de "inmersión total" que abarque: (i) visualización 2D y/o 3D realista "fidel a la realidad" del área específica del paciente de la cirugía (por ejemplo, aneurisma); (ii) modelado del área local específica del paciente de la geometría y las propiedades físicas de la cirugía; (iii) interfaz que permite la manipulación del área específica del paciente del modelo de cirugía y realice
15 virtualmente acciones quirúrgicas tales como cortar, desplazar y sujetar; e (iv) interfaz para proporcionar señales de retroalimentación al cirujano.

Además, también serían útiles herramientas que permitan a los cirujanos realizar simulaciones utilizando un control de manos libres, junto con medios para corregir deficiencias en, o de otro modo modificar, las imágenes gráficas de los patrones de tejido.
20

Resumen

La presente invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

La presente invención se refiere a un sistema y método de procesamiento de datos para modelar un procedimiento médico de acuerdo con las reivindicaciones, que comprende: una pantalla; un generador de imágenes para generar una imagen dinámica de tejidos para su visualización en la pantalla, el generador para visualizar en la pantalla los tejidos que representan de manera realista los correspondientes tejidos biológicos reales; un generador de herramientas de usuario para generar un modelo de herramienta de una herramienta de usuario para interactuar dinámicamente con la imagen dinámica de tejidos a través de manipulaciones proporcionadas por una entrada de usuario para su visualización en la pantalla; y una interfaz de usuario que proporciona una herramienta para ajustar la imagen dinámica de los tejidos que se visualizan en la pantalla mediante características de adición o modificación de los tejidos para compensar las estructuras anatómicas que se encuentran en el tejido biológico real pero que faltan en la imagen dinámica de los tejidos que se visualizan originalmente de tal modo que la imagen dinámica de los tejidos visualizados se visualiza posteriormente en la pantalla con las características adicionales o modificadas. El modelo de herramienta es visualizado en la pantalla interactuando dinámicamente con la imagen dinámica de los tejidos para simular de manera realista el procedimiento médico.
25
30
35

También se proporciona un sistema de modelado para permitir a un usuario realizar un procedimiento médico simulado, comprendiendo el sistema: uno o más ordenadores; una pantalla para que el usuario visualice imágenes; una base de datos para almacenar características físicas de los tejidos de un paciente en particular; un generador de imágenes que utiliza uno o más de los ordenadores para la ejecución del software para generar una imagen dinámica realista de los tejidos del paciente en particular para su visualización en la pantalla, en donde se proporciona la imagen realista de los tejidos mostrando una apariencia que incluye sombras y texturas indicativas de los tejidos del paciente en particular; una biblioteca de herramientas de usuario para proporcionar una pluralidad de modelos de herramientas de usuario de herramientas de usuario reales utilizadas en procedimientos médicos; una interfaz de usuario para la aceptación de entradas del usuario para la selección de uno de los modelos de herramientas de usuario; un generador de herramientas de usuario que utiliza uno o más de los ordenadores para la ejecución del software para generar una imagen de herramienta realista del modelo de herramienta de usuario seleccionado para su visualización en la pantalla; una interfaz de usuario para la aceptación de entradas del usuario, las entradas para manipular dinámicamente la imagen de la herramienta de usuario seleccionada para interactuar dinámicamente con la imagen realista de los tejidos durante el procedimiento médico simulado para que el usuario la visualice en la pantalla en tiempo real; y una interfaz de usuario que proporciona una herramienta para ajustar la imagen dinámica de los tejidos visualizados en la pantalla adicionando o modificando características de los tejidos visualizados para compensar las estructuras anatómicas que se encuentran en el tejido biológico real del paciente en particular pero que faltan en la imagen dinámica de los tejidos visualizados originalmente de tal modo que la imagen dinámica de los tejidos visualizados se visualice posteriormente en la pantalla con las características adicionales o modificadas. La interacción dinámica entre la imagen de la herramienta de usuario y la imagen de los tejidos es visualizada en la pantalla utilizando imágenes con características visuales realistas que exhiben interacciones mecánicas realistas con base en las características físicas almacenadas.
40
45
50
55

Se proporciona además un sistema de modelado para realizar una simulación quirúrgica, que comprende: una base de datos para almacenar información de imágenes de tejido del paciente que se toman a partir de, o se derivan a partir de, imágenes médicas de un paciente en particular; la base de datos también para almacenar características estándar del tejido; una pantalla; un generador de imágenes para generar una imagen dinámica de los tejidos del paciente en particular para su visualización en la pantalla, la generación utiliza la información de imágenes del paciente de tal modo que la imagen dinámica de los tejidos sea visualizada en la pantalla que representa de manera realista los tejidos reales correspondientes del paciente en particular; un generador de herramientas de usuario para generar un modelo de herramienta de una herramienta de usuario para interactuar dinámicamente con la imagen dinámica de tejidos a través de manipulaciones proporcionadas por un usuario para su visualización en la pantalla; y una interfaz de usuario que proporciona una herramienta para ajustar la imagen dinámica de los tejidos visualizados en la pantalla adicionando o modificando características de los tejidos visualizados para compensar las estructuras anatómicas que se encuentran en el tejido biológico real del paciente en particular pero que faltan en la imagen dinámica de los tejidos visualizados originalmente de tal modo que la imagen dinámica de los tejidos visualizados se visualice posteriormente en la pantalla con las características adicionadas o modificadas. El modelo de herramienta se visualiza en la pantalla interactuando dinámicamente con la imagen dinámica de los tejidos para simular de manera realista el procedimiento médico.

También se proporciona un sistema de modelado para permitir a un usuario realizar un procedimiento médico simulado, comprendiendo el sistema: uno o más ordenadores; una pantalla para que el usuario visualice imágenes; una base de datos para almacenar características de los tejidos de un paciente en particular; un generador de imágenes que utiliza uno o más de los ordenadores para la ejecución del software para generar una imagen dinámica realista de los tejidos del paciente en particular con base en las características almacenadas del paciente en particular para su visualización en la pantalla, en donde se proporciona la imagen realista de los tejidos que muestra una apariencia que incluye sombras y texturas indicativas de los tejidos del paciente en particular; una biblioteca de herramientas de usuario para proporcionar una pluralidad de modelos de herramientas de usuario de herramientas de usuario reales utilizadas en procedimientos médicos; una interfaz de usuario para la aceptación de entradas del usuario para seleccionar uno de los modelos de herramientas de usuario; un generador de herramientas de usuario que utiliza uno o más de los ordenadores para la ejecución del software para generar una imagen de herramienta realista del modelo de herramienta de usuario seleccionado para su visualización en la pantalla; y una interfaz de usuario que incluye una cámara para la aceptación de entradas de manos libres del usuario, las entradas para manipular dinámicamente la imagen de herramienta del usuario seleccionada y/o la imagen de los tejidos para interactuar dinámicamente con la imagen realista de los tejidos durante el procedimiento médico simulado para que el usuario visualice en la pantalla en tiempo real. La interacción dinámica entre la imagen de herramienta de usuario y la imagen de los tejidos es visualizada en la pantalla utilizando imágenes con características visuales realistas que exhiben interacciones mecánicas realistas.

También se proporciona un sistema de modelado para permitir a un usuario realizar un procedimiento médico simulado, comprendiendo el sistema: uno o más ordenadores; una pantalla para que el usuario visualice imágenes; un generador de imágenes que utiliza uno o más de los ordenadores para la ejecución del software para generar una imagen dinámica realista de los tejidos para un paciente en particular para su visualización en la pantalla, en donde la imagen realista de los tejidos se proporciona que muestra una apariencia que incluye sombras y texturas indicativas de tejidos reales; una base de datos para almacenar una biblioteca de herramientas de usuario para proporcionar una pluralidad de modelos de herramientas de usuario de herramientas de usuario reales utilizadas en procedimientos médicos; una interfaz de usuario para la aceptación de entradas del usuario para seleccionar uno de los modelos de herramientas de usuario; un generador de herramientas de usuario que utiliza uno o más de los ordenadores para la ejecución del software para generar una imagen de herramienta realista del modelo de herramienta de usuario seleccionado para su visualización en la pantalla; y una interfaz de usuario que puede rastrear los movimientos de un instrumento quirúrgico real que está siendo utilizado por el usuario con el paciente en particular, de tal modo que los movimientos se utilicen para manipular dinámicamente la imagen de la herramienta de usuario seleccionada y/o la imagen de los tejidos para interactuar dinámicamente con la imagen realista de los tejidos durante el procedimiento médico simulado para que el usuario visualice en la pantalla en tiempo real.

Se proporciona además un método para realizar una simulación quirúrgica, que comprende las etapas de:

proporcionar un sistema informático;

proporcionar una pantalla conectada al dispositivo informático;

obtener información de la imagen del paciente sobre los tejidos biológicos de un paciente en particular para almacenarla en el sistema informático;

generar, utilizando el sistema informático, una imagen dinámica de los tejidos biológicos del paciente en particular para su visualización en la pantalla, utilizando la generación la información de la imagen del paciente de tal manera que la imagen dinámica de los tejidos sea visualizada en la pantalla que representa de manera realista los tejidos reales correspondientes del paciente en particular;

generar, utilizando el sistema informático, un modelo de herramienta de usuario para interactuar dinámicamente con la imagen dinámica de los tejidos a través de entradas de manipulaciones por un usuario para su visualización en la pantalla;

5 ajustar, utilizando una entrada de usuario al sistema informático, la imagen dinámica de los tejidos visualizados en la pantalla mediante la adición o modificación de características de los tejidos para visualizar la compensación de las estructuras anatómicas que se encuentran en el tejido biológico real del paciente en particular pero que faltan en la imagen dinámica de los tejidos visualizados originalmente de tal modo que la imagen dinámica de los tejidos visualizados se visualice posteriormente en la pantalla con las características adicionales o modificadas; y

10 generar, utilizando el sistema informático, una simulación realista del procedimiento médico para visualizar en la pantalla las interacciones que se muestran entre la imagen dinámica de los tejidos y el modelo de herramienta de usuario de acuerdo con las entradas del usuario.

También se proporcionan ejemplos de realizaciones adicionales, algunas, pero no todas de las cuales, se describen a continuación en el presente documento con más detalle.

Breve descripción de los dibujos

15 Las características y ventajas de los ejemplos de la presente invención descritos en el presente documento resultarán evidentes para los expertos en la técnica a la cual se refiere la presente invención tras leer la siguiente descripción, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

La Figura 1 proporciona un esquema de alto nivel de un sistema de Teatro Quirúrgico de ejemplo;

20 La Figura 1A proporciona una estructura de sistema informático de ejemplo para implementar un Sistema de Teatro Quirúrgico de ejemplo;

La Figura 2 es un diagrama de alto nivel de un ejemplo del concepto de Teatro Colaborativo utilizando una pluralidad de Teatros Quirúrgicos interconectados;

La Figura 3 muestra un análisis de ejemplo de un concepto de red de simulación distribuida, por ejemplo, realizaciones de Teatro Quirúrgico;

25 La Figura 4 es un diagrama de bloques que muestra una funcionalidad de software de ejemplo para un sistema de Teatro Quirúrgico de ejemplo;

La Figura 5 es un diagrama que muestra la plataforma de Generador de imágenes Realistas (RIG) de alto nivel;

La Figura 6 proporciona un ejemplo de arquitectura de alto nivel y flujo de trabajo de una Plataforma de Ensayo de Cirugía (SRP) para un sistema de Teatro Quirúrgico de ejemplo;

30 La Figura 7 proporciona una arquitectura de ordenador de ejemplo para el SRP de ejemplo;

La Figura 8 es un diagrama de flujo que muestra herramientas de ejemplo para ajustar las imágenes de tejido dinámicas;

La Figura 9 es una captura de pantalla que muestra una herramienta interactiva de ejemplo y elementos de tejido;

Las Figuras 10A y 10B son imágenes que muestran ejemplos de interacciones de entrada de manos libres;

35 La Figura 11 es una captura de pantalla que muestra un marcador y herramientas de ejemplo que un usuario puede arrastrar;

Las Figuras 12A, 12B, 13A y 13B son capturas de pantalla que muestran estructuras de ejemplo que se pueden modificar utilizando una herramienta de varita mágica de tejido; y

40 Las Figuras 14A y 14B son capturas de pantalla que muestran estructuras de ejemplo que se pueden modificar utilizando una herramienta de pintura de tejidos.

Descripción detallada de las realizaciones de ejemplo

45 La Figura 1 proporciona una realización de ejemplo para una aplicación del sistema 1 donde una imagen (14) escaneada específica del paciente (Tomografía Computarizada, Resonancia Magnética o similares) es alimentada a la consola (10) del sistema, un algoritmo que crea una pantalla (18) de anatomía realista tridimensional agrega textura, sombra, sombreado y otras señales a la imagen, un algoritmo (16) de propiedades mecánicas asigna características de comportamiento mecánico a la imagen y transfiere la imagen a partir de una imagen estática/fija a una imagen/modelo dinámico e interactivo. Las interfaces (20) con o sin retroalimentación de fuerza están conectadas al sistema permitiendo al cirujano/operador (12) manipular la imagen/modelo que crea el sistema; el cirujano puede seleccionar herramientas e implantes a partir de bibliotecas de herramientas e implantes que incluyen las

características de esas herramientas e implantes. Luego, el cirujano realiza una cirugía virtual en una imagen/modelo tridimensional manipulable, dinámica e interactiva de su organismo paciente de una manera realista y dinámica.

El sistema incluye un programa ejecutivo que ejecuta y gestiona todos los componentes del sistema y actualiza el estado de los subcomponentes de acuerdo con las acciones del cirujano/operador (12). Por ejemplo, cuando el cirujano utiliza la interfaz (20) para empujar un tejido (tal como, utilizando una herramienta elegida) que ve en la pantalla (18), el modelo (16) de propiedades mecánicas recibe la información con respecto a la fuerza que fue aplicada, por ejemplo, la dirección de fuerza; la herramienta que se está utilizando incluye su material y forma y otras características mecánicas de la herramienta, luego las propiedades mecánicas se utilizan para calcular un nuevo estado de la orientación tridimensional de una configuración de anuncio de la imagen de acuerdo con la fuerza que se aplicó, el programa ejecutivo envía la matriz tridimensional calculada a la pantalla (18) de anatomía realista que fue creada por el algoritmo (16) de propiedades mecánicas, la pantalla de anatomía realista calcula la nueva imagen y sus señales debido al cambio de imagen, por ejemplo, se determina un nuevo conjunto de sombras y sombreado debido a la nueva orientación de los componentes de la imagen. De manera simultánea, el modelo (16) de propiedades mecánicas envía un conjunto de parámetros a la interfaz (20) de retroalimentación de fuerza, estos parámetros incluyen información de la fuerza que el cirujano/operador (12) necesita sentir debido a la interacción con los órganos (la fuerza que el órgano retorna después de que el cirujano empuja o interactúa con los tejidos). Este proceso de cálculo de nueva etapa en cada uno de los componentes (14, 16, 18, 20) del sistema es ejecutado rápida y continuamente de manera cíclica, y cada ciclo se completa dentro de un marco de tiempo de milisegundos, permitiendo al cirujano/operador recibir señales realistas y en tiempo real y reacciones en tiempo real a sus acciones.

El Teatro Quirúrgico es un sistema, como se muestra en la Figura 1A, que integra uno o más ordenadores (PCs) 2A-2n, una o más bases de datos 3A-3n y otros componentes de hardware (por ejemplo, redes 5, 6) y propietarios de software en un sistema 1 completo (véanse las Figuras 1 y 1A) que está estructurado en una consola/cámara envolvente de tamaño casi tan grande como un pequeño vestidor (véase la consola 10 en la Figura 1). Una vez que el cirujano 12 inicia el sistema, el cirujano carga los parámetros de configuración de sus pacientes, los cuales incluyen detalles del paciente para permitir que el sistema cargue los datos relevantes, el Teatro Quirúrgico que carga todas las imágenes disponibles de Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética del paciente a partir de las imágenes 14 de un paciente en la(s) base(s) de datos 3 y otra información que se refiere a los patrones simulados, tales como la edad del paciente, el género, etc. (algunos o todos de los cuales pueden obtenerse a partir de entidades 8 externas, por ejemplo, tal como bases de datos médicas). El sistema utiliza parámetros 16 de información de tejidos a partir de una base de datos del sistema. El sistema 1 realiza un proceso de segmentación e identifica las Entidades del órgano, las Entidades son vasos, tejido, tumor, etc. para crear el modelo 18 de imagen simulada que se muestra al cirujano en la pantalla del dispositivo. El sistema proporciona retroalimentación 20 táctica realista a través de mecanismos de retroalimentación para agregar más realismo a la simulación.

El sistema aplica las capas de la visual realista, las propiedades mecánicas y otros parámetros 16 relevantes de la(s) base(s) de datos del sistema y las características relevantes al caso, todo aplicado por encima de las imágenes 14 de Tomografía Computarizada y Resonancia Magnética a partir de la base de datos 3 de imágenes del paciente y sincronizado con esas imágenes. La sincronización crea, por ejemplo, propiedades mecánicas del vaso que se 'sujetan' o 'unen' a las imágenes del vaso, etc., para proporcionar una capacidad de simulación realista. Al cirujano se le puede proporcionar la capacidad de "afinar" los patrones y ajustar las propiedades mecánicas de un área determinada del órgano. Por ejemplo, el cirujano puede ajustar la elasticidad y otras características mecánicas del comportamiento de las Entidades.

Posteriormente, después de dicha una configuración, el Teatro Quirúrgico proyecta el modelo 18 de órgano tridimensional presentado en una fidelidad visual realista con características realistas tales como; textura, sombreado y otras características que agregan realismo a la imagen simulada. Cada segmento del modelo 18 visual está coordinado y corresponde con un modelo de propiedades mecánicas apropiado a partir de la base de datos 16 del sistema y otras propiedades relevantes del caso específico.

En esta etapa, el sistema permite al cirujano navegar y elegir a partir de las bibliotecas 16 virtuales del sistema en la base de datos del sistema de las herramientas de cirugía relevantes y otros elementos (en los términos del software del sistema, esas herramientas y elementos también son "Entidades") que puede necesitar para realizar la cirugía (u otro procedimiento). Dichos elementos pueden incluir; calibradores y pinzas, ganchos para aneurismas, válvulas cardíacas artificiales, y otros elementos adecuados para el caso específico. (Agregar sistemas 1', 1" ... adicionales conectados al sistema 1 a través de una red 9, tal como a través de Internet o una red privada, puede resultar en una plataforma de teatro colaborativa, que se describe con más detalle más adelante en esta divulgación).

Todas las diversas Entidades están representadas por el sistema en patrones distribuidos de alta fidelidad y funcionan en una arquitectura distribuida, por ejemplo, cada Entidad típicamente tiene una subEntidad separada, donde la subEntidad es, por ejemplo, una "entidad visual" o "entidad mecánica" etc. Cada subEntidad existe en uno de los diferentes entornos (por ejemplo, el entorno del sistema visual, el entorno de modelado mecánico, etc., que se describen con más detalle a continuación) distribuidos entre una pluralidad de ordenadores. Cada una de dicha subEntidad es responsable de su propio desempeño (por ejemplo, presentar la visual realista de la Entidad, o realizar la operación mecánica de la Entidad).

Las subEntidades se comunican a través de una red distribuida (descrita con más detalle a continuación) para sincronizar y coordinar las subEntidades en un modelo compuesto de Entidad integrada. Por ejemplo, cuando un tejido es presionado por una herramienta de cirugía, las características de presión de la herramienta de cirugía (por ejemplo, la ubicación, orientación y cantidad de presión, etc.) se distribuyen a través de la red, cada una de las subEntidades es responsable de ‘escuchar’ y concluir si está siendo afectada por la presión de esta herramienta de cirugía; una vez que una subEntidad determina que está siendo afectada, cada una de dicha subEntidad (por ejemplo, Entidad de tejido) modela el efecto en su modelo de SubEntidad, por ejemplo, la subEntidad visual, presenta los efectos visuales (tal como sangre del tejido), y las propiedades mecánicas modelan el desplazamiento del tejido. Cada subEntidad distribuye el cambio; por ejemplo, la ubicación y el cambio de dimensión del tejido en la red, de modo que las otras subEntidades puedan determinar si se ven afectadas por este cambio. Al final de dicha acción, todas las subEntidades del tejido para el ejemplo anterior (y las otras Entidades), se acostumbran a, y, si es necesario, adaptan sus estados y patrones a, la nueva acción que se originó e inició, en el ejemplo anterior, por la herramienta de cirugía.

Por lo tanto, las diversas funciones (subEntidades) se pueden distribuir entre diversos ordenadores conectados en una red de punto a punto utilizando datos distribuidos y duplicación de estado (para mantener copias locales del estado de la simulación), escuchando todos en la red para cualquier acción que afecte su porción de la simulación, en cuyo caso actualizan sus parámetros a través de la red para mantener la precisión del sistema, lo cual puede, por supuesto, afectar otras funciones en otras subEntidades, las cuales, por lo tanto, capturarán ese hecho mediante su monitorización de la red, que dará lugar a más actualizaciones, etc. De esta manera, el sistema distribuye la funcionalidad entre diversos ordenadores de manera paralela, de modo que la actualización puede ocurrir mucho más rápido de lo que podría ocurrir si solo se utilizara un ordenador. Solo aquellas subEntidades afectadas por un cambio deben responder y, por lo tanto, el tráfico de la red puede reducirse a lo esencial.

El Teatro Quirúrgico permite al cirujano registrar sus acciones y guardarlas para su posterior reproducción, para demostrar su plan de cirugía al cirujano jefe o residente o, para compartir información con otros cirujanos, demostrar nuevas técnicas que el está trabajando, practicar la cirugía, etc. Las interfaces del sistema con el cirujano incluyen interfaces de cirugía (por ejemplo, agarraderas de calibrador) que incluyen retroalimentación de fuerza que se entrega a esas herramientas para permitirle al cirujano sentir la señal de retroalimentación de fuerza de sus acciones, simulando de manera realista un procedimiento real.

Una vez que el cirujano selecciona las herramientas de cirugía y las otras Entidades, se integran en la escena de la cirugía virtual y se convierten en un elemento integrado del escenario simulado que incluye características visuales realistas y propiedades mecánicas y características de propiedades operativas que se aplican a cada uno de esos elementos seleccionados. Por ejemplo, las tijeras simuladas reflejan las características mecánicas de las tijeras reales y cortarán en la simulación como lo hacen las tijeras reales, y, los ganchos de aneurisma, cuando se colocan en el vaso simulado, simulan el bloqueo del flujo sanguíneo.

A continuación, el cirujano realiza las acciones de cirugía en cualquier etapa de la cirugía virtual; el cirujano puede “congelar” la simulación y rotar el órgano para observar el área de su interés a partir de diferentes orientaciones y perspectivas. El cirujano puede “marcar el punto de tiempo” de la cirugía virtual y puede ordenar un “regreso al punto de marca”. Por ejemplo, el cirujano puede marcar el tiempo antes de sujetar un aneurisma y regresar a este punto de tiempo a la vez que “deshace” todas las acciones que tuvieron lugar después de este punto de tiempo. De esta manera, el cirujano puede evaluar diferentes enfoques de cirugía de una fase seleccionada de la cirugía sin reiniciar toda la cirugía a partir del punto de partida original. Diversos de estos “puntos de marca” están disponibles, lo que permite al cirujano regresar y “rehacer” acciones y exámenes/ensayar en diversas fases seleccionadas de la cirugía. El uso del Teatro Quirúrgico puede incluir ensayos del cirujano para una cirugía; demostración del cirujano al cirujano jefe o residente; práctica quirúrgica y desarrollo, prueba, y validación de herramientas y métodos, e intercambio de conocimientos. La operación de Manos libres, como se describe a continuación, se puede utilizar para esta característica.

Teatro colaborativo

La Figura 2 muestra una implementación de ejemplo de alto nivel del concepto de Teatro Colaborativo que se introdujo con el Teatro Quirúrgico. Aprovechando la infraestructura 25 de banda ancha de próxima generación, las personas que utilizan SRPs 21, 22, 23 ... de diferentes hospitales estarán conectadas, lo que permitirá a los cirujanos de todo el país y de todo el mundo planificar de manera colaborativa un caso de cirugía, por ejemplo, cirujanos de dos o más sitios distribuidos entran en su SRP y ensayan, juntos, el caso de un paciente para una cirugía. Este Teatro Colaborativo permite a los cirujanos estudiar los mejores métodos de práctica mediante la observación de casos de Teatro Quirúrgico previos, además de proporcionar enseñanza y tutoría a distancia. El Teatro Colaborativo permite a todos los hospitales que están conectados y que utilizan el SRP tener acceso al conocimiento acumulado actualizado y las más recientes “mejores prácticas”. Nuevamente, la operación de manos libres, como se describe a continuación, se puede utilizar para el concepto de teatro colaborativo.

Diseño de nivel del sistema

La descripción del diseño de nivel del sistema se describe en las secciones anteriores. Los motores de renderizado visual analizan imágenes de Resonancia Magnética y Tomografía Computarizada tridimensionales específicas del paciente y crean módulos segmentados informáticos que representan las estructuras y características anatómicas de

la imagen en particular. El mercado médico tiene un gran número de lectores avanzados de Imágenes Digitales y Comunicación en Medicina - DICOM (1). Sus conjuntos de características van a partir de cortes en capas en blanco y negro en 3 paneles diferentes que podrían tener referencias cruzadas hasta una capacidad completa para volar a través de subconjuntos estáticos de imágenes en 3D de los órganos del paciente. Además, existen características en 4D y 5D que registran diversos cambios funcionales y dinámicos de órganos en forma de una parte de una película. Tan magníficas como podrían ser esas imágenes capturadas o secuencias en movimiento, son un conjunto fijo de imágenes instantáneas en el tiempo.

El Teatro Quirúrgico toma los procesos de conversión 3D existentes y agrega las características específicas de los tejidos y estructuras humanos con base en las propiedades físicas y mecánicas que luego se almacenan en la base de datos del sistema. Una vez que este modelo con base en el paciente es puesto en movimiento en el mundo virtual, el Teatro Quirúrgico introduce un conjunto de herramientas quirúrgicas virtuales que permiten al cirujano manipular (empujar, cortar, sujetar, etc.) esos patrones de forma similar a la manipulación de tejido de cirugía real, proporcionando una experiencia intuitiva para el cirujano.

La Figura 3 proporciona un análisis de una red de simulación distribuida de Teatro Quirúrgico de ejemplo (se presenta el DIS (ST-DIS) de Teatro Quirúrgico). Cada uno de los componentes (es decir, bloques) en la figura es una estación de cálculo aislada (que se puede ejecutar en un ordenador independiente o en una colección de ordenadores) con un conjunto designado de funciones. Las estaciones están conectadas apropiadamente con una red 31 de soporte regular (tal como, por ejemplo, una red Ethernet) que maneja tráfico irregular lento, como la transferencia de grandes cantidades de datos DICOM. Tras una demanda de procesamiento de datos más intensa, las estaciones están respaldadas por una Red 32 especializada de Simulación Interactiva Distribuida (ST-DIS) que es una red aislada de hardware que se utiliza solo para datos de simulación de alta prioridad (los cuales se pueden implementar, por ejemplo, en Ethernet de gran ancho de banda). La Red 32 ST-DIS transporta información de simulación volátil y permite una distribución de carga de simulación tan exquisita.

El ST-DIS del Teatro Quirúrgico es una arquitectura de red para construir mundos virtuales a gran escala a partir de un conjunto de nodos de simulador independientes. Los nodos 33-38 de simulador están vinculados por las redes y se comunican a través de un protocolo de red común (tal como, por ejemplo, TCP/IP). La infraestructura ST-DIS permite que diversos simuladores interactúen en un entorno coherente en el tiempo y espacio. En el sistema ST-DIS del Teatro Quirúrgico, el mundo virtual se modela como un conjunto de "Entidades" que interactúan entre sí a través de los eventos que estas provocan. Los nodos 33-38 de simulador simulan cada uno de forma independiente las actividades de una o más de las Entidades en el mundo virtual de la simulación y reportan sus atributos y acciones de interés a otros nodos de simulador a través de mensajes en la red. Los otros nodos de simulador de la red son los responsables de "escuchar" los mensajes de la red, determinar cuáles les interesan (con base en las Entidades que están simulando) y responder de forma adecuada.

Una de las características de la arquitectura de simulación y red ST-DIS con respecto a la simulación interactiva distribuida es que no es necesario que exista un servidor o procesador central. Cada aplicación de simulación mantiene su propia copia de un entorno virtual común en su propia memoria o base de datos. Las representaciones de este entorno se distribuyen a través de diversos medios a todas las aplicaciones de simulación antes de cualquier operación en tiempo real. El ST-DIS es básicamente una arquitectura de punto a punto, en la cual los datos se transmiten a todos los simuladores donde pueden ser rechazados o aceptados de acuerdo con las necesidades de los receptores. Al eliminar un servidor central a través del cual pasan todos los mensajes, el ST-DIS reduce el lapso para que un simulador envíe información importante a otro simulador. Este lapso, conocido como latencia, puede reducir seriamente el realismo y, por lo tanto, la efectividad de un simulador en la red. La simulación distribuida efectiva depende de una latencia muy baja entre el momento en que ocurre un nuevo estado/evento para una entidad simulada y el momento en que el estado/evento es percibido por otra entidad que debe reaccionar ante él. Cualquier retraso introducido por el dispositivo de entrenamiento podría resultar en un refuerzo negativo para el alumno.

Con referencia nuevamente en la Figura 3, el Servidor 34 de Archivo es utilizado en general para realizar las tareas de descargar y retener en una base de datos grandes cantidades de datos necesarios para la simulación. Además, el Servidor 34 de Archivo se puede utilizar para preparar los datos obtenidos para su uso posterior en la simulación. Obsérvese que debido a que sus funciones son típicamente de naturaleza global, y no son críticas para la actividad de simulación, el Servidor 34 de Archivo está típicamente conectado solo a la red 31 de soporte.

La Figura 3 muestra una arquitectura de red que incluye una red (31) de "soporte" fuera de línea que el "Servidor (34) de Archivo" que carga las imágenes médicas (Tomografía Computarizada/Resonancia Magnética) y los datos de inicialización adicionales almacenados en una base de datos (por ejemplo, el nombre del paciente, la edad, etc., y los archivos que se incluirán en los escenarios, tales como las bibliotecas de herramientas de cirugía) "Servidor (38) de Informes" que registra las entradas de control y almacena los escenarios y todas las acciones en una información de línea de tiempo y permite la reproducción de escenarios y acciones. La red (32) en tiempo real es la red que transfiere mensajes entre el nodo de los sistemas durante la simulación en una fusión en tiempo real - una manera de implementar esta red puede ser una red (32) de Simulación (DIS) Interactiva Distribuida, los componentes que conectan a esta red son; Entrada (33) de Control que se conecta a las interfaces de sistemas cirujano/operador, este nodo tiene una conexión física directa opcional al Ordenador (35) Anfitrión que puede implementarse en el caso de que los requisitos en tiempo real del sistema no puedan ser satisfechos por la red DSI y sea necesaria una conexión

física directa entre esos nodos. El Ordenador (35) Anfitrión incluye el programa ejecutivo de gestión y otros patrones y componentes de simulación y es responsable de la sincronización y temporización en tiempo real de todos los sistemas.

Los Sistemas (36) de Inicialización de Teatros (TIS) realizan esa asignación y configuración del sistema para cada uno de los nodos, por ejemplo, cuando el cirujano selecciona una herramienta específica para utilizar, el TIS asigna/activa los patrones apropiados de esta herramienta para generar una simulación de herramienta precisa (con las características de herramienta almacenadas en una base de datos) para todos los nodos asegurando que todos los nodos estén configurados con la misma inicialización. El Generador (36) de imágenes realiza las tareas de renderizado y visualización de los escenarios. El Ordenador (35) Anfitrión, el TIS (36), el Generador (36) de imágenes y el Servidor de Informes reciben e intercambian información fuera de línea con la red (31) de Soporte para la inicialización y reciben e intercambian información con la red (32) en tiempo real para simulación "en línea" y en tiempo real.

Los datos de volumen y superficie de órganos necesarios se extraen a partir de un escaneo de Resonancia Magnética/Tomografía Computarizada existente almacenado en la base de datos. Para obtener datos de la superficie de órganos en 3D, el sistema puede utilizar un lector DICOM y un sistema de gestión de datos tal como OsiriX (o similar) que es un software de código abierto implementado, por ejemplo, para ordenadores Apple Macintosh. Al "aprovechar" la capacidad de OsiriX para generar superficies 3D de órganos y grupos de órganos con base en los valores de densidad de vóxeles con el código de fuente C Objetivo, el Teatro Quirúrgico agrega la capacidad de almacenar información sobre las superficies 3D y los tipos de órganos que se describen en un archivo plano en una base de datos. El conjunto completo de partes de este estudio se almacena de esta manera en la base de datos del sistema para que luego se transfiera a la Estación 37 Generadora de imágenes que recrea las imágenes específicas del paciente con base en las características estándar de los órganos. Una vez que se obtienen los datos de renderizado necesarios, se aplica a la imagen la plataforma de renderizado para la Estación 37 de Generador de imágenes. Para ello, se integra un algoritmo Generador de imágenes patentado (tal como Flight IG; véanse las características en los títulos separados para el Generador de imágenes Realista-RIG) con un Equipo de Herramienta de Visualización.

El IG tiene características únicas que brindan señales precisas tales como sombras, textura, y propiedades del material que se asignan a los patrones visuales y como se detalla además en las secciones del RIG. El IG no solo crea entornos realistas y completamente inmersos utilizando esas características, sino que también puede procesar un gran volumen de patrones de bases de datos visuales bajo estrictas restricciones de tiempo real. Habilitado por la combinación de la arquitectura DIS y el diseño de "Entidad", el tráfico de la red se minimiza y la anatomía de los nodos de punto a punto crea un sistema en tiempo real altamente eficiente.

Después de que las imágenes específicas del paciente se hayan renderizado con éxito, se agregan diversas bibliotecas de física con el fin de crear una simulación adecuada. El empuje y la manipulación del tejido cerebral se simula mediante una amplia investigación incorporada en plataformas de modelado tales como las colecciones de bibliotecas OpenTissue (o comparables) que están disponibles. OpenTissue, por ejemplo, es una colección de bibliotecas de código abierto que modela conchas volumétricas y otros comportamientos complejos de formas tridimensionales. También se pueden desarrollar bibliotecas personalizadas para su uso. Por ejemplo, se puede utilizar la especificidad de las propiedades físicas y mecánicas del tejido cerebral que se derivan de la investigación de las propiedades mecánicas del tejido cerebral en tensión. Se encuentran disponibles artículos experimentales que proporcionan modelos matemáticos de la manipulación mecánica de muestras de cerebro animal. El trabajo analiza diversas herramientas y tipos de tejidos para crear una simulación realista específicamente para la implementación de simulaciones quirúrgicas.

El código de software del ejemplo Teatro Quirúrgico está escrito en un entorno comercial tal como C++, y el código está diseñado para ejecutarse en un sistema operativo Windows, un sistema Linux, o compatible. En el proceso de desarrollo de codificación, se hace énfasis en la ejecución del código en tiempo real y en la eficiencia del código, todo ello encaminado a mantener un rendimiento del sistema en tiempo real a la vez que se reducen las latencias.

El controlador del sistema visual ubicado en el Generador (37) de imágenes está diseñado con un entorno optimizador, tal como OpenGL o similar, permite una representación e interacción de alto rendimiento con patrones grandes manteniendo la alta fidelidad del modelo exigida, proporcionando atención al detalle a la vez que mantiene un alto rendimiento en un entorno multiplataforma.

Para propósitos de eficiencia informática, cada una de las Entidades del modelo visual tiene diversas representaciones de Nivel de Detalles (LOD); un LOD alto se presenta en áreas de la escena de simulación en las cuales el cirujano necesita una resolución alta, y, un LOD más bajo se presenta en áreas de la escena de simulación en las cuales el cirujano no tiene interés o interacción inmediatos. Por ejemplo, el modelo visual de tejido se presenta con un LOD alto en el área alrededor de la interacción del cirujano y con un LOD más bajo en áreas con las que el cirujano no tiene interacción inmediata. El LOD se puede adaptar dinámicamente: las acciones de un cirujano, tales como apuntar los instrumentos quirúrgicos hacia un área específica, pueden ser utilizadas por el algoritmo de optimización LOD para la asignación dinámica del LOD para una sección específica de los patrones visuales.

El ordenador del sistema típico es un PC con un núcleo múltiple (múltiples procesadores) el cual proporciona flexibilidad y potencial de crecimiento. El sistema informático incluye memoria de acceso aleatorio, puertos Ethernet, disco del sistema, y disco de datos.

Para la validación del Teatro Quirúrgico (calidad de imagen, realismo, controlador de imagen y manipulación), se utilizan las habilidades y la experiencia de cirujanos experimentados. Los cirujanos están acostumbrados a evaluar el sistema realizando un procedimiento quirúrgico específico y comparándolo con su vasta experiencia neuroquirúrgica, así como con un caso específico que ya han operado y se está simulando en el Teatro Quirúrgico.

El diagrama de bloques del Teatro Quirúrgico de la Figura 4 describe la funcionalidad y el flujo del proceso (con respecto a la conexión de red real de la Figura 3) a partir de los datos de fila de la imagen escasa DICOM 41 a través del proceso de segmentación de los datos de fila (para identificar tejidos blandos, vasos, etc.). Luego, el Generador de imágenes asigna la representación visual de cada segmento (textura de sombra, etc.), esta imagen se conecta a través de la red DIA 44 a una interfaz 46 de proyección y al Anfitrión 45 que actualizará el generador 43 de imágenes con las acciones del cirujano que están conectados a través de la Interfaz 47 del Cirujano y las Propiedades mecánicas y otros patrones que incluye el Anfitrión, todos reflejarán el nuevo estado que el Anfitrión enviará al IG 43 durante cada ciclo de simulación.

Al eliminar el servidor central a través del cual pasan todos los mensajes, ST-DIS reduce drásticamente el lapso de tiempo para que un simulador (ordenador) envíe información importante a otro simulador (ordenador). Este lapso de tiempo, conocido como latencia, puede, si es demasiado grande, reducir seriamente el realismo y, por lo tanto, la efectividad de un simulador en red. La simulación distribuida eficaz depende de una latencia muy baja entre el momento en que ocurre un nuevo estado/evento para una entidad simulada y el momento en que el estado/evento es percibido por otra entidad que debe reaccionar ante él. Cualquier retraso introducido por el dispositivo de entrenamiento da como resultado un refuerzo negativo para el operador (por ejemplo, el cirujano).

De acuerdo con la práctica recomendada para la arquitectura de comunicaciones (IEEE 1278.2), la estructura de comunicaciones subyacente debe admitir una latencia de 100ms o menos para el intercambio de paquetes para interacciones estrechamente acopladas entre entidades simuladas en tiempo real (por ejemplo, simulando aeronaves de alto rendimiento en un combate aéreo o simulando a un cirujano que realiza una cirugía cerebral). Este requisito se basa en los tiempos de reacción humanos que han sido la base de los diseños de simuladores de vuelo Humano-En-El-Proceso (HITL) durante varios años.

Dentro del sistema ST-DIS, el mundo virtual se modela como un conjunto de Entidades (como se describió anteriormente) que interactúan entre sí mediante los eventos que provocan. Una entidad es un subcomponente en el escenario simulado, tal como el tejido, características específicas (tales como las propiedades mecánicas del tejido) que crean un subgrupo de esa "entidad del tejido". Otra entidad puede ser un vaso sanguíneo, por ejemplo, etc. Cada Entidad puede tener diversas subEntidades que operan de manera distribuida (tal como en diferentes simuladores/ordenadores). Juntas, esas subEntidades se combinan para crear el modelo de entidad completo. Esas subEntidades son, por ejemplo: la subEntidad Visual que contiene y simula la característica y las características visuales de la entidad, o, la subEntidad de Propiedades Mecánicas que contiene y simula las características y características mecánicas de la entidad. Cada uno de esos códigos de modelo de subEntidades puede ejecutarse en un ordenador (o grupo de ordenadores) diferente, tal como un PC, y se comunican entre sí y con otras Entidades a través de la red ST-DIS. Los nodos de simulador, simulan de forma independiente las actividades de una o más Entidades (o subEntidades) en el mundo virtual de la simulación e informan de sus atributos y acciones de interés a otros nodos de simulador a través de mensajes en la red ST-DIS. Los otros nodos de simulador de la red son responsables de "escuchar" los mensajes de la red, determinar cuáles les interesan (con base en las entidades que están simulando) y responder de forma adecuada.

La arquitectura de Teatro Quirúrgico descrita anteriormente se basa en este concepto de Simulación Distribuida, lo que permite habilidades pioneras y exclusivas para ofrecer una fidelidad de primer nivel la cual es un requisito esencial para crear escenarios envolventes cruciales para el ensayo de cirugías abiertas/clásicas donde el o los cirujano(s) interactúa(n) con el o los órgano(s) por sentido humano directo. Como cada Entidad se divide en sus subcomponentes (propiedades visuales, mecánicas, etc.), y como cada uno de esos subcomponentes/código de simulación de Entidades se ejecuta en un ordenador separado, esto puede maximizar la potencia de cálculo y, por lo tanto, la creación de una fidelidad de primer nivel única y exclusiva, señales finas, y capacidades de computación a la vez que maneja terabytes de información bajo estrictas restricciones de "tiempo real" a la vez que se mantiene el rendimiento en tiempo real (por ejemplo, menos de 100 milisegundos de latencia), la capacidad central de la tecnología de simulación de vuelo.

El Teatro Quirúrgico facilita un motor de renderización visual el cual analiza imágenes específicas Resonancia Magnética y Tomografía Computarizada en 3D del paciente y crea módulos segmentados computarizados que representan estructuras y características anatómicas de la imagen particular. El mercado médico tiene una gran cantidad de visores DICOM avanzados, pero por magníficas que pudieran ser esas imágenes capturadas o secuencias en movimiento, se basan en un conjunto fijo de instantáneas en el tiempo. El Teatro Quirúrgico toma los algoritmos de conversión de patrones 3D existentes y agrega las características específicas de los tejidos humanos y las estenosis con base en propiedades físicas y mecánicas, creando una imagen "viva" con patrones que reforman las imágenes

Tomografía Computarizada/Resonancia Magnética específicas del paciente de acuerdo con las acciones tomadas por el cirujano y con base en los patrones que simulan las propiedades mecánicas de cada uno de los píxeles en la imagen y patrones de características visuales realistas. Una vez que este modelo con base en el paciente se pone en marcha en el mundo virtual, se introduce un conjunto de herramientas quirúrgicas virtuales (que pueden incluir ganchos de aneurisma y aplicadores de ganchos, implantes tales como implantes de articulaciones óseas, u otros dispositivos) que permiten al cirujano manipular (empujar, cortar y etc.) esos patrones similares a una manipulación de tejido de una cirugía real. Por lo tanto, el Teatro Quirúrgico proporciona una experiencia intuitiva para el usuario.

Para el Generador de Imágenes, el Teatro Quirúrgico de la realización de ejemplo integra un algoritmo patentado del Generador de Imágenes de Simulación de Vuelo con un código de visualización tal como el equipo de herramientas de visualización (VTK). Como se detalla en las siguientes secciones, el Generador de Imágenes Realistas de Teatro Quirúrgico tiene características que brindan señales precisas tales como sombras, texturas, y propiedades del material que se asignan a los patrones visuales.

El subsistema visual realista

Esta sección se enfoca en el segmento “visual realista” del Teatro Quirúrgico que es una modificación de un Generador de Imágenes de Simulación de Vuelo que es capaz de renderizar imágenes de satélite en imágenes y patrones tridimensionales realistas que se convierten en el manejo del Generador de Imágenes realistas del Teatro Quirúrgico del generador (RIG) y la representación en tiempo real de imágenes Tomografía Computarizada/Resonancia Magnética DICOM en imágenes y patrones de Tomografía Computarizada/Resonancia Magnética dinámicos y realistas específicos de un paciente que son cruciales para las cirugías abiertas/clásicas en donde los cirujanos interactúan con el órgano a través del sentido humano directo.

Es importante el uso de un sistema visual en la creación del sistema de simulación envolvente en el campo de la Ingeniería del factor humano; los estudios demuestran que un alto porcentaje de la inmersión es construido y contribuido por el nivel de fidelidad y realismo del sistema visual con el que interactúa el operador (por ejemplo, piloto o cirujano). Los resultados muestran que los operadores que ensayan en sistemas visuales de alta fidelidad completaron la tarea de memoria que incluye el auto informe de los estados de confianza y conciencia en niveles significativamente más altos que el grupo de baja fidelidad. Se encuentra una correlación positiva significativa entre las respuestas correctas ‘recordar’ y ‘saber’, y en las puntuaciones de confianza, cuando se utiliza una simulación realista de alta fidelidad.

Como se ha señalado anteriormente, el Teatro Quirúrgico crea una representación digital realista “fiel a la realidad” del sitio quirúrgico y los tejidos/estructuras circundantes. Dado que esta reproducción digital es específica del paciente y “fiel a la realidad”, diferencia al Teatro Quirúrgico de otros simuladores que utilizan imágenes genéricas para crear representaciones aproximadas del sitio quirúrgico, o de otro sistema que simula procedimientos no invasivos tales como endoscópicos, vasculares y procedimientos similares, donde el cirujano/operador conecta el organismo con una cámara que tiene sus propias características visuales que están definidas y limitadas por la especificación de la cámara y son muy diferentes de las características visuales de la vista directa y a simple vista del cirujano abierto/clásico donde el cirujano interactúa con el organismo con el sentido directo de sus ojos. Sin embargo, la interpretación realista “fiel a la realidad” presenta una tarea superable debido a la complejidad de las propiedades de los tejidos biológicos vivos. Con el fin de crear un grado tan alto de realismo, el Teatro Quirúrgico incluye un complemento Generador de Imágenes Reales (RIG): un sistema visual donde las imágenes específicas del paciente del sitio quirúrgico, junto con los tejidos circundantes, se presentan de manera realista y se pueden manipular de esta manera multiusos.

La Figura 5 muestra un Diagrama de Bloques de Arquitectura RIG. Cuadro de base de datos - recopilación de los módulos de malla con base en el Tomografía Computarizada/Resonancia Magnética específica del paciente, imágenes en 3D y segmentadas, pre procesamiento de las imágenes, suavizado, enmascaramiento, escalamiento. Cuadro Creador Gráfico: Interfaz a las tarjetas gráficas. Caja de Interfaz ST-DIS - Interfaz a la red ST-DIS. La figura muestra un diagrama de jerarquía de los sistemas visuales. El sistema incluye un programa ejecutivo que ejecuta y administra todos los componentes del sistema y actualiza los estatutos de los subcomponentes de acuerdo con el cirujano/operador y el estado de todos los subcomponentes a medida que se leen a través de la red DIS (502). El Motor (501) Operativo/Ejecutivo es responsable de la inicialización de todos los componentes de software y hardware de manera que todos los componentes del sistema estén trabajando con las mismas bases de datos (por ejemplo, el conjunto de víctimas que elija el cirujano). Cuando comienza el escenario, el motor (502) operativo/ejecutivo realiza el control de ciclo y temporización y realiza la tarea de administrar cada componente para completar su ciclo de cálculo dentro del marco de tiempo que está planeado de manera que todos los subcomponentes del sistema reciban la información de los otros subcomponentes de manera oportuna, lo que permite que el sistema en general complete el ciclo de simulación en un período de tiempo determinado. Por ejemplo, cuando el cirujano toma una acción y la transmite la red DIS (502), el Generador (504) de Características lee la parte relevante de esta acción/consecuencia de esta acción calculada por el algoritmo de propiedades mecánicas, el Creador (503) Gráfico cambia la imagen de acuerdo con esta acción (por ejemplo, mueva un vaso que fue empujado por el cirujano), luego calcula los cambios que deben aplicarse en la imagen como resultado de este cambio, por ejemplo, creando una sombra resultado del cambio de ubicación y orientación del vaso. Este ciclo se ejecuta rápida y continuamente mediante el motor (501) operativo/ejecutivo de manera cíclica de tal manera que cada ciclo se completa dentro de un marco de tiempo de milisegundos, lo que permite al cirujano/operador recibir señales realistas y en tiempo real.

Descripción general de SRP:

El SRP crea una experiencia de inmersión completa “fidel a la realidad” para que el neurocirujano planifique y ensaye físicamente la cirugía de recorte de aneurisma cerebral mediante la conversión de datos DICOM específicos del paciente del sitio quirúrgico y los tejidos/estructuras circundantes en un modelo 3D dinámico e interactivo. A diferencia de los dispositivos de preparación quirúrgica existentes, el SRP puede proporcionar: (i) señales precisas de la apariencia, sensación y comportamiento mecánico de los tejidos específicos del paciente, (ii) visualización en 3D de la anatomía específica del paciente, (iii) cirugía en tiempo real como la manipulación del modelo de tejido 3D y, en el futuro, (iv) retroalimentación háptica al cirujano para una experiencia de “inmersión total”. Debido a la complejidad de la organización y las propiedades mecánicas de los tejidos biológicos vivos, el desarrollo de una interpretación tan realista “fidel a la realidad” requerirá los siguientes subdesarrollos (Figura 6): (i) Lector (602) de Volumen de Imágenes DICOM y Visor con Generador (611) de Modelo de Volumen de Interés segmentado (VOI) incorporado, (ii) Generador (604) de Imágenes 3D (IG), (iii) Motor de Deformación de Tejidos Blandos en Tiempo Real (RTTDE) (612), (iv) Red (610) de Simulación Interactiva Distribuida Quirúrgica (SDIS) (v) Software (601) de Aplicación Ejecutiva de Simulación (SimExec) (vi) Interfaz de Usuario de Cirujano (SUI) (605), y (vii) Motor de Interpretación de Interfaz de Usuario (UIIE) (613) (vi) base de datos VisChasDB para la visual, tal como la biblioteca de herramientas, latido del corazón, flujo sanguíneo y otros (603).

La conversión de un conjunto de datos DICOM 2D específicos del paciente en un modelo VOI 3D segmentado con atributos de tejido específicos del paciente precisos se realiza utilizando el Visor (611) de Volumen DICOM (software propietario desarrollado por Surgical Theatre LLC). En primer lugar, el conjunto de datos DICOM específico del paciente se somete a una etapa de mejora de la imagen utilizando algoritmos matemáticos adaptados para un conjunto de datos (603) 3D. Esta etapa de mejora aumentará la suavidad de la imagen y reducirá el ruido de la imagen sin afectar la capacidad de distinguir entre diferentes tipos de tejidos.

A continuación, utilizando una ventana de visualización de paneles múltiples dentro del Visor(602) de Volumen DICOM, el cirujano define el VOI, es decir, el sitio quirúrgico que contiene el aneurisma y los vasos y estructuras circundantes. La siguiente etapa es la segmentación de tejido, es decir, los rangos de intensidad específicos de tejido iniciales se asignan a los tejidos utilizando la ventana de Vista Superior del Visor de Volumen DICOM para producir un modelo VOI 3D con alta resolución, calidad, estructura de datos personalizable, y segmentación específica del tejido. El modelo 3D VOI se almacena en un repositorio específico del paciente y se accede a él durante el ciclo de operación de la siguiente manera: (I) Generador (604) de Imágenes 3D (IG) presenta al cirujano una representación visual de alta fidelidad del modelo a través de una interfaz gráfica; (II) el cirujano manipula el modelo utilizando herramientas quirúrgicas realistas dentro de la Interfaz (605) de Usuario Quirúrgico (SUI); (III) Motor (613) de Interpretación de Interfaz de Usuario (UIIE) traduce las manipulaciones del cirujano en un conjunto de valores matemáticos que, junto con otras entradas específicas del paciente (por ejemplo, latidos del corazón, flujo sanguíneo y otros) se aplican al modelo mediante el Motor (612) de Deformación de Tejido en Tiempo Real (RTTDE). A medida que cambia el modelo, el IG (604) refleja esos cambios al cirujano en tiempo real, completando así un ciclo de simulación. El flujo de SRP suave y continuo “fidel a la realidad” se logra repitiendo el ciclo ≥ 60 veces por segundo por el IG y 20 veces por segundo por el RTTDE (612).

Arquitectura con base en SDIS:

La arquitectura con base en SDIS facilita una capacidad única y exclusiva de fidelidad de primer nivel, señales finas y capacidades informáticas a la vez que maneja un gran volumen de información bajo estrictas restricciones en tiempo real a la vez que mantiene el rendimiento en tiempo real el cual es la capacidad central de la tecnología de Simulación de Vuelo. Una de las características de la red SDIS es que no hay un servidor o procesador central, cada nodo de simulación (los nodos pueden ser: Generador de Imágenes, Interfaz de Usuario, ordenador de Modelado Mecánico, etc.) mantiene su propia copia del entorno virtual común: vasos, tejidos y otros patrones que se mantienen y mantienen en cada uno de los nodos de simulación; cada uno de estos patrones se maneja como una “Entidad” separada. Esta arquitectura permite que diversos PCs trabajen juntos de manera sincronizada bajo estrictas restricciones de tiempo real, lo que permite que las capacidades únicas y pioneras de SRP brinden una fidelidad de primer nivel de la escena simulada. Esto crea un escenario envolvente que permite el ensayo de cirugías abiertas/clásicas donde los cirujanos interactúan con el órgano mediante el sentido humano directo.

Una vez que el cirujano selecciona las herramientas quirúrgicas y las otras Entidades, se integran en la escena de la cirugía virtual y se convierten en un elemento integrado del escenario simulado que incluye características visuales realistas y propiedades mecánicas y características de propiedades operativas que se aplican a cada uno de esos elementos seleccionados, por ejemplo, las tijeras tienen las características mecánicas reales y cortarían como lo hacen las tijeras reales, y los ganchos de aneurisma, cuando se colocan en el vaso, bloquean el flujo sanguíneo.

El sistema SRP tal como está compuesto por las siguientes unidades o combinación de subpartes de las unidades dependía de la configuración, el volumen que necesita ser simulado y la aplicación específica. Estos son similares a los del sistema de Teatro Quirúrgico como se muestra en la Figura 4, pero modificado como se describe en esta sección. Los subcomponentes pueden ejecutarse en diversas Unidades de Procesador Informático separadas en diversos PCs (Figura 7):

La estación de trabajo en donde trabaja el cirujano es la Interfaz 101 de Usuario. El Generador 102 de Imágenes funciona de manera similar al dispositivo similar en el Teatro Quirúrgico. El Administrador 103 Ejecutivo de Simulación sincroniza la operación en tiempo real del sistema, corre, y ejecuta los programas de modelado. La Estación 104 de trabajo STDE - Este PC maneja el STDE (Motor de Deformación de Tejidos Blandos). Servidor 105 de Archivo - esta estación contiene todos los archivos y datos relevantes y es capaz de registrar el procedimiento para la recopilación de datos y la presentación de datos en el futuro, y este PC también sirve como controlador de dominio de red. El IOS (Estación de Operación de Instructor) 106 es para monitorizar y controlar la sesión de entrenamiento, permitiendo también al instructor "inyectar" eventos. También servirá como el "Maestro de Ceremonia" y activará toda la sesión de entrenamiento. Se proporciona una o más Interfaces 107 de Usuario para el control de manos libres y/o para rastrear instrumentos quirúrgicos reales, como se describe a continuación.

Cada una de estas Unidades de Procesador Informático se conecta a través de la red SDIS con un conmutador de red (no se muestra).

Interfaz quirúrgica

Como se discutió anteriormente y en las aplicaciones relacionadas, el Teatro Quirúrgico actualizado proporciona un método para una representación híbrida (volumen y superficie) de imágenes de un archivo de escena (por ejemplo, un archivo de escaneo médico) de múltiples formatos (por ejemplo, a Imágenes Digitales y Comunicaciones en Medicina - DICOM) en una imagen/escena interactiva. La imagen/escena de salida puede ser bidimensional o tridimensional y contendrá geometría, punto de vista, textura, iluminación, sombras y otros elementos de la descripción de la escena virtual. La Figura 8 muestra un diagrama de flujo que muestra las características actualizadas, con los detalles específicos que se describen a continuación.

La imagen/escena interactiva se construye a partir de elementos que son tanto elementos renderizados volumétricos como elementos renderizados de superficie. Además, cada elemento, volumen o superficie, interactúa con uno o más elementos que son volumen (véase 112 de la imagen que se muestra en la Figura 9) y/o elementos de superficie (véase 111 de la Figura 9).

La interacción entre elementos incluye, pero no se limita a, interacción física tal como: un modelo de colisión implementado para representar la interacción entre elementos que resulta con movimientos y/o reformación de elementos que replican los movimientos físicos reales del elemento de acuerdo con condiciones físicas, tales como presión, material de los elementos (elasticidad, adherencia, etc.) y condiciones de colisión tales como ángulos de colisión y orientación de los elementos.

La ecuación del proceso de renderizado toma en cuenta todos los fenómenos de sombreado y sombras de iluminación y produce un flujo de salida final que incorpora todos los elementos visuales.

El software de renderizado de teatro quirúrgico resuelve la ecuación de renderizado en tiempo real a la vez que refleja la interacción física entre elementos a la vez que mantiene el aspecto realista de la imagen/escena/modelo de salida.

Por ejemplo, en la Figura 9 un gancho 112 presiona un vaso sanguíneo (elemento de volumen representado) que da como resultado una reformación de los vasos 111. Los usuarios controlan el control de interacción mediante un controlador de ratón, una pantalla táctil, controladores 3D o 6D, o un controlador de manos libres, descrito a continuación.

Controlador de manos libres o pantalla táctil: mediante la integración de un dispositivo con base en cámara que captura y reconoce los elementos del cuerpo del usuario en tiempo real (de una manera que puede utilizar tecnologías similares al sistema Kinect de Microsoft, por ejemplo, véase www.xbox.com/en-US/kinect/kinect-effect, con la tecnología Leap de Leap Motion como otro ejemplo, véase live.leapmotion.com/about.html ambos incorporados como referencia, véase el elemento 107 de la Figura 7), o mediante una pantalla táctil o cualquier otra interfaz, el usuario puede interconectarse e interactuar con la imagen/escena moviendo sus manos de una manera predefinida, para controlar la imagen/escena (Figuras 10A y 10B). El usuario puede, entre otras, realizar las acciones de: Girar, mover, y cambiar la imagen/escena (véase el movimiento de la mano que se muestra en la Figura 10A a la Figura 10B, con el movimiento moviendo y reorientando la imagen 121, 122, respectivamente)

Acercar y alejar.

Seleccionar elementos de una biblioteca y agregarlos a la imagen/escena.

Arrastrar y soltar elementos de la imagen/escena.

Ordenar a uno o más elementos para que interactúen con uno o más elementos - por ejemplo, colocar un gancho de aneurisma y ordenar que se cierre en el aneurisma y luego ordenar "cerrar", lo cual hace que el gancho (elemento de superficie) interactúe con el aneurisma (elemento de volumen) con los apretones físicos resultantes del aneurisma y el movimiento del gancho (de hojas abiertas a hojas cerradas).

Seleccionar elementos y eliminarlos de la imagen/escena.

Desplazarse entre cortes si la imagen/escena está apilada/construida a partir de múltiples cortes (tal como Tomografía Computarizada, Resonancia Magnética)

Volver a colocar los objetos en la escena seleccionándolos y luego arrastrándolos a la posición 3D deseada. Esto permite, pero no se limita a, provocar la interacción de la herramienta con el tejido (en el caso de arrastrar una herramienta 132 en la Figura 11) o realizar mediciones en la escena (en el caso de arrastrar los marcadores 131 de medición, véase la Figura 11).

“Tejido pintado”:

General: las imágenes médicas producidas por un escáner (tal como Resonancia Magnética, Tomografía Computarizada y otros) proporcionan información física, estructural funcional o de otro tipo sobre la estructura anatómica escaneada. Debido a una diversidad de razones, entre otras, la limitación del escáner, no todas las estructuras anatómicas son claramente visibles en la imagen resultante. Dos ejemplos de este fenómeno/limitación son:

1- En Resonancia Magnética, es posible que los nervios no siempre sean visibles. Un ejemplo específico puede ser en imágenes de escaneos cerebrales hacia el tratamiento de la compresión micro vascular donde un vaso cerebral toca un nervio y crea una presión física sobre el nervio; en esos escaneos, el vaso a menudo es visible en la imagen escaneada, sin embargo, el nervio no puede ser observado.

2- En Resonancia Magnética, Tomografía Computarizada u otros escaneos, una parte de la estructura anatómica puede ser visible, sin embargo, por razones de verdad, entre otras, la limitación del escáner, solo una parte de las estructuras anatómicas es visible. Un ejemplo puede estar en imágenes: en una Tomografía Computarizada o Resonancia Magnética, partes de la estructura de los vasos pueden ser visibles a la vez que otras partes no. En este ejemplo, la imagen de los vasos se distorsionará y/o no se completará.

“Pintura de tejidos”: el algoritmo desarrollado y la herramienta de software proporcionan al usuario una interfaz para dibujar cualquier forma geométrica o forma de dibujo a mano alzada en 2 o 3 dimensiones (por ejemplo, línea, círculo, clínica, pelota, etc.). La interfaz de pintura resultante permite al usuario determinar el grosor de la línea o el revestimiento de la pared y las paredes de formas tridimensionales. El usuario también puede determinar las características visuales de la forma; el color, la transparencia, etc. La nueva forma se crea dentro de la imagen médica de una manera que permite que la nueva forma creada se convierta en parte del escaneo (Tejido Mágico) y se integre con la imagen escaneada. Por ejemplo, el usuario puede dibujar una línea que representará un nervio. Este nervio se puede empaquetar en una longitud, forma, color, transparencia, ubicación y orientación de la selección del usuario. El usuario puede colocar la forma próxima a una estructura anatómica existente observada en la imagen escaneada (por ejemplo, una parte visible del escaneo) y “conectarla” a una estructura anatómica existente. El usuario también asigna esta forma recién dibujada a un tipo de tejido específico. Una vez creada, esta nueva forma se renderiza y se agrega al modelo anatómico tridimensional. La nueva forma se puede renderizar y reconstruir como un modelo de volumen o como un modelo de masa/polígono. Las Figuras 14A y 14B muestran ejemplos de pintura de tejido en 181, 182, respectivamente.

“Varita Mágica de Tejido”: Debido a una diversidad de razones, que incluyen, entre otras, la limitación del escáner, no todas las estructuras anatómicas son visibles en la imagen resultante. A menudo, una estructura anatómica (por ejemplo, un vaso sanguíneo) aparecerá solo parcialmente en una imagen y no se visualizará la estructura completa; faltarán partes de la estructura anatómica y la estructura anatómica no será una total continuada/completa. Se proporciona un algoritmo y una herramienta de software que completa la estructura anatómica y reconstruye la imagen para crear una estructura anatómica más completa. El algoritmo de reconstrucción utiliza cálculos geométricos analíticos y cálculos realizados en la imagen escaneada para analizar y recrear la estructura anatómica con base en “pistas”, señales y otros signos existentes en la imagen escaneada con el fin de completar las partes faltantes de la estructura anatómica. Esto incluye distribuciones geométricas y esféricas de vóxeles similares en la unidad Hounsfield (HU) y la creación de un vector de distribución para analizar y recrear la parte faltante de la estructura anatómica (la escala HU es una transformación lineal de la medición del coeficiente de atenuación lineal original en una en la cual la radio densidad del agua destilada a presión y temperatura estándar (STP) se define como cero unidades Hounsfield (HU); por ejemplo, la radio densidad del aire en STP se define como -1000 HU).

El algoritmo Varita Mágica de Tejido conecta el vóxel de distribuciones esféricas de una manera complementaria, es decir, el vóxel se agregará a la estructura anatómica incompleta original (véase el elemento 152 de la Figura 12B y el elemento 162 de la Figura 13A) si se agregaran aquellos vóxel juntos, la estructura anatómica es más completa (por ejemplo, continúa, combinado en una estructura anatómica total/completa, véase el elemento 151 de la Figura 12B5 y el elemento 161 de la Figura 13B). Al aplicar el algoritmo Varita Mágica de Tejido a la imagen escaneada, se completará la estructura anatómica. Por ejemplo, después de que se haya aplicado el algoritmo Varita de Tejido, se completará un vaso que no era visible en una determinada parte de la imagen, y aparecerá como una estructura anatómica más continua (por ejemplo, el elemento 161 de la Figura 13B).

Reconstrucción de volumen y/o masa/polígono - las estructuras anatómicas que se crearon con el algoritmo Pintura de Tejidos y Varita Mágica de Tejido e integradas con la imagen escaneada son, para cualquier consideración de la práctica, una parte integrada de la imagen. Por ejemplo, el vaso con estructuras anatómicas que originalmente era

parcial y completo, después de aplicar el algoritmo Pintura de Tejido Mágico y Varita de Tejido se convertirá en una estructura anatómica completa con estructura que se combina a partir de la imagen escaneada original y la nueva estructura creada. Además, un control (casilla de verificación) permite seleccionar la nueva estructura creada y cambiar entre encendido (mostrando la nueva estructura creada) o apagado (ocultando la nueva estructura creada).
 5 Además, se proporciona una opción para la selección para renderizar la nueva estructura creada en un volumen o renderizado/reconstrucción de masa/polígono.

Región Marcada - Un algoritmo desarrollado y una herramienta de software proporciona al usuario una interfaz para dibujar cualquier forma geométrica o forma de dibujo a mano alzada en 2 o 3 dimensiones (por ejemplo, línea, círculo, clínica, pelota, etc.). La región que está incluida/encerrada/capturada dentro de dicha forma geométrica (2 o 3
 10 dimensiones) se define como una "Región Marcada". Entonces, el usuario tiene la capacidad de definir y asignar cualquier característica visual y cualquier propiedad mecánica a esa "región marcada".

Características visuales; color/transparencia/sombreado - la nueva estructura creada ya sea o con la Pintura Mágica de Tejido, el algoritmo de Varita de Tejido o la Región Marcada se puede presentar en cualquier característica visual seleccionada de color que se puede seleccionar a partir de una biblioteca de colores disponibles, y una transparencia que se puede seleccionar en cualquier nivel de 0 a 100. Además, las características de sombras y sombreado de la
 15 nueva estructura creada se pueden modificar sintonizando las características de las fuentes de luz virtuales. Las características de las fuentes de luz virtuales incluyen: ubicación esférica en el espacio, color de la luz, intensidad de la luz, relación de aspecto, forma geométrica de la fuente virtual, etc.

Propiedades mecánicas - la nueva estructura creada, o bien con el algoritmo Pintura de Tejido, Varita Mágica de Tejido o la Región Marcada, puede asignarse con características de propiedades mecánicas. Es decir, que un modelo mecánico de un tejido específico puede acoplarse a la nueva estructura creada y, por lo tanto, la nueva estructura creada será inherente a tales propiedades mecánicas y reaccionará, dinámica y estáticamente, de acuerdo con esas
 20 propiedades mecánicas. Por ejemplo, si las propiedades mecánicas de un "tejido blando" se asignaron a una nueva estructura creada, reaccionará de acuerdo con un tejido blando. Por ejemplo, cuando será empujado por un instrumento de cirugía virtual, se comprimirá y reformará de acuerdo con la fuerza aplicada y el modelo mecánico del tejido. Además, la interacción entre las nuevas estructuras empaquetadas y otras nuevas estructuras empaquetadas, la interacción entre las estructuras originalmente escaneadas y las nuevas estructuras empaquetadas y entre las
 25 nuevas estructuras empaquetadas y las estructuras originalmente escaneadas son fluidas. El usuario puede ajustar los coeficientes de propiedades mecánicas de cualquier estructura anatómica (rigidez, elasticidad, etc.) para crear un comportamiento mecánico personalizado.
 30

Rastreo y Retroalimentación en Tiempo Real - un sistema para rastrear un instrumento quirúrgico real durante la cirugía. El sistema de Rastreo transfiere la ubicación y coordinación de los instrumentos quirúrgicos en el espacio en relación con la orientación y ubicación de una estructura anatómica real (por ejemplo, un lugar específico en la cabeza del paciente). La ubicación y orientación de los instrumentos se envía al sistema de simulación quirúrgica. Se
 35 proporciona retroalimentación al cirujano con base en la simulación específica del paciente y la ubicación y orientación de los instrumentos. Un ejemplo de dicha retroalimentación puede ser; el sistema genera información a los cirujanos sobre el tipo de tejido que está disecando y alerta al cirujano en caso de que diseccione tejido cerebral sano en lugar de un tumor. Un ejemplo adicional es que después de que el cirujano aplicó un implemento en la estructura anatómica real (por ejemplo, un gancho de aneurisma aplicado en un aneurisma en el paciente real), el sistema le permite al
 40 cirujano girar la imagen/modelo simulado que está orientado principalmente como la estructura anatómica real con base en el rastreo, y observar y evaluar la ubicación y eficacia del implante colocado.

Este rastreo y retroalimentación del instrumento real se puede lograr de diversas formas, tal como mediante el uso de un sistema de vídeo para rastrear la ubicación y el movimiento del instrumento y las características del paciente. Alternativamente (o además del rastreo por vídeo), el instrumento quirúrgico puede modificarse para permitir el rastreo,
 45 por ejemplo, mediante el uso de GPS, acelerómetros, detección magnética, u otros dispositivos y métodos de detección de ubicación y movimiento. Dichos instrumentos modificados pueden comunicarse con el Teatro Quirúrgico mediante Wi-Fi, Bluetooth, MICS, o por ejemplo, otros métodos de comunicación. La interfaz 107 en la Figura 7, por ejemplo, se puede utilizar para esta característica.

Pueden proporcionarse diversas otras realizaciones de ejemplo de la invención a través de diversas combinaciones de las características descritas anteriormente. Aunque la invención se ha descrito anteriormente utilizando ejemplos y realizaciones específicas, los expertos en la técnica entenderán que se pueden usar diversas alternativas y se pueden
 50 sustituir los elementos y/o etapas descritas en el presente documento por equivalentes, sin desviarse necesariamente del alcance pretendido de la invención. Pueden ser necesarias modificaciones para adaptar la invención a una situación particular o a necesidades particulares sin apartarse del alcance pretendido de la invención. Se pretende que la invención no se limite a las implementaciones y realizaciones particulares descritas en el presente documento, sino
 55 que a las reivindicaciones se les otorgue su interpretación razonable más amplia para cubrir todas las realizaciones novedosas y no obvias, literales o equivalentes, divulgadas o no, cubiertas por las mismas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema (1) de procesamiento de datos para modelar un procedimiento médico, que comprende:

una pantalla (18);

un generador (37; 43) de imágenes para generar, con base en la información de la imagen del paciente sobre los tejidos biológicos de un paciente en particular, una imagen dinámica de tejidos, que incluye una imagen de un aneurisma, para visualizar en dicha pantalla, dicha generación para visualización en dicha pantalla (18) los tejidos que representan los tejidos biológicos reales correspondientes; en donde dicha generación con base en la información de la imagen del paciente comprende segmentar un volumen de interés (VOI) definido a partir de datos DICOM específicos del paciente de un sitio quirúrgico que contiene un aneurisma y vasos y estructuras circundantes para lograr un modelo tridimensional (3D) del volumen de interés (VOI) con segmentación específica de tejido;

un generador de herramientas de usuario para generar un modelo de herramienta (112; 132) de usuario para interactuar dinámicamente con dicha imagen dinámica de tejidos mediante manipulaciones proporcionadas por una entrada (20; 47) de usuario para su visualización en dicha pantalla (18); y

una interfaz (20; 47) de usuario que proporciona una herramienta dispuesta para ajustar la imagen dinámica de los tejidos que se visualizan en dicha pantalla (18) adicionando o modificando características de dichos tejidos y asignando características de propiedades mecánicas acoplado un modelo mecánico de un tejido específico a las características adicionadas o modificadas de dichos tejidos para compensar las estructuras anatómicas que se encuentran en el tejido biológico real pero que faltan en la imagen dinámica de los tejidos originalmente visualizado, de tal modo que la imagen dinámica de los tejidos visualizada se visualiza posteriormente en la pantalla (18) con la características adicionadas o modificadas, en donde

dicho modelo (112; 132) de herramienta se visualiza en dicha pantalla (18) interactuando dinámicamente con dicha imagen dinámica de tejidos (111; 151, 152; 161, 162) aplicando deformación de tejido en tiempo real para simular el procedimiento médico; y

en donde dicha herramienta de usuario incluye un aplicador de ganchos de aneurisma para aplicar un modelo de gancho de aneurisma dispuesto para interactuar dinámicamente con la imagen de los tejidos, asignándose al modelo de gancho de aneurisma propiedades mecánicas para bloquear un flujo sanguíneo cuando se coloca en un vaso.

2. El sistema de modelado de la reivindicación 1, en donde la interfaz (20; 47) de usuario incluye una pantalla táctil.

3. El sistema de modelado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la herramienta para ajustar la imagen dinámica de los tejidos incluye una herramienta para proporcionar la capacidad de dibujar cualquier forma geométrica en la imagen dinámica de los tejidos.

4. El sistema de modelado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la herramienta para ajustar la imagen dinámica de los tejidos incluye una herramienta para proporcionar la capacidad de completar una estructura anatómica incompleta de la imagen dinámica de los tejidos.

5. El sistema de modelado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la herramienta para ajustar la imagen dinámica de los tejidos proporciona la capacidad de modificar la textura, iluminación, sombra y/o sombreado de una porción de la imagen dinámica de los tejidos.

6. El sistema de modelado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha imagen dinámica de tejidos incluye una imagen de una estructura anatómica y en donde dicha herramienta (112; 132) de usuario incluye un instrumento para interactuar dinámicamente con la estructura anatómica.

7. El sistema de modelado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además:

una base de datos (3) para almacenar una biblioteca de una pluralidad de patrones de diferentes implantes; y

una interfaz de usuario para seleccionar un modelo de implante a partir de dicha pluralidad de patrones para usar con dicho modelo de herramienta de usuario para interactuar dinámicamente con dicha imagen de tejidos.

8. El sistema de modelado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la herramienta para ajustar la imagen dinámica de los tejidos incluye una herramienta para proporcionar la capacidad de ordenar a la herramienta que interactúe con una o más porciones de la imagen dinámica de los tejidos.

9. El sistema de modelado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la herramienta para ajustar la imagen dinámica de tejidos incluye una herramienta para proporcionar la capacidad de seleccionar elementos de un modelo de herramienta y/o la imagen dinámica de tejidos para su extracción de la imagen visualizada.

10. El sistema de modelado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la herramienta para ajustar la imagen dinámica de los tejidos incluye una herramienta para proporcionar la capacidad de reposicionar objetos en la imagen visualizada seleccionando los objetos y arrastrándolos a la posición deseada para su visualización en la imagen.

11. El sistema de modelado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la herramienta para ajustar la imagen dinámica de los tejidos incluye una herramienta para proporcionar la capacidad de mejorar e integrar la estructura anatómica en la imagen dinámica.
- 5 12. El sistema de modelado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la herramienta para ajustar la imagen dinámica de los tejidos incluye una herramienta para proporcionar la capacidad de dibujar cualquier forma geométrica para agregar a la imagen dinámica de los tejidos.
- 10 13. El sistema de modelado de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, comprendiendo además una cámara para proporcionar entrada de usuario para operaciones de manos libres por parte del usuario.
14. Un método de procesamiento de datos para modelar una simulación quirúrgica, comprendiendo las etapas de:
proporcionar un sistema (1) informático;
15 proporcionar una pantalla (18) conectada a dicho dispositivo informático;
obtener información de la imagen del paciente sobre los tejidos biológicos de un paciente en particular para almacenarla en dicho sistema informático;
generar, utilizando el sistema informático, una imagen dinámica de los tejidos biológicos, que incluye una imagen de un aneurisma, del paciente en particular para visualizarla en dicha pantalla (18), utilizando dicha generación la
20 información de la imagen de dicho paciente de tal manera que dicha imagen dinámica de los tejidos sea visualizada en dicha pantalla que representa los tejidos reales correspondientes del paciente en particular;
en donde dicha generación con base en la información de la imagen del paciente comprende segmentar un volumen de interés VOI definido a partir de datos DICOM específicos del paciente de un sitio quirúrgico que contiene un aneurisma y vasos y estructuras circundantes para lograr un modelo tridimensional del volumen de interés VOI con
25 segmentación específica del tejido;
generar, utilizando dicho sistema informático, un modelo de herramienta de usuario para interactuar dinámicamente con dicha imagen dinámica de tejidos mediante entradas (20; 47) de manipulación por un usuario para su visualización en dicha pantalla (18);
ajustar, utilizando una entrada (20; 47) de usuario a dicho sistema informático, la imagen dinámica de los tejidos
30 visualizada en dicha pantalla (18) adicionando o modificando características de dichos tejidos para su visualización y asignar características de propiedades mecánicas acoplando un modelo mecánico de un tejido específico a las características adicionadas o modificadas de dichos tejidos para compensar las estructuras anatómicas que se encuentran en el tejido biológico real del paciente en particular, pero que faltan en la imagen dinámica de los tejidos originalmente visualizados, de tal modo que la imagen dinámica de los tejidos visualizada se visualiza posteriormente
35 en la pantalla (18) con las características adicionadas o modificadas; y
generar, utilizando el sistema informático, una simulación del procedimiento médico aplicando deformación tisular en tiempo real para su visualización en dicha pantalla (18) mostrando interacciones entre la imagen dinámica de los tejidos (111; 151, 152; 161, 162) y el modelo (112; 132) de herramienta de usuario de acuerdo con las entradas del usuario; y
40 en donde dicho modelo de herramienta de usuario incluye un modelo de gancho de aneurisma dispuesto para interactuar dinámicamente con la imagen de los tejidos, asignándose al modelo de gancho de aneurisma con propiedades mecánicas para bloquear un flujo sanguíneo cuando se coloca en un vaso.

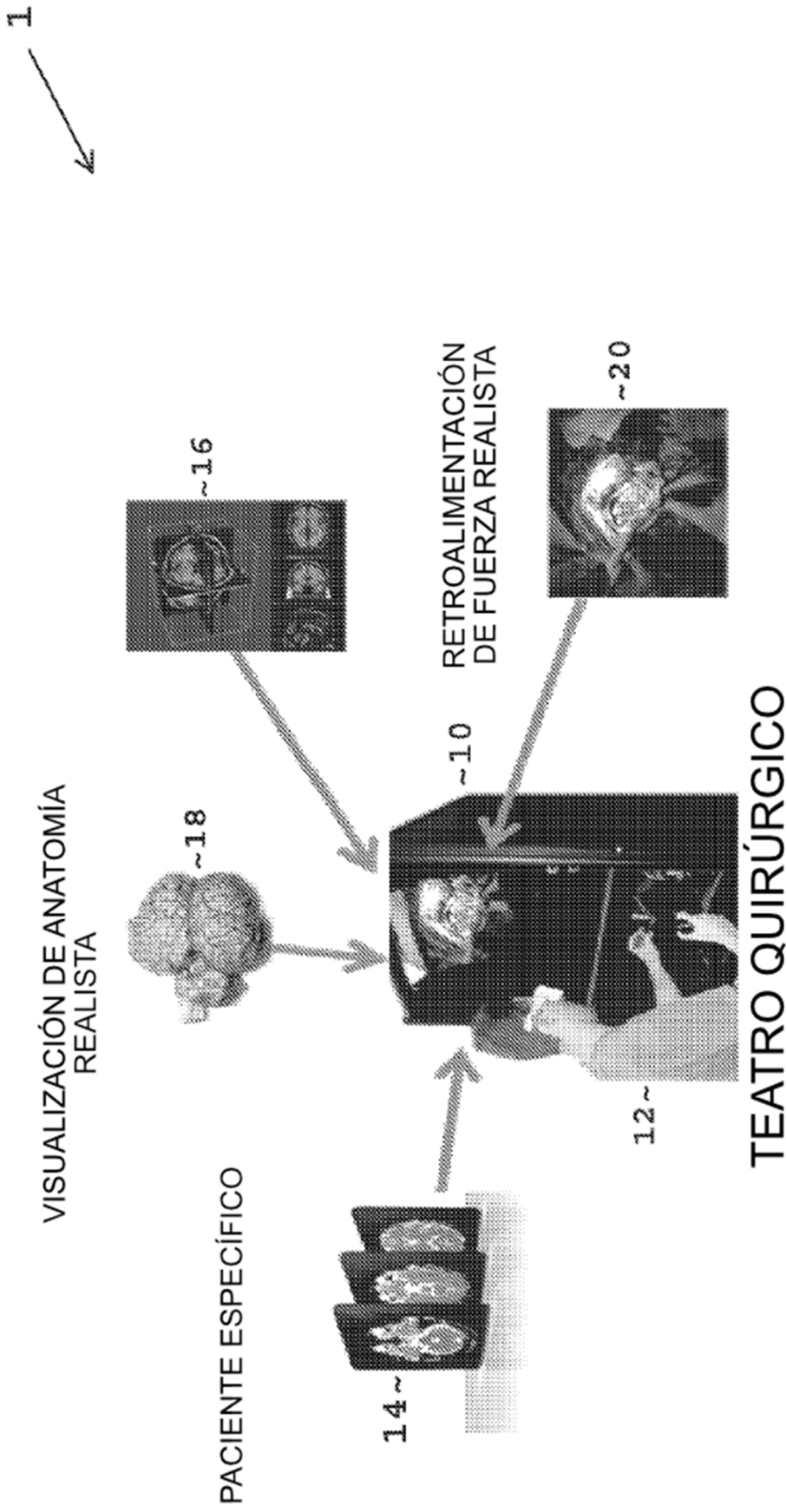


Figura 1

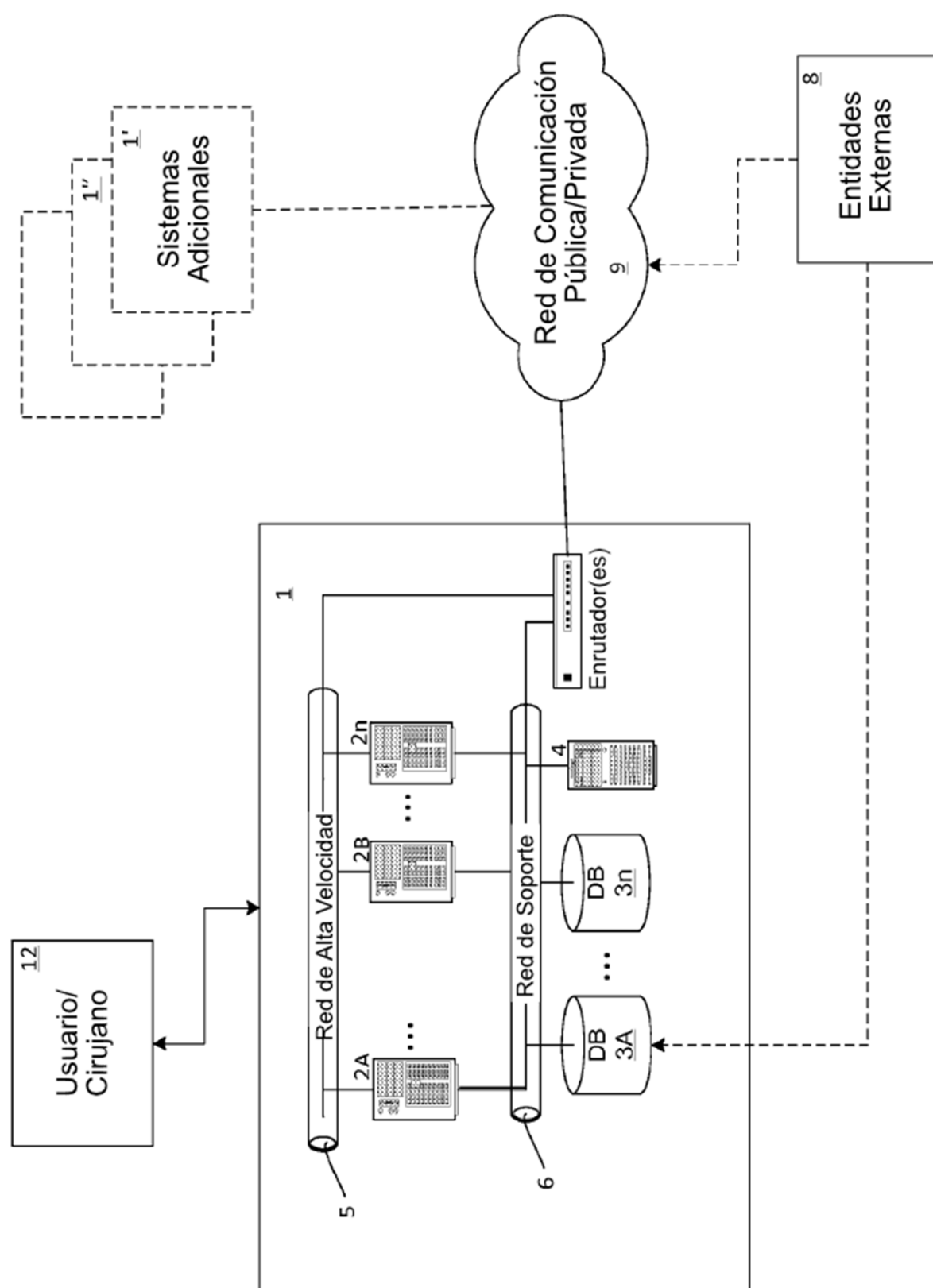


FIG. 1A

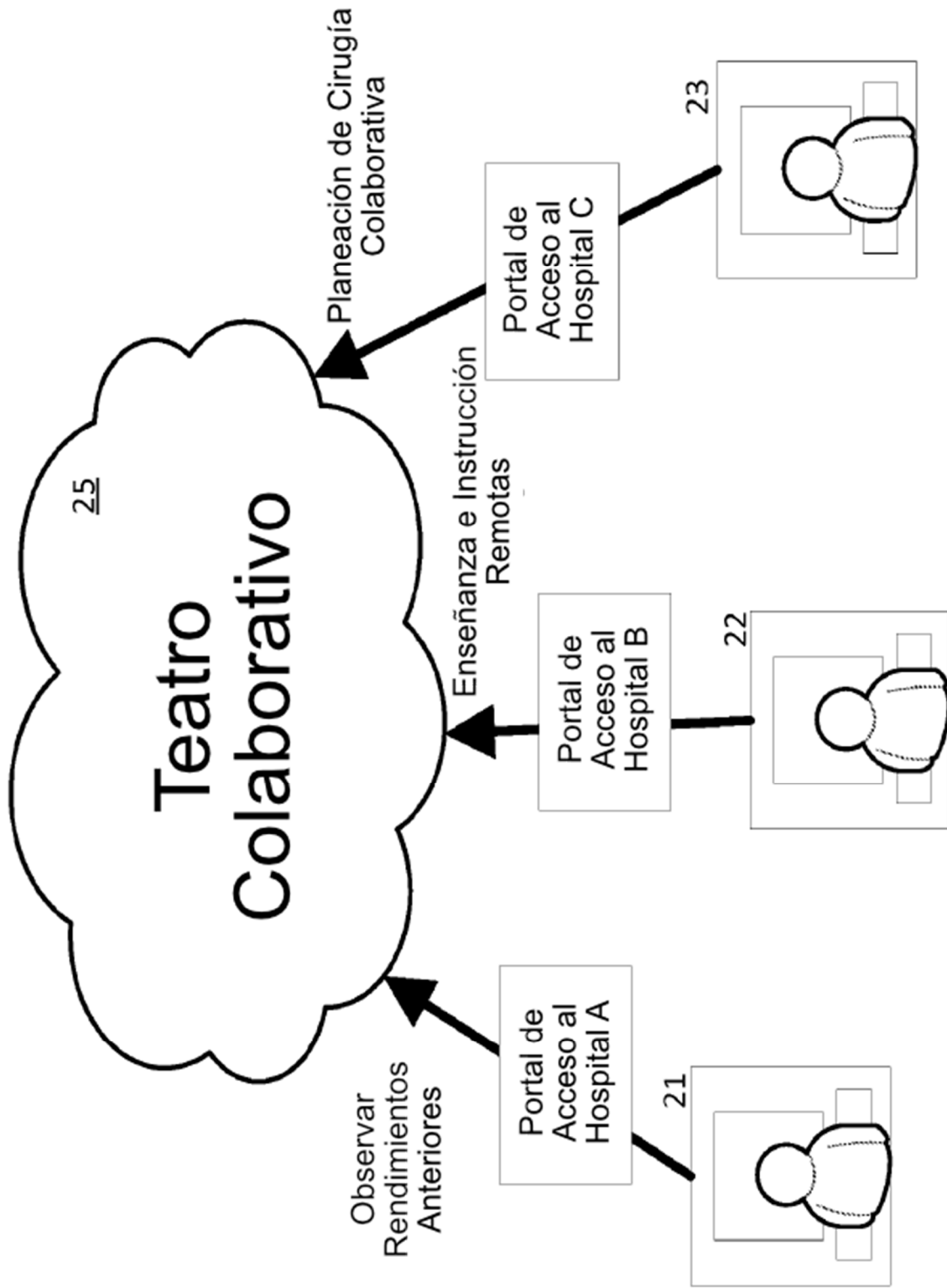


FIG. 2

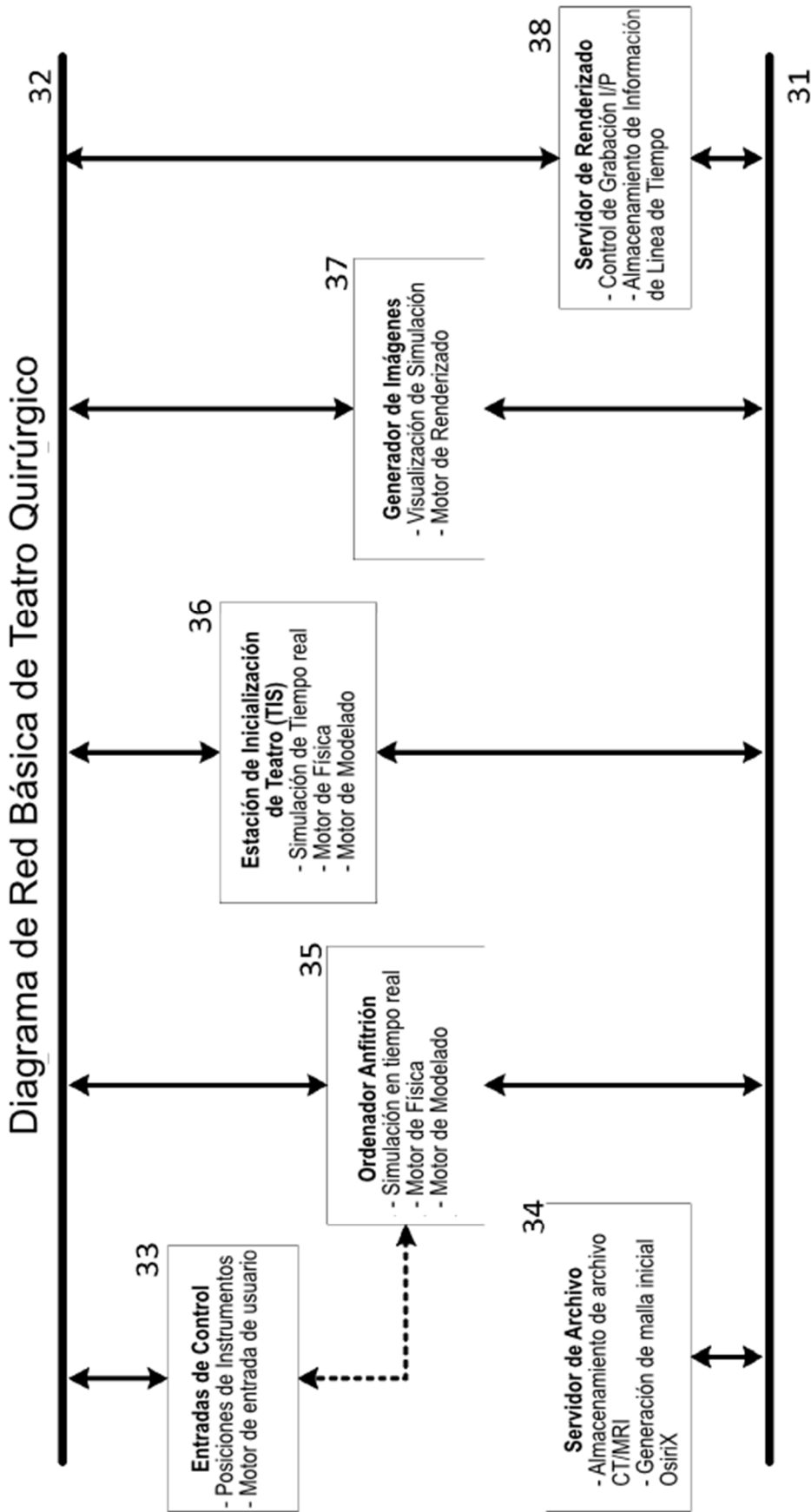


FIG. 3

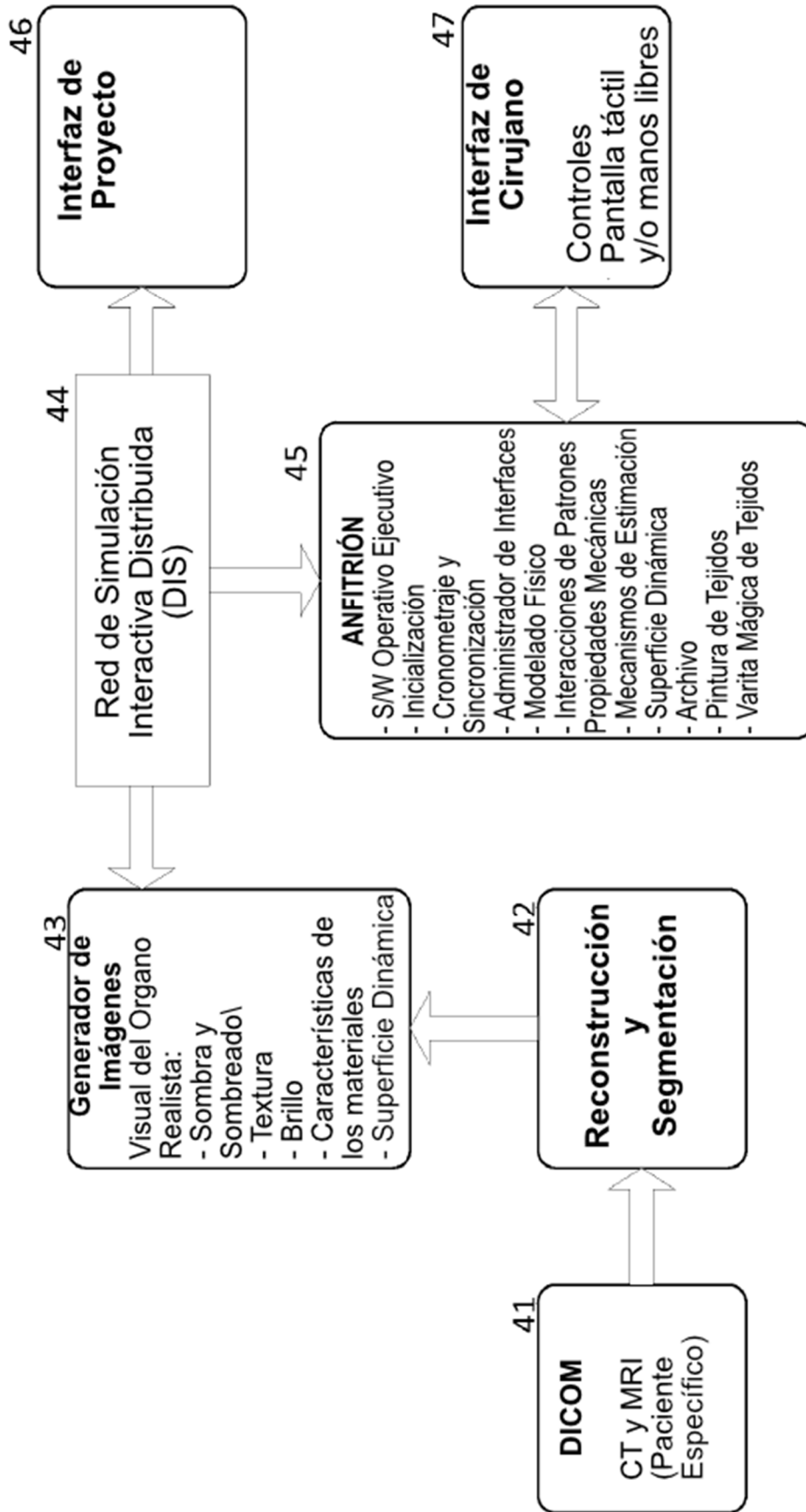


FIG. 4

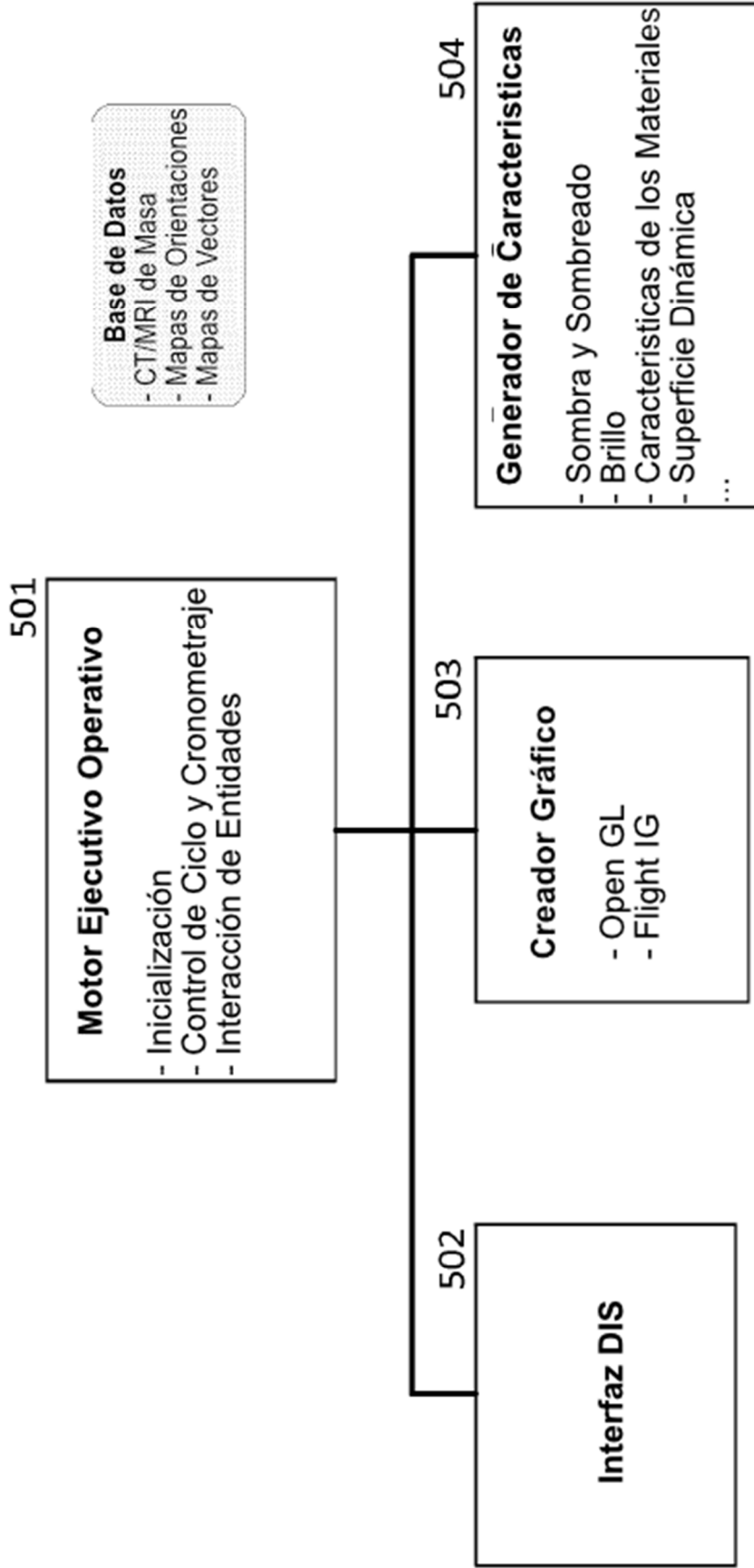


FIG. 5

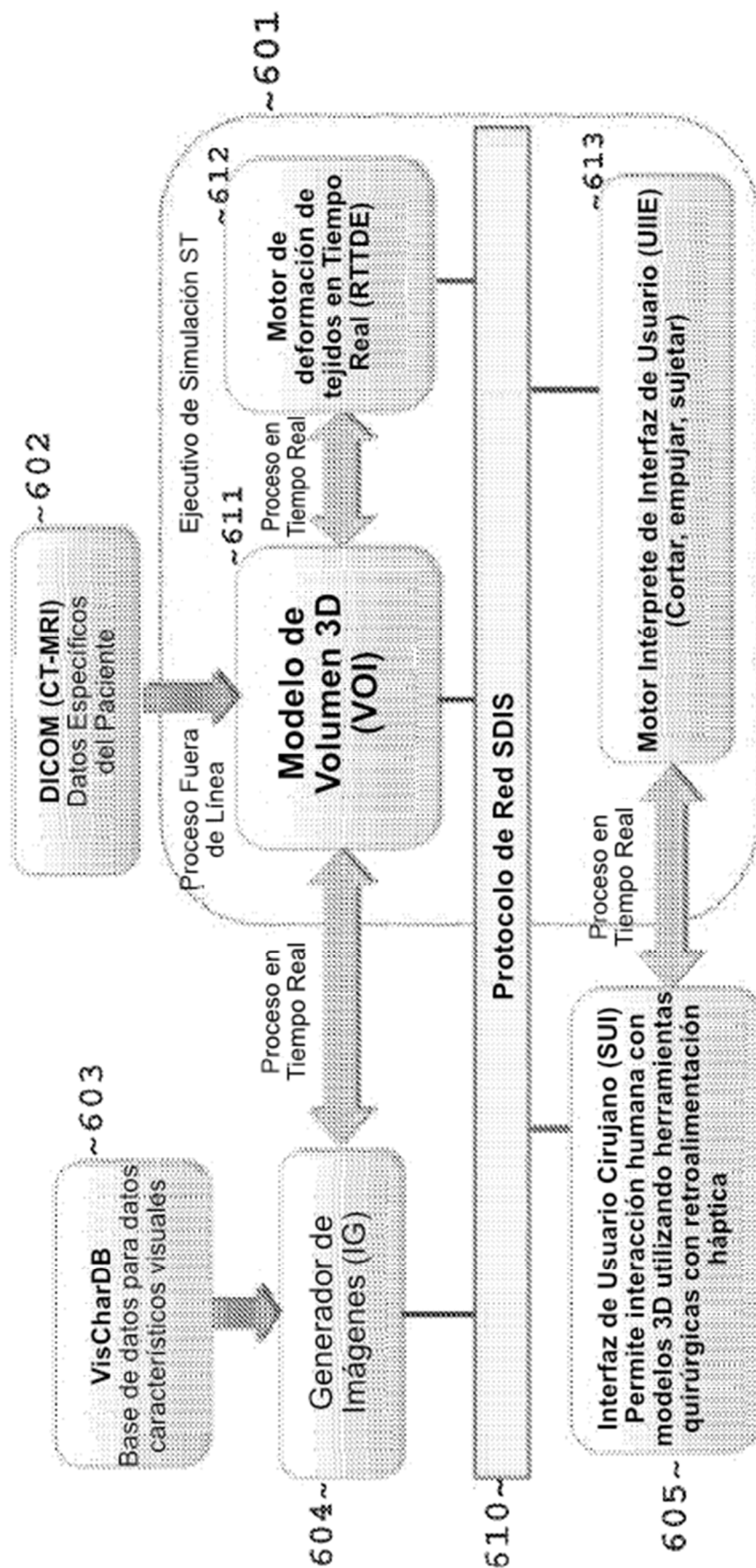


FIG. 6

Arquitectura y Flujo de Trabajo de SRP

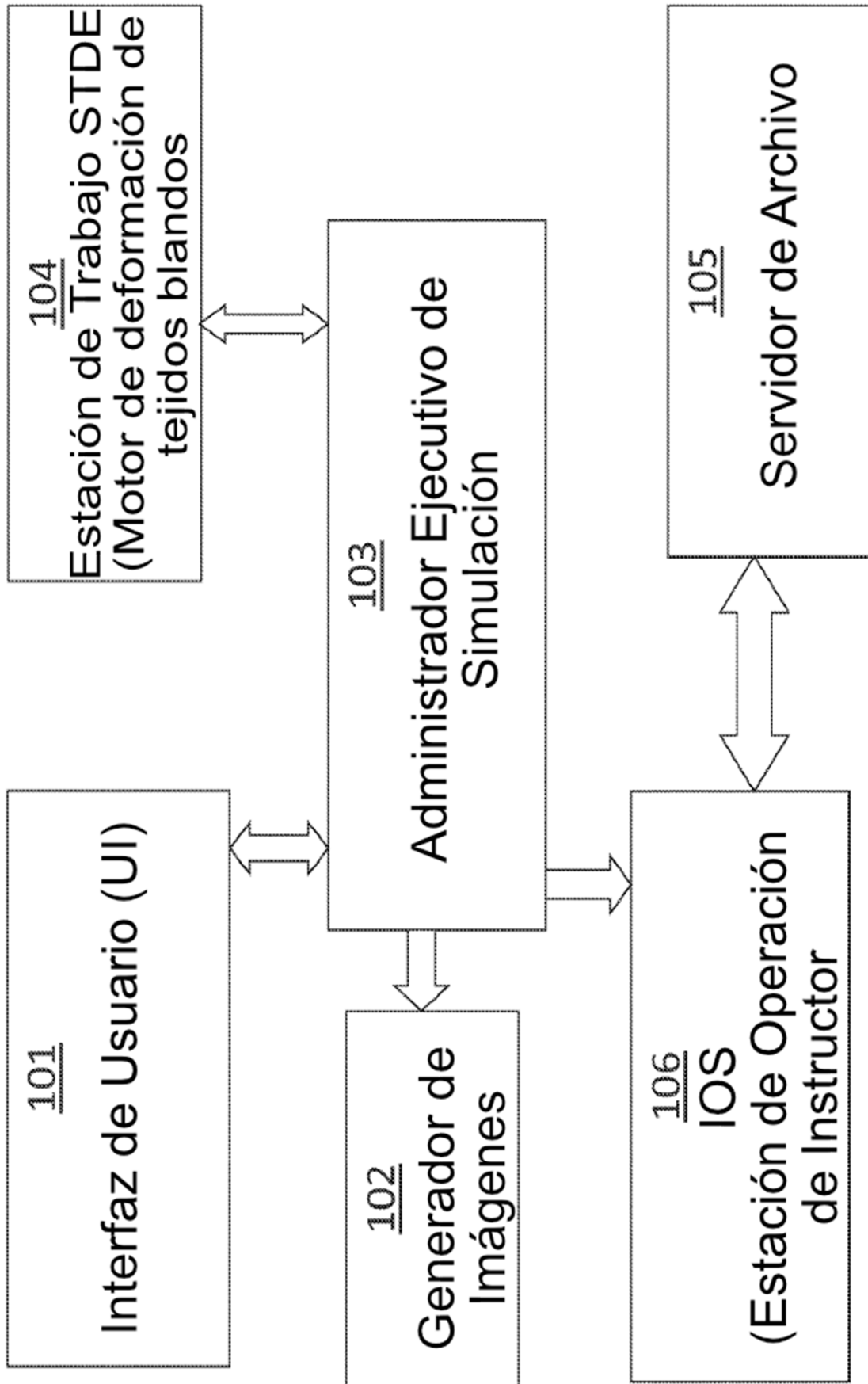


FIG. 7

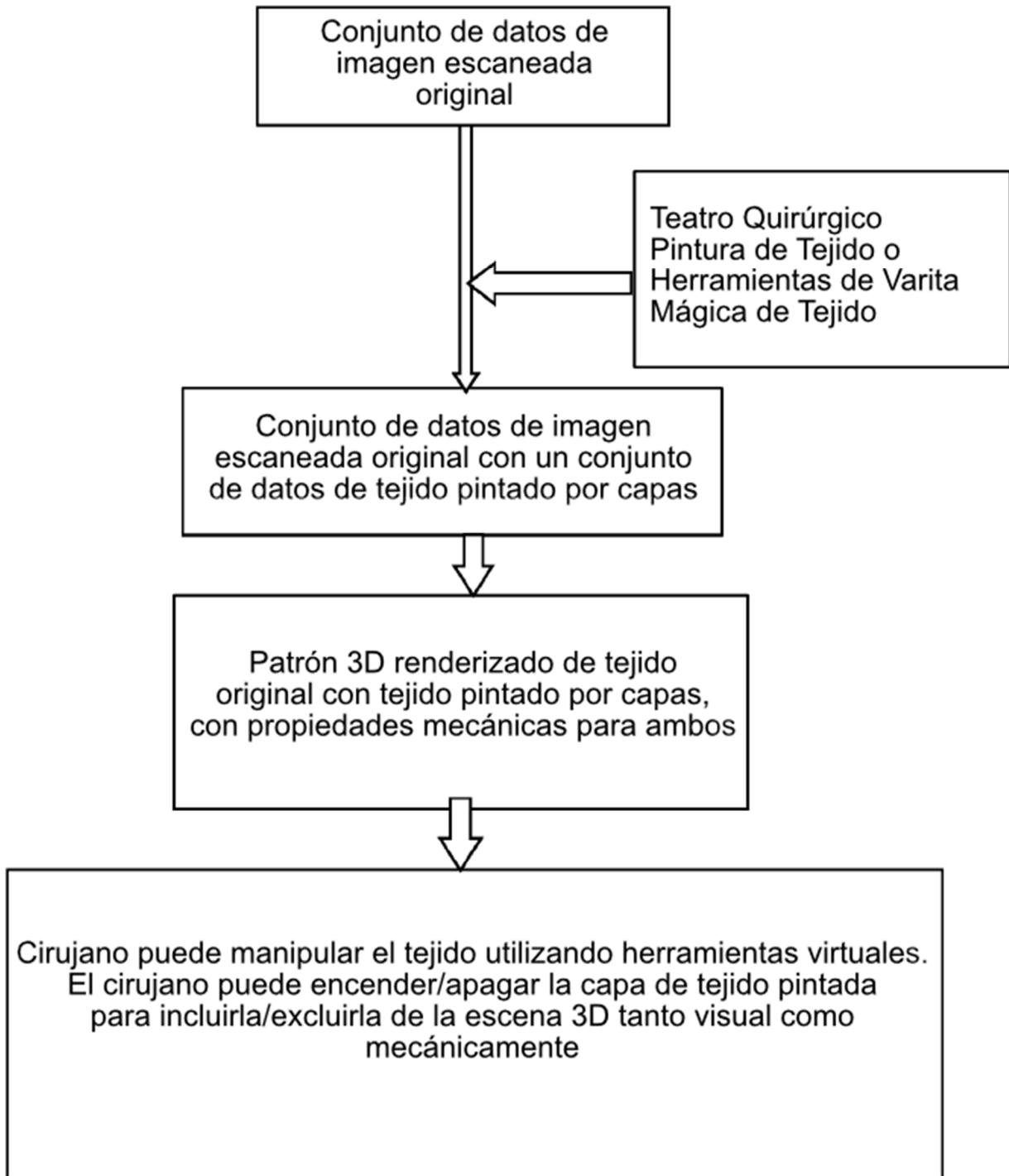


FIG. 8



FIG. 9

112

111

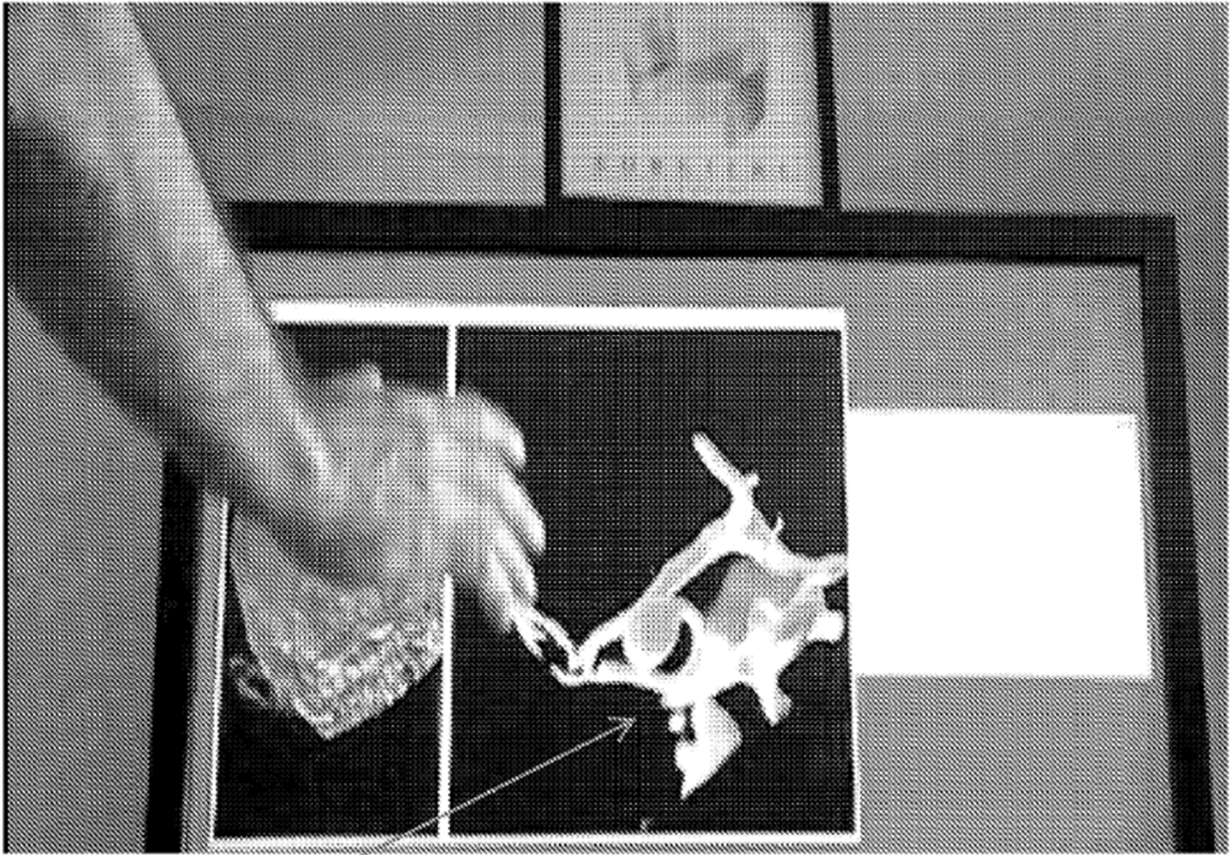


FIG. 10A

121

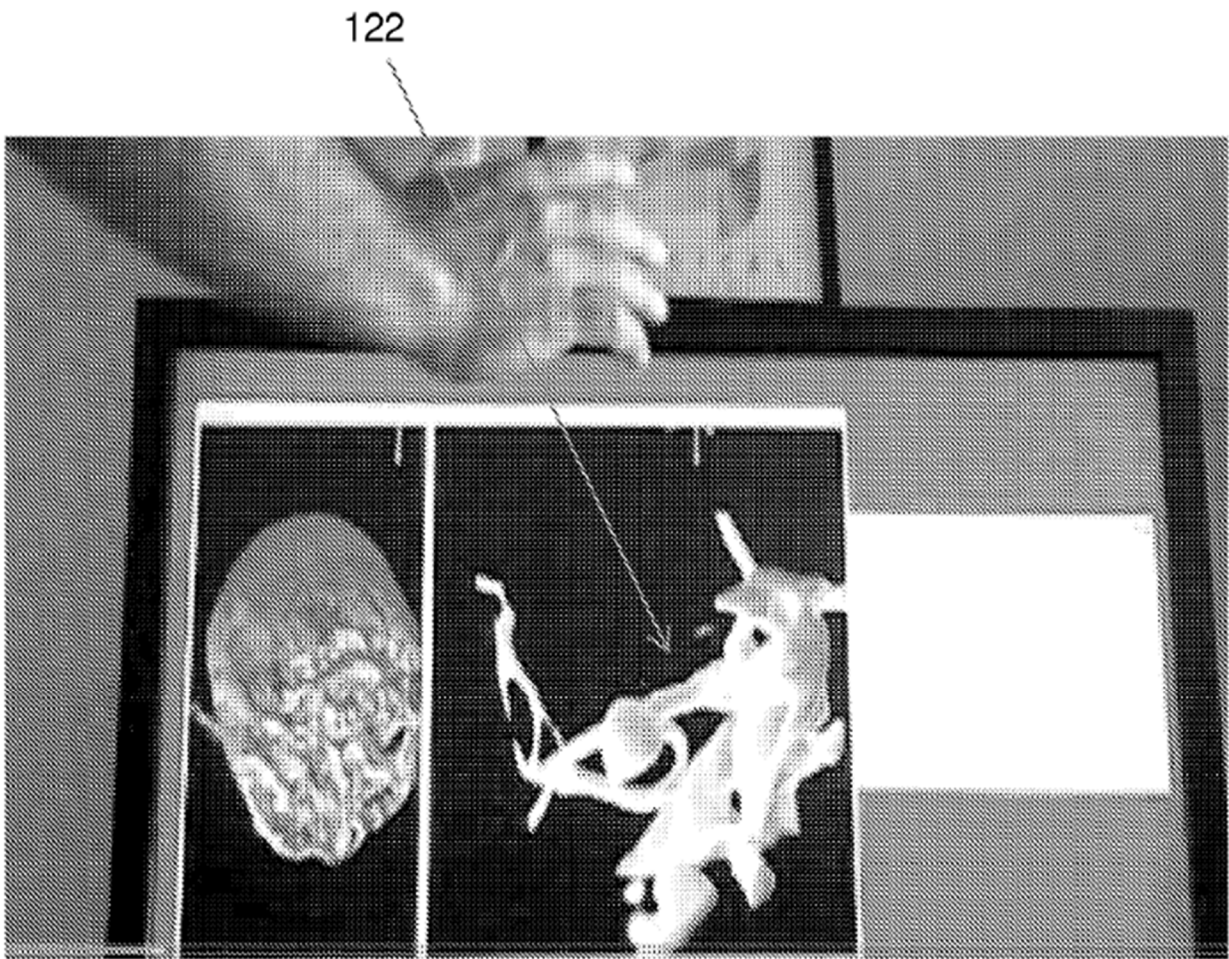


FIG. 10B

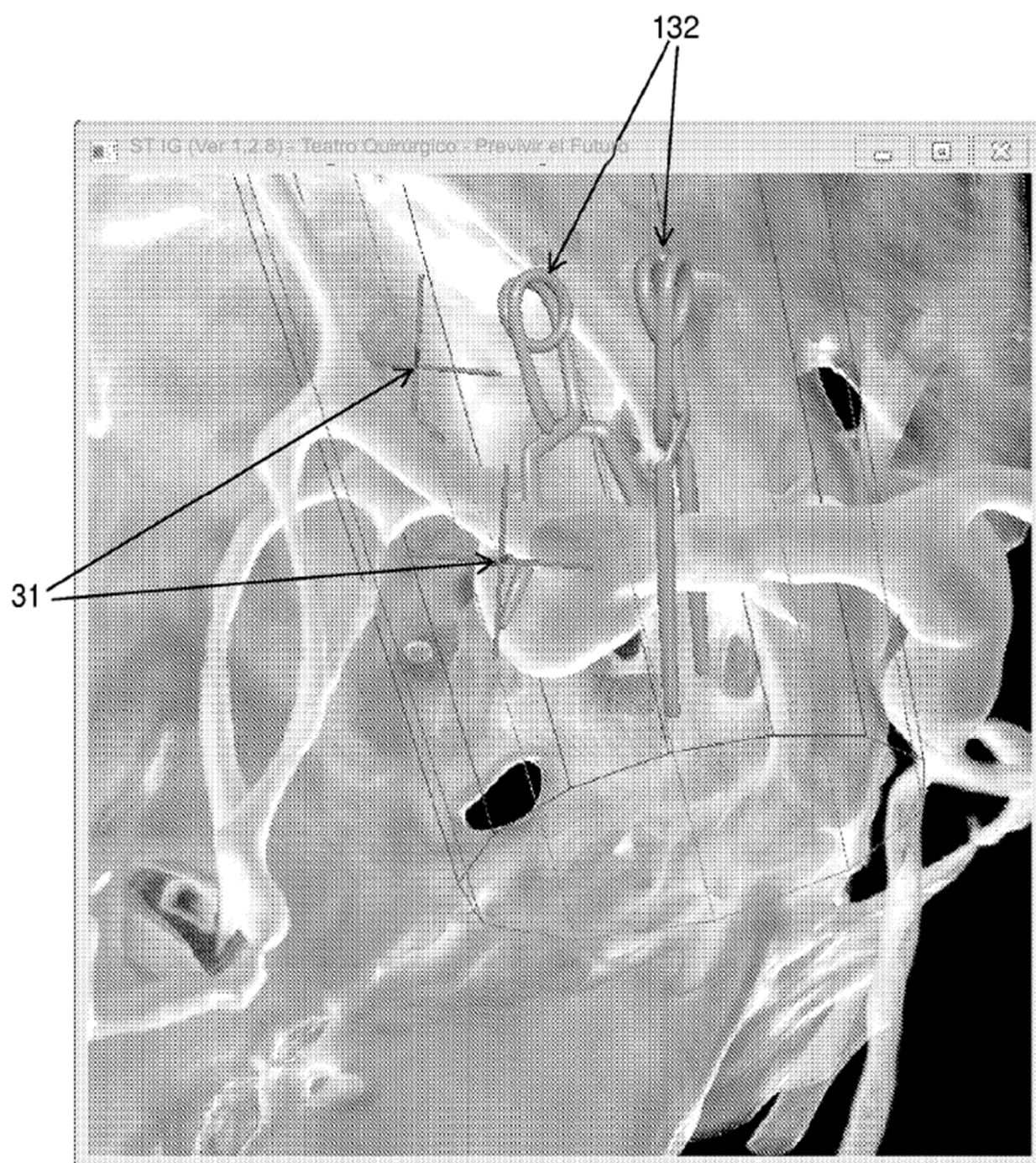


FIG. 11

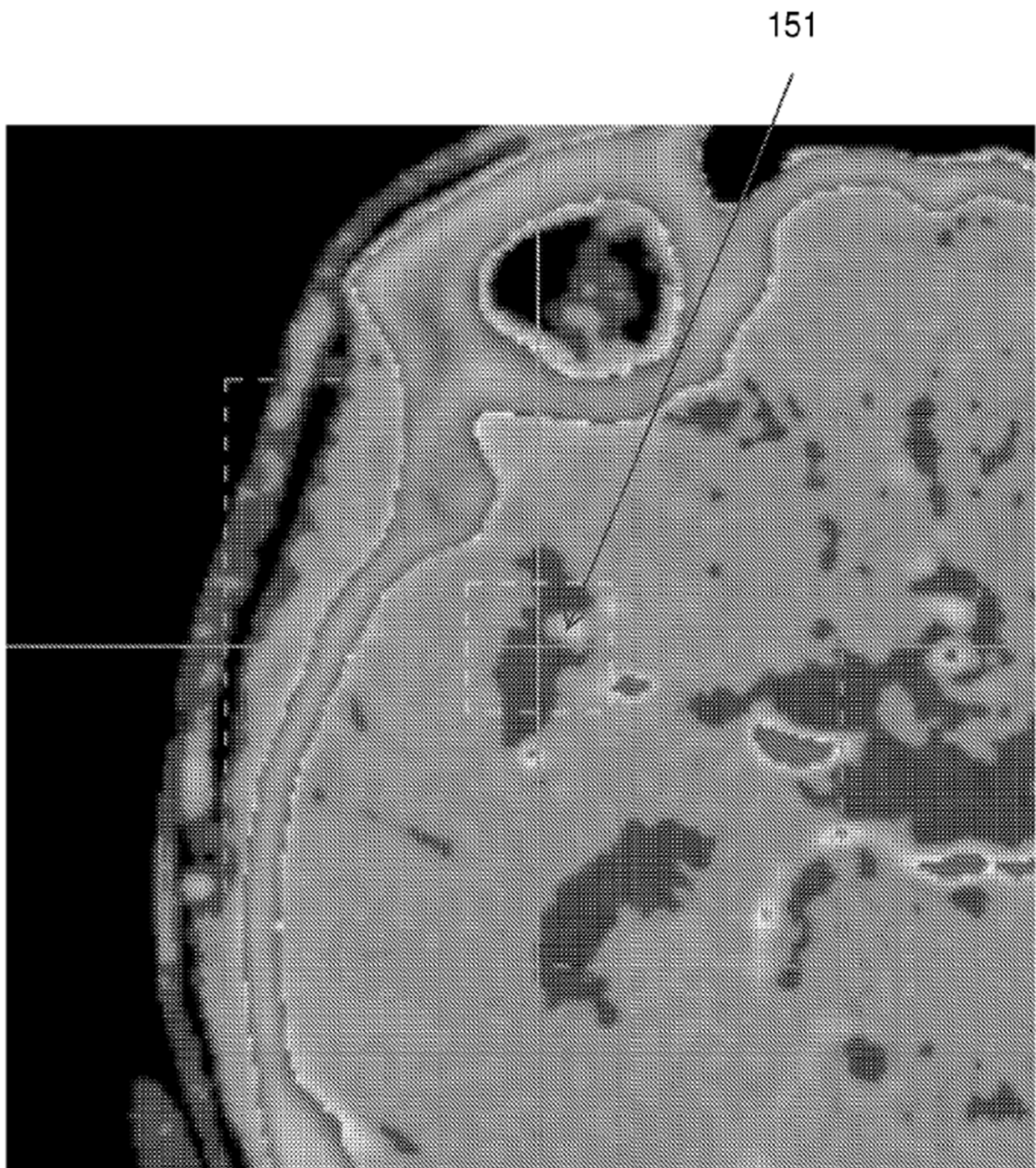
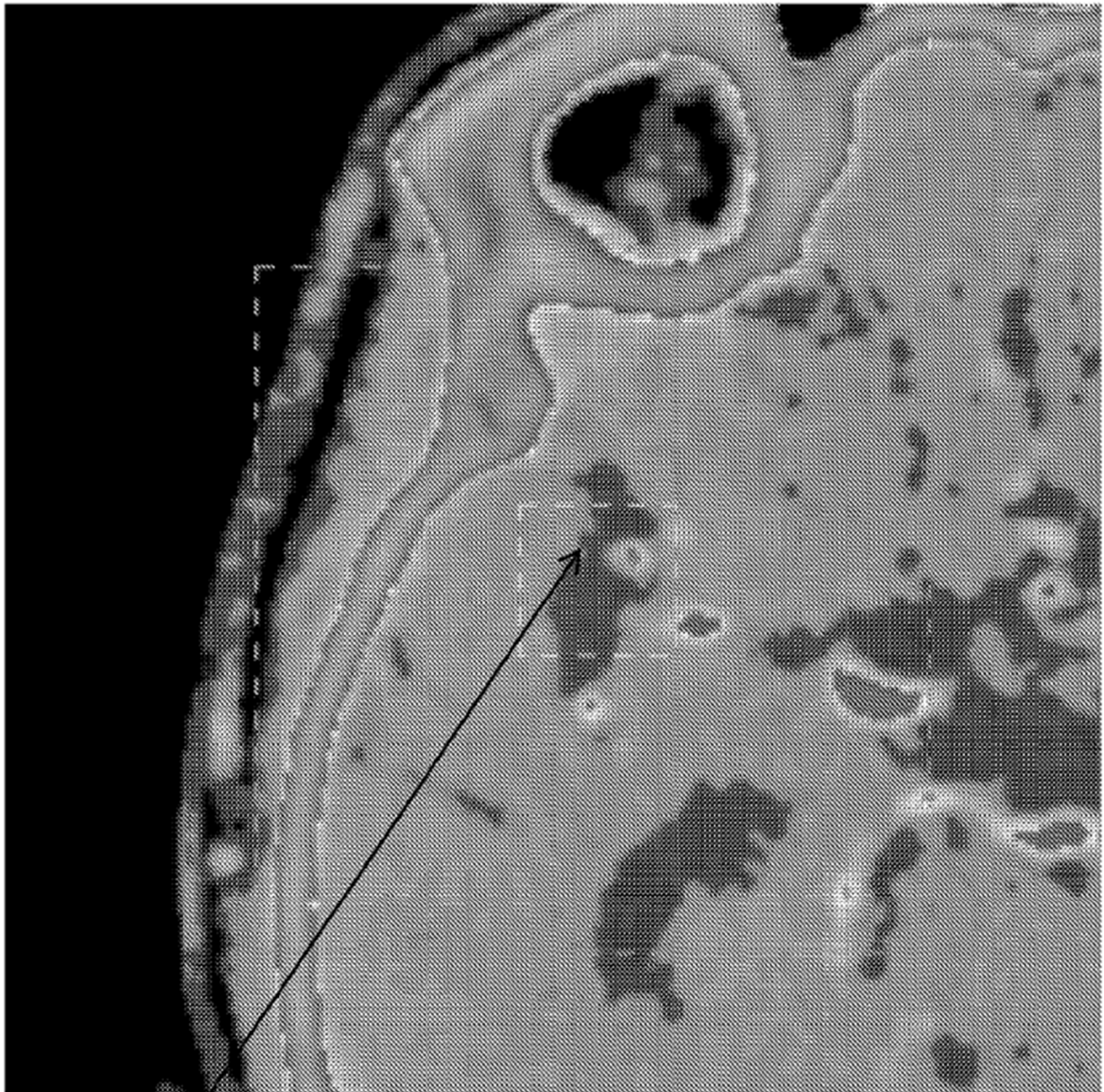


FIG. 12A



152

FIG. 12B

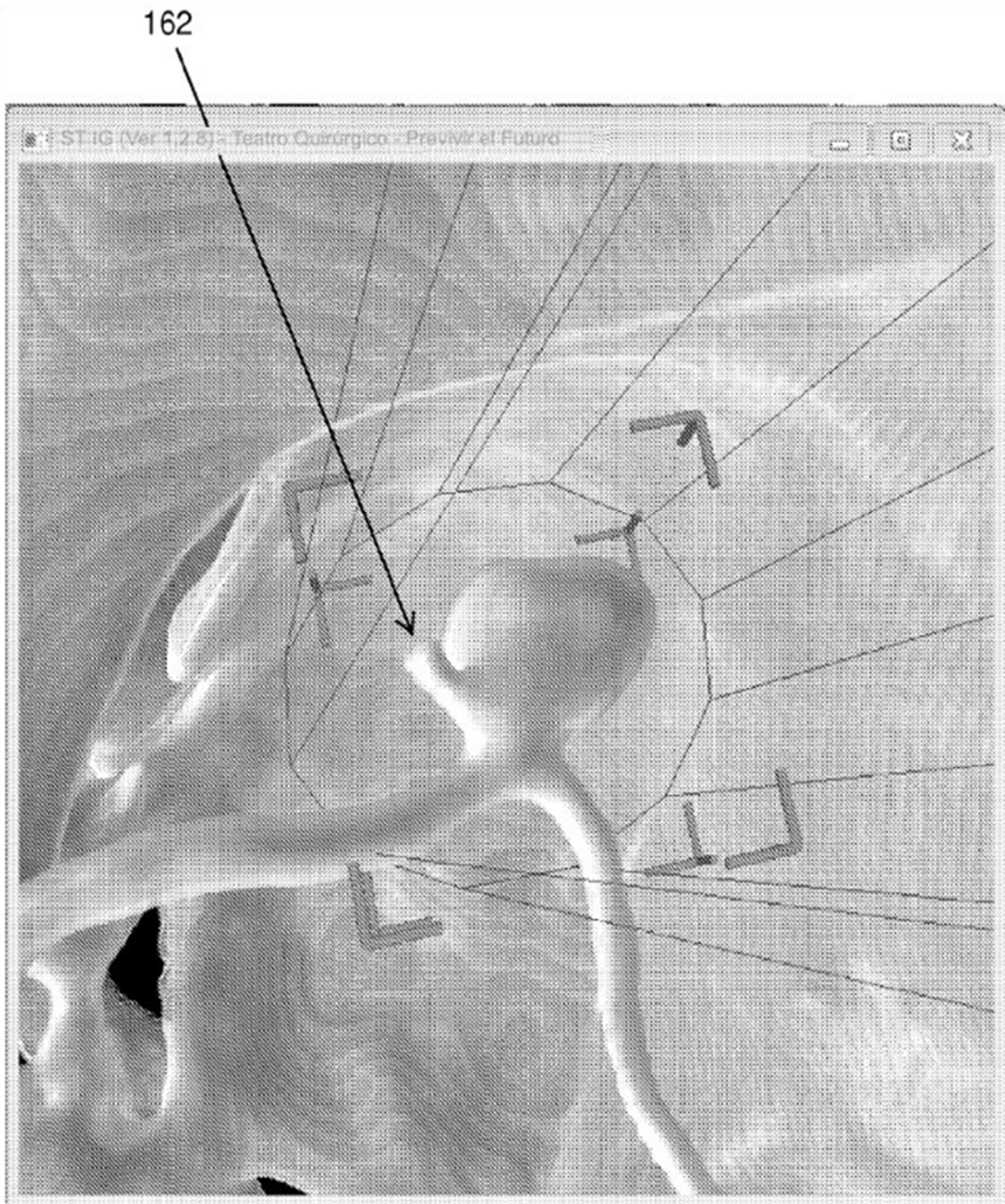


FIG. 13A

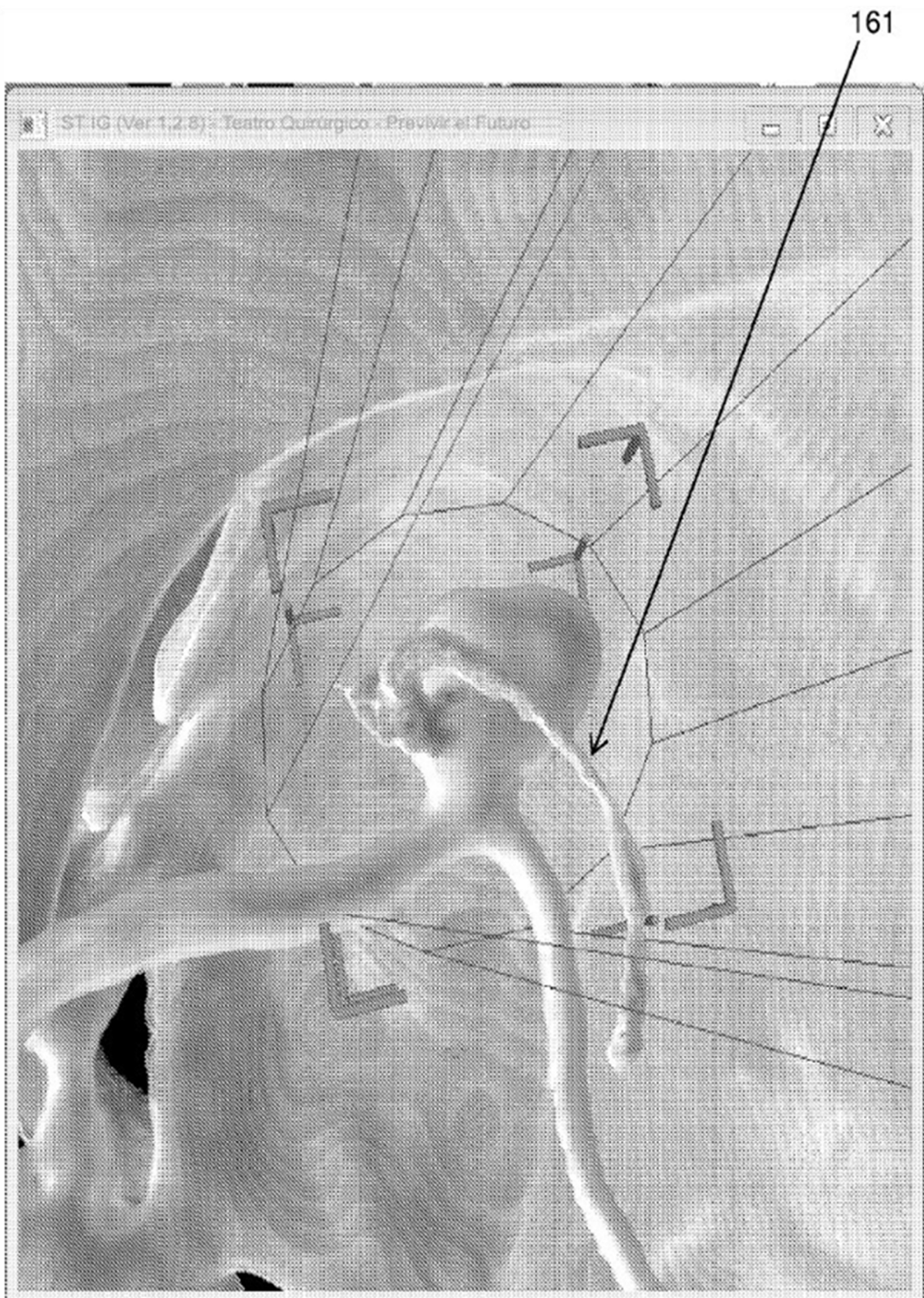
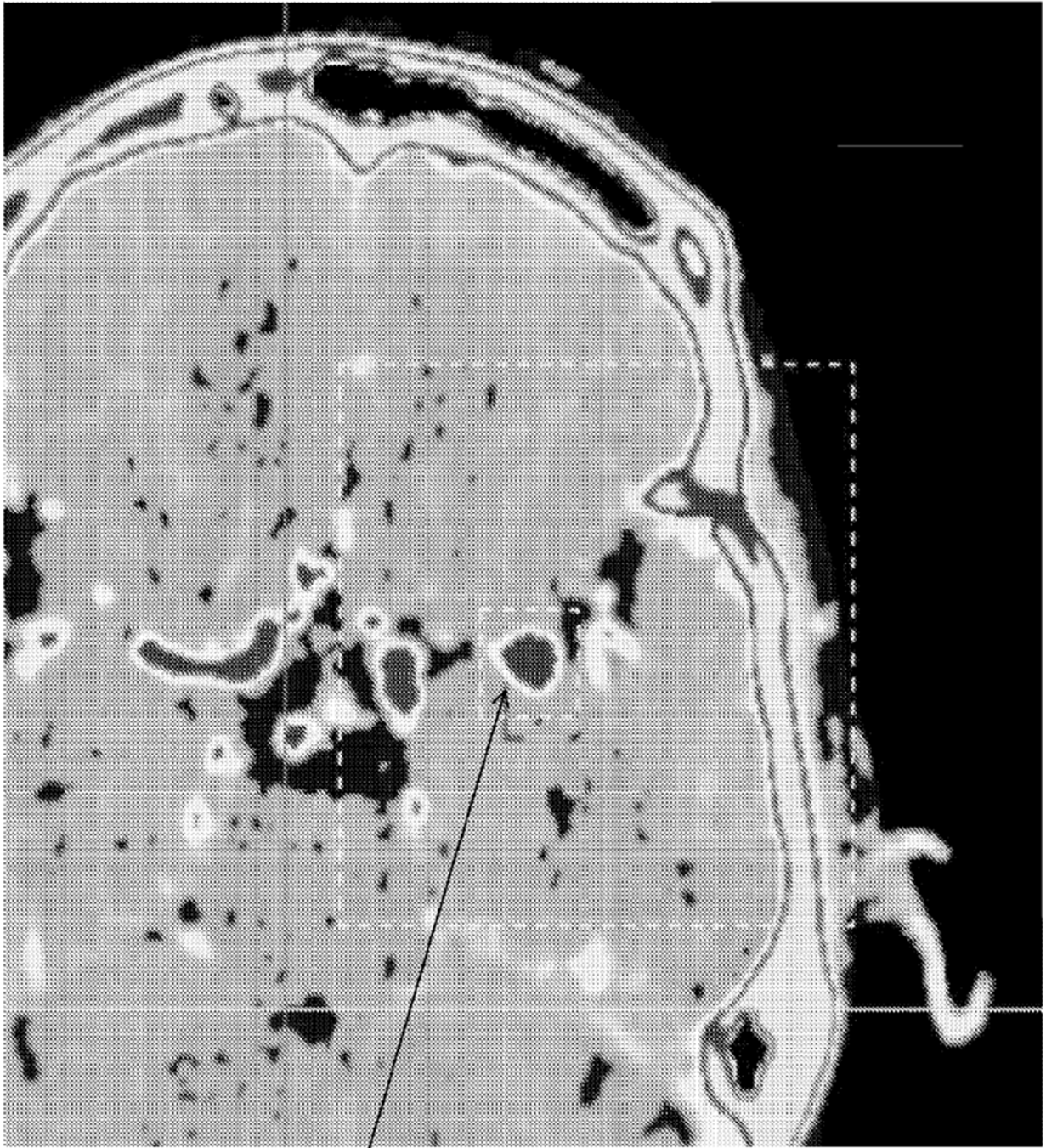


FIG. 13B



181

FIG. 14A

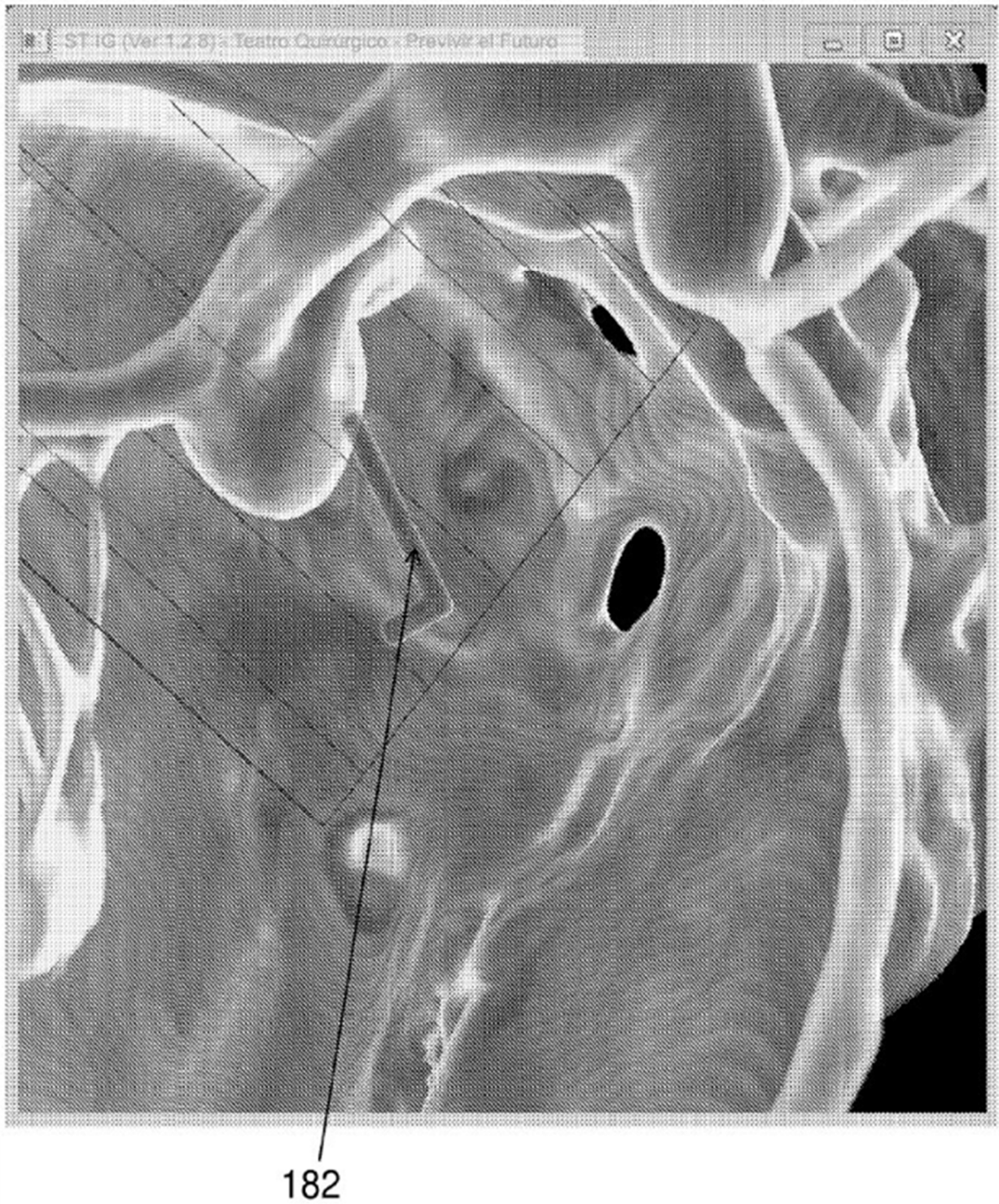


FIG. 14B