

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 797 683**

51 Int. Cl.:

A61C 1/08 (2006.01)

A61B 1/24 (2006.01)

A61C 8/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.01.2016 PCT/US2016/014306**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.07.2016 WO16118737**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.01.2016 E 16705612 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020 EP 3247306**

54 Título: **Disposiciones de guiado interactivo y detección de manipulación para un sistema robótico quirúrgico**

30 Prioridad:

22.01.2015 US 201562106343 P

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

03.12.2020

73 Titular/es:

**NEOCIS INC. (100.0%)
2800 Biscayne Blvd. Suite 600
Miami, FL 33137, US**

72 Inventor/es:

**MOZES, ALON;
SALCEDO, JUAN;
MCMAHAN, WILLIAM;
ANDERSON, RYAN;
VAISH, SARVAGYA y
COLE, DAVID**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 797 683 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

Disposiciones de guiado interactivo y detección de manipulación para un sistema robótico quirúrgico

5 ANTECEDENTES

Campo de la Invención

10 La presente solicitud se refiere a robots quirúrgicos y sistemas de guiado asociados y, más particularmente, a un sistema de robot quirúrgico guiado utilizado, por ejemplo, en cirugía dental, en el que el sistema también está configurado para detectar y responder a la manipulación o a la desconexión por parte de un usuario del mismo, así como para seguir de forma interactiva el instrumento quirúrgico guiado durante el procedimiento quirúrgico.

Descripción de la técnica relacionada

15 El documento US 2014/0272789 A1 describe un método para realizar un procedimiento de elevación de seno que comprende formar una interacción física y segura entre un dispositivo de referencia y un espacio dentro de la boca de un paciente con el fin de formar un marcador de referencia; formar un plan de incisión virtual para hacer una incisión en una porción de un maxilar del paciente; movimiento físicamente regulado de un dispositivo de incisión con respecto al marcador de referencia; y proporcionar retroalimentación táctil al usuario.

20 El documento WO 2011/091382 A1 divulga un sistema que comprende un accesorio para fijar a una pieza de mano dental que comprende una fresa de odontología, en el que el accesorio comprende un sistema de sensor que genera datos que se pueden utilizar para determinar la posición u orientación angular de la fresa odontológica con respecto a una superficie de referencia acoplada al sistema sensor; una guía de la pieza de trabajo de una configuración para acoplar un arco dental de un paciente, la guía de la pieza de trabajo que incluye una superficie de referencia conocida sobre el espacio del implante y elementos para conectar el sistema sensor en la guía de la pieza de trabajo; un sistema informático que comprende un procesador y una pantalla; y una interfaz electrónica que comunica los datos del sistema de sensores con el sistema informático; en donde, en funcionamiento, el sistema sensor está conectado a los elementos de la guía de la pieza de trabajo y el sistema de sensor se acopla a la superficie de referencia conocida de la guía de la pieza de trabajo, y el sistema informático recibe los datos del sistema de sensor, determina la posición y la orientación angular de la fresa odontológica con respecto a la dentición del paciente basándose al menos en parte en los datos del sistema del sensor, y muestra, en una pantalla, una imagen de pantalla que representa la posición y la orientación angular de la fresa odontológica con respecto a la dentición del paciente.

35 Un procedimiento de implante dental generalmente involucra varios aspectos: hacer el diagnóstico, planificar la posición del implante, fresar quirúrgicamente la anatomía y colocar el implante (es decir, un perno de anclaje), y luego colocar el pilar y la corona (es decir, diente/dientes protésicos). En algún caso, dicho procedimiento se puede automatizar, por ejemplo, a través de un sistema quirúrgico robótico. Algunos sistemas quirúrgicos, como los sistemas quirúrgicos de implantación dental, pueden implementar la planificación del procedimiento quirúrgico basado en imágenes no invasivas del espacio quirúrgico planificado (es decir, mediante una tomografía computarizada). El resultado de la planificación, esto es, la o las imágenes recogidas del espacio quirúrgico o la anatomía del paciente, se puede usar, por ejemplo, para el diagnóstico, para producir una guía de taladro o para guiar sistemas robóticos hápticos o autónomos.

45 Algunos sistemas robóticos hápticos están configurados para interactuar con el usuario/cirujano respondiendo a las fuerzas aplicadas por el usuario/cirujano durante el procedimiento. Por ejemplo, el instrumento quirúrgico (es decir, un taladro) puede estar dispuesto generalmente para ser montado o asociado con sensores de fuerza adecuados. En los casos de sistemas robóticos hápticos que implementan una disposición de uno o más brazos robóticos sobre los que está montado el instrumento quirúrgico, a veces puede ser necesaria una "compensación de gravedad" para contrarrestar o compensar la fuerza de gravedad sobre el o los brazos (es decir, con el fin de hacer que el o los brazos / instrumentos quirúrgicos resulte ligero para el usuario/cirujano). Sin embargo, dado que existe un elemento de interactividad con el usuario, dicho sistema puede tener a veces dificultad para discernir entre las diversas fuerzas involucradas y que actúan sobre el o los brazos/instrumento quirúrgico, tales como, por ejemplo, la fuerza aplicada por el usuario, cualquier desviación del sensor de fuerza que puede dar como resultado la detección de fuerzas "fantasma", la fuerza de gravedad o la fuerza de resistencia (esto es, procedente del taladro al perforar la estructura ósea del paciente). Como resultado, la fuerza de reacción o compensación puede no corresponder con precisión a las fuerzas reales involucradas y que actúan sobre el o los brazos / instrumento quirúrgico.

60 Y es por esto por lo que puede ser deseable proporcionar un sistema y método robótico quirúrgico que tenga la capacidad de determinar si el usuario actuó de hecho sobre el sistema, a fin de responder mejor a las fuerzas reales involucradas y actuar sobre el o los brazos/instrumento quirúrgico. Dicha capacidad también puede facilitar de manera deseable la seguridad del sistema, por ejemplo, al tener la capacidad de detectar el movimiento del brazo(s)/instrumento quirúrgico en posiciones donde el usuario no está actuando de hecho sobre el instrumento quirúrgico ni sosteniéndolo.

65 En otros casos, algunos dispositivos médicos guiados y/o asistido por navegador pueden proporcionar retroalimentación al usuario, por ejemplo, a través de visualizaciones habilitadas por software, hápticos físicos y/o

señales de audio, aunque dichas formas de retroalimentación pueden no ser necesariamente intuitivas para el usuario. Por ejemplo, algunos métodos de retroalimentación existentes pueden implementar un guía visual tipo "simulador de vuelo" (véase, por ejemplo, la FIGURA 1) que puede mostrar simultáneamente círculos / hilos de retícula relativos a un espacio objetivo en varias imágenes bidimensionales, que requiere que el usuario manipule el instrumento quirúrgico de modo que se alineen los círculos/ hilos de retícula con el objetivo en cada imagen de la matriz de imágenes 2D: la manipulación del instrumento quirúrgico en dicho entorno puede no ser necesariamente intuitiva para el usuario (cirujano), quizás incluso con experiencia significativa en el uso del sistema.

Y es así que también puede ser deseable proporcionar un sistema y un método robótico quirúrgico que tenga capacidades de retroalimentación que guíen de forma más intuitiva al usuario en la manipulación efectiva y eficiente del instrumento quirúrgico durante el procedimiento quirúrgico. Dichas capacidades también pueden facilitar de manera deseable la seguridad del sistema, por ejemplo, al reducir la manipulación de "prueba y error" del instrumento quirúrgico por parte del usuario, particularmente si el usuario no tiene experiencia significativa con el sistema.

SUMARIO DE LA INVENCION

Las necesidades anteriores y otras se satisfacen mediante aspectos de la presente descripción que, en un aspecto particular, proporciona un sistema de implante dental de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende un dispositivo de interacción con el paciente y que tiene un instrumento adaptado para, al menos, interactuar con un espacio dentro de la boca de un paciente y prepararlo para recibir un implante dental. Un dispositivo de guía está en comunicación con un marcador de referencia adaptado para acoplarse a la boca del paciente, en donde el dispositivo de guía está configurado para recibir el dispositivo de interacción con el paciente. El dispositivo de guía también está configurado para guiar el instrumento del dispositivo de interacción con el paciente, con respecto al marcador de referencia, en conjunción con la manipulación, por parte de un usuario, del dispositivo de interacción con el paciente. Un dispositivo de control incluye un procesador y está configurado para estar en comunicación con el dispositivo de guía. El dispositivo de control también está configurado para dirigir el dispositivo de interacción con el paciente mediante el dispositivo de guía para preparar el espacio para recibir el implante dental. Un sensor de acoplamiento está operativamente conectado con el dispositivo de interacción con el paciente, y está configurado para estar en comunicación con el dispositivo de control. El sensor de acoplamiento responde además a la desconexión entre el dispositivo de interacción con el paciente y el usuario para que dirija el dispositivo de guía para, al menos, mantener el dispositivo de interacción con el paciente en una disposición vertical mínima.

La descripción incluye un método de implantación dental, que comprende guiar un instrumento de un dispositivo de interacción con el paciente, mediante un dispositivo de guía y con respecto a un marcador de referencia adaptado para acoplarse con la boca de un paciente, en conjunción con la manipulación, por parte de un usuario, del dispositivo de interacción con el paciente, en donde el dispositivo de interacción con el paciente es recibido por el dispositivo de guía, y el instrumento está configurado para interactuar con el espacio dentro de la boca del paciente y prepararlo para recibir un implante dental. El dispositivo de interacción con el paciente es guiado, mediante el dispositivo de guía, para preparar el espacio para recibir el implante dental, mediante un dispositivo de control que incluye un procesador, en donde el dispositivo de control está configurado para estar en comunicación con el dispositivo de guía. El dispositivo de guía está dirigido, mediante el dispositivo de control, para mantener, al menos, el dispositivo de interacción con el paciente en una disposición vertical mínima, en respuesta a la desconexión entre el dispositivo de interacción con el paciente y el usuario, según lo determinado por un sensor de acoplamiento conectado operativamente con el dispositivo de interacción con el paciente y configurado para estar en comunicación con el dispositivo de control.

La descripción incluye además un método de implantación dental, que comprende guiar un instrumento de un dispositivo de interacción con el paciente, mediante un dispositivo de guía y con respecto a un marcador de referencia adaptado para acoplarse a la boca de un paciente, en conjunción con la manipulación, por un usuario, del dispositivo de interacción con el paciente, en donde el dispositivo de interacción con el paciente es recibido por el dispositivo de guía, y el instrumento está configurado para interactuar con el espacio dentro de la boca del paciente y prepararlo para recibir un implante dental; visualizar una representación en tiempo real del instrumento del dispositivo de interacción con el paciente en un dispositivo de visualización, en relación con una representación de la boca del paciente, durante la manipulación, por parte del usuario, del dispositivo de interacción con el paciente; dirigir el dispositivo de interacción con el paciente, mediante el dispositivo de guía y de acuerdo con un plan de implantación dental, para preparar el espacio para recibir el implante dental, mediante un dispositivo de control que incluye un procesador, en donde el dispositivo de control está configurado para estar en comunicación con el dispositivo de guía y el dispositivo de visualización; dirigir la retroalimentación táctil al usuario, a través del dispositivo de interacción con el paciente, si el instrumento manipulado por el usuario se desvía del plan de implantación virtual; y una de dirigir el dispositivo de visualización, mediante el dispositivo de control, para mostrar la representación en tiempo real del instrumento en relación con una representación virtual del instrumento del dispositivo de interacción con el paciente, manipulado de acuerdo con el plan de implantación virtual; dirigir un dispositivo de audio, mediante el dispositivo de control en comunicación con el mismo, para emitir una señal de audio seleccionada indicativa del dispositivo de interacción con el paciente manipulado de acuerdo con el plan de implantación virtual; y dirigir el dispositivo de guía, mediante el dispositivo de control, para proporcionar una resistencia seleccionada a la manipulación del dispositivo de interacción con el paciente de acuerdo con el plan de implantación virtual.

La presente descripción incluye, sin limitación, los siguientes ejemplos de forma de realización:

5 Ejemplo de forma de realización 1: Un sistema de implante dental, en donde dicho sistema comprende un dispositivo de interacción con el paciente que tiene un instrumento adaptado para al menos interactuar con un espacio dentro de la boca de un paciente y prepararlo para recibir un implante dental; un dispositivo de guía en comunicación con un marcador de referencia adaptado para acoplarse en la boca del paciente, en donde el dispositivo de guía está configurado para recibir el dispositivo de interacción con el paciente y para guiar el instrumento del dispositivo de interacción con el paciente, con respecto al marcador de referencia, en conjunción con la manipulación, por parte de un usuario, del dispositivo de interacción con el paciente; un dispositivo de control que incluye un procesador, en donde el dispositivo de control está configurado para estar en comunicación con el dispositivo de guía, y para dirigir el dispositivo de interacción con el paciente mediante el dispositivo de guía con el fin de preparar el espacio para recibir el implante dental; y un sensor de acoplamiento operativamente conectado con el dispositivo de interacción con el paciente, y configurado para estar en comunicación con el dispositivo de control, en donde el sensor de acoplamiento responde a la desconexión entre el dispositivo de interacción con el paciente y el usuario dirigiendo el dispositivo de guía con el fin de al menos mantener el dispositivo de interacción con el paciente en una disposición vertical mínima.

20 Ejemplo de forma de realización 2: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización precedente, o combinaciones de los mismos, en el que el sensor de acoplamiento está configurado además para responder a la desconexión entre el dispositivo de interacción con el paciente y el usuario, para que dirija el dispositivo de guía con el fin de mantener el dispositivo de interacción con el paciente en una disposición lateral u orientación rotacional.

25 Ejemplo de forma de realización 3: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización anterior, o combinaciones de los mismos, en el que el sensor de acoplamiento está configurado además para responder al acoplamiento entre el dispositivo de interacción con el paciente y el usuario, accionando el dispositivo de guía con el fin de guiar, al menos, el instrumento del dispositivo de interacción con el paciente, con respecto al marcador de referencia.

30 Ejemplo de forma de realización 4: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización precedente, o combinaciones de los mismos, en el que el sensor de acoplamiento está configurado además para responder al acoplamiento entre el dispositivo de interacción con el paciente y el usuario, permitiendo al menos que se active el instrumento.

35 Ejemplo de forma de realización 5: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización precedente, o combinaciones de los mismos, en el que el sensor de acoplamiento está configurado además para responder al acoplamiento entre el dispositivo de interacción con el paciente y el usuario, dirigiendo el dispositivo de control para activar un plan de implantación virtual con el fin de guiar, al menos, el instrumento del dispositivo de interacción con el paciente.

40 Ejemplo de forma de realización 6: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización anterior, o combinaciones de los mismos, en el que el sensor de acoplamiento comprende uno de entre: un actuador sensible al tacto, un actuador sensible a la presión, un actuador óptico y un actuador acústico, asociado con el dispositivo de interacción con el paciente.

45 Ejemplo de forma de realización 7: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización anterior, o combinaciones de los mismos, en el que al menos el sensor de acoplamiento y/o el marcador de referencia, está configurado para estar en comunicación con el dispositivo de control a través de un sistema de comunicación eléctrica, o un sistema de comunicación mecánica, o un sistema de comunicación electromecánico, o un sistema de comunicación óptico o combinaciones de los mismos.

50 Ejemplo de forma de realización 8: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización precedente, o combinaciones de los mismos, en el que al menos el sensor de acoplamiento y/o el marcador de referencia, está configurado para estar en comunicación con el dispositivo de control a través de un sistema de comunicación inalámbrico y/o un sistema de comunicación por cable.

55 Ejemplo de forma de realización 9: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización precedente, o combinaciones de los mismos, que además comprende al menos un sensor de fuerza acoplado operativamente con al menos uno de entre el dispositivo de guía y el dispositivo de interacción con el paciente, en donde el al menos un sensor de fuerza está configurado para medir una fuerza que actúa sobre el dispositivo de interacción con el paciente y comunicar la fuerza medida al dispositivo de control.

60 Ejemplo de forma de realización 10: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización precedente, o combinaciones de los mismos, en el que el dispositivo de control responde a la desconexión del sensor de acoplamiento por parte del usuario, poniendo a cero la fuerza medida del al menos un sensor de fuerza.

65

5 Ejemplo de forma de realización 11: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización anterior, o combinaciones de los mismos, en el que el dispositivo de control está configurado para ejecutar un plan de implantación virtual sobre el espacio dentro de la boca del paciente, y para dirigir el dispositivo de guía de acuerdo con el plan de implantación virtual, como respuesta al acoplamiento entre el sensor de acoplamiento y el usuario.

10 Ejemplo de forma de realización 12: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización anterior, o combinaciones de los mismos, en el que el dispositivo de control está configurado para dirigir la retroalimentación táctil al usuario, a través del dispositivo de interacción con el paciente, si el instrumento manipulado por el usuario se desvía del plan de implantación virtual.

15 Ejemplo de forma de realización 13: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización anterior, o combinaciones de los mismos, en el que el dispositivo de control está configurado para dirigir al menos una de entre la retroalimentación de audio y la visual, al usuario, a través de al menos uno de entre el dispositivo de control y el dispositivo de interacción con el paciente, si el instrumento manipulado por el usuario se desvía del plan de implantación virtual.

20 Ejemplo de forma de realización 14: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización anterior, o combinaciones de los mismos, que además comprende un dispositivo de visualización configurado para mostrar una representación en tiempo real de al menos el instrumento del dispositivo de interacción con el paciente, con respecto a una representación de la boca del paciente, durante el acoplamiento y la manipulación, por parte del usuario, del dispositivo de interacción con el paciente.

25 Ejemplo de forma de realización 15: El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización precedente, o combinaciones de los mismos, en el que el dispositivo de control está configurado para estar en comunicación con el dispositivo de guía y el dispositivo de visualización, y en el que el dispositivo de control está configurado para monitorear la manipulación de, al menos, el instrumento del dispositivo de interacción con el paciente con respecto a la boca del paciente, al menos parcialmente, mediante el dispositivo de guía, y para dirigir la información asociada al dispositivo de visualización.

30 La descripción incluye además un sistema de implante dental, en donde dicho sistema comprende un dispositivo de interacción con el paciente que tiene un instrumento adaptado para al menos interactuar con un espacio dentro de la boca de un paciente y prepararlo para recibir un implante dental; un dispositivo de guía en comunicación con un marcador de referencia adaptado para acoplarse en la boca del paciente, en donde el dispositivo de guía está configurado para recibir el dispositivo de interacción con el paciente y para guiar el instrumento del dispositivo de interacción con el paciente, con respecto al marcador de referencia, en conjunción con la manipulación, por parte de un usuario, del dispositivo de interacción con el paciente; un dispositivo de visualización configurado para mostrar una representación en tiempo real del instrumento del dispositivo de interacción con el paciente, en relación con una representación de la boca del paciente, durante la manipulación, por parte del usuario, del dispositivo de interacción con el paciente; y un dispositivo de control que incluye un procesador, y configurado para estar en comunicación con el dispositivo de guía y el dispositivo de visualización, en donde el dispositivo de control está configurado para dirigir el dispositivo de interacción con el paciente, mediante el dispositivo de guía y de acuerdo con un plan de implantación virtual, con el fin de preparar el espacio para recibir el implante dental y dirigir la retroalimentación táctil al usuario, a través del dispositivo de interacción con el paciente, si el instrumento manipulado por el usuario se desvía del plan de implantación virtual, y en donde el dispositivo de control está además configurado para dirigir el dispositivo de visualización para que muestre la representación en tiempo real del instrumento en relación con una representación virtual del instrumento del dispositivo de interacción con el paciente, manipulado de acuerdo con el plan de implantación virtual, y dirigir un dispositivo de audio en comunicación con el mismo para que emita una señal de audio seleccionada indicativa del dispositivo de interacción con el paciente manipulado de acuerdo con el plan de implantación virtual, o dirigir el dispositivo de guía para que proporcione una resistencia seleccionada a la manipulación del dispositivo de interacción con el paciente de acuerdo con el plan de implantación virtual.

55 El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización precedente, o combinaciones de los mismos, en el que el dispositivo de control está además configurado para dirigir el dispositivo de visualización para que muestre una animación de la representación virtual del instrumento del dispositivo de interacción con el paciente, manipulado de acuerdo con el plan de implantación virtual, y en el que la animación se origina a partir de una disposición de la representación en tiempo real del instrumento del dispositivo de interacción con el paciente.

60 El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización precedente, o combinaciones de los mismos, en el que el dispositivo de control está además configurado para dirigir el dispositivo de visualización para que muestre un indicaciones de progreso que se originan a partir de la disposición de la representación en tiempo real del instrumento del dispositivo de interacción con el paciente, y que progresa con respecto a la manipulación requerida del dispositivo de interacción con el paciente para que el instrumento esté de acuerdo con el plan de implantación virtual.

65 El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización precedente, o combinaciones de los mismos, en el que las indicaciones de progreso comprenden una de entre la distancia que se origina desde la disposición de la

representación en tiempo real del instrumento hasta una disposición del instrumento de acuerdo con el plan de implantación virtual, y el grado de rotación que se origina desde la disposición de la representación en tiempo real del instrumento hasta una disposición del instrumento de acuerdo con el plan de implantación virtual.

5 El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización precedente, o combinaciones de los mismos, en el que el dispositivo de audio está configurado para emitir una señal de audio seleccionada, aumentando la frecuencia de la señal de audio seleccionada desde la disposición de la representación en tiempo real del instrumento hasta una disposición del instrumento de acuerdo con el plan de implantación virtual.

10 El sistema de cualquier ejemplo de forma de realización anterior, o combinaciones de los mismos, en el que el dispositivo de guía está configurado para proporcionar una baja resistencia a la manipulación del dispositivo de interacción con el paciente, bien en la manipulación del dispositivo de interacción con el paciente para mover el instrumento a lo largo de una trayectoria de acuerdo con el plan de implantación virtual, o bien en la manipulación del dispositivo de interacción con el paciente para hacer girar el instrumento a un grado de rotación de acuerdo con el plan de implantación virtual, y en el que el dispositivo de guía está además configurado para proporcionar una resistencia elevada a la manipulación dispositivo de interacción con el paciente si el movimiento del instrumento a lo largo de la trayectoria o si la rotación del instrumento se desvían del plan de implantación virtual.

15 Estas y otras características, aspectos y ventajas del presente documento serán evidentes a partir de una lectura de la siguiente descripción detallada junto con los dibujos adjuntos, que se describen brevemente a continuación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE VARIAS VISTAS DE LOS DIBUJOS

Habiendo descrito así la descripción en términos generales, ahora se hará referencia a los dibujos adjuntos, que no están necesariamente dibujados a escala, y en los que:

25 La FIGURA 1 ilustra un ejemplo del estado de la técnica de una guía visual tipo "simulador de vuelo" para un dispositivo médico guiado;
Las FIGS. 2A-2C ilustran esquemáticamente un procedimiento de implantación dental con respecto a la boca de un paciente;
30 Las FIGS. 3 y 4 ilustran esquemáticamente un sistema de implante dental, de acuerdo con diversos aspectos de la presente descripción;
La FIGURA 5 ilustra esquemáticamente un dispositivo de interacción con el paciente de un sistema de implante dental, de acuerdo con un aspecto de la presente descripción;
35 La FIGURA 6 ilustra esquemáticamente una presentación visual de una representación en tiempo real del dispositivo de interacción con el paciente en relación con una representación de la boca del paciente, y en relación con una representación virtual del dispositivo de interacción con el paciente siguiendo un plan de implantación virtual, durante la manipulación del dispositivo de interacción con el paciente, de acuerdo con un aspecto de la presente descripción; y
40 La FIGURA 7 ilustra esquemáticamente las capacidades de manipulación de un dispositivo de interacción con el paciente de un sistema de implante dental, de acuerdo con un aspecto de la presente descripción.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA DESCRIPCIÓN

La presente descripción se describirá ahora más completamente a continuación con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran algunos, pero no todos los aspectos de la descripción.

45 Los números iguales se refieren a elementos similares en todas partes.

Varios aspectos de la presente descripción pueden estar, al menos parcialmente, basados en un sistema y método robótico quirúrgico guiado como el descrito, por ejemplo, en la Patente US 8.808.000 de Salcedo u otros y asignada a Neocis, también el titular de la presente solicitud.

50 A este respecto, un procedimiento de implante dental implica generalmente una incisión invasiva en la encía del paciente para permitir que el profesional vea la estructura subyacente de la mandíbula. Después se taladra un orificio en la estructura de la mandíbula, en la que se coloca un implante dental (véase, por ejemplo, la figura 2A). En algunos casos, el implante dental puede tener forma, por ejemplo, de un tornillo u otro elemento roscado. Una vez que el implante dental está insertado en la estructura de la mandíbula, se une al implante dental un pilar externo (ver, por ejemplo, la figura 2B), y un capuchón protésico (es decir, una corona o una reproducción dental) unido al pilar (ver, por ejemplo, la figura 2C). Con la tomografía computarizada (TC) y otros escáneres de imágenes cada vez más comunes, el profesional puede visualizar gráficamente la estructura de la mandíbula, antes de la incisión invasiva o sin ella. Sin embargo, la alineación del implante dental con respecto a la estructura de la mandíbula y/o con respecto a otros implantes o dientes, puede ser un factor importante al determinar, por ejemplo, la vida del implante dental, la apariencia del mismo y la comodidad para el paciente. Si el implante dental está mal colocado o no está colocado de manera óptima, el implante dental puede fallar indeseadamente (o al menos tener una vida útil más corta), puede indeseadamente provocar que otros dientes o implantes dentales se vean comprometidos y/o dañar los nervios proximales.

65

Las figs. 3 y 4 ilustran así varios aspectos de un sistema de implante dental de acuerdo con la presente descripción, estando el sistema indicado generalmente por el número 100. Como se indicó anteriormente, los procedimientos actuales de implante dental implican generalmente una fase de formación de imágenes, en la que se obtienen TC u otras imágenes apropiadas de la estructura de la mandíbula del paciente, y cualquier anomalía diagnosticada (es decir, si el paciente requiere injertos óseos para preparar el área del implante). Después, el profesional corrige cualquier anomalía y continúa con el procedimiento de implante invasivo, basándose en las condiciones asociadas con la estructura de la mandíbula del paciente, una vez que se han realizado las incisiones apropiadas en la encía del paciente. A este respecto, un experto en la materia apreciará que, aunque la presente descripción proporciona algunos aspectos ejemplares de los diversos sistemas y métodos implementados con respecto a la estructura de la mandíbula de un paciente, los diversos sistemas y métodos descritos en este documento pueden ser fácilmente aplicables, o de otra manera fácilmente adaptables, a otros procedimientos quirúrgicos que son cercanos o de alguna manera susceptibles de correlacionarse con el marcador de referencia asociado con el acoplamiento entre una férula u otro elemento de acoplamiento, y la estructura de la mandíbula del paciente, como por otra parte se describe en este documento (esto es, cirugía cerebral, cirugía del cráneo, cirugía otorrinolaringológica o cualquier otro procedimiento quirúrgico asociado con la estructura de la cabeza/cráneo del paciente).

Un sistema de implante dental 100, de acuerdo con diversos aspectos de la presente descripción, aborda aspectos subjetivos particulares de los procedimientos de implante dental actuales, al proporcionar un dispositivo guiado de interacción con el paciente 150 (denominado en este documento "dispositivo de corte" o "dispositivo de taladro" o "dispositivo de preparación del espacio" o "dispositivo de implantación", dependiendo del instrumento particular 500 conectado con el dispositivo de interacción con el paciente 150 con el fin de configurar el dispositivo de interacción con el paciente 150 para un propósito o procedimiento particular correspondiente) configurado para ser guiado con respecto a la porción invasiva, o al menos la parte de interacción con el paciente, del procedimiento de implante dental (es decir, para "preparar" el espacio dentro, o de otro modo acoplado, de la boca del paciente). Esto es, el dispositivo de interacción con el paciente 150 está operativamente acoplado con un dispositivo de guía 200, tal como por ejemplo, un elemento de brazo de articulación 350 (es decir, un brazo robótico). El dispositivo de guía 200 está adaptado para acoplarse operativamente o estar en comunicación con la boca del paciente, por ejemplo, por medio de una férula 250 u otro elemento de acoplamiento, que forma o define un marcador de referencia. Esto es, en un caso, la férula 250 está configurada para acoplarse a la boca del paciente en una interacción "firme" o segura (es decir, la férula 250 está acoplada a los dientes del paciente y no se mueve con respecto a la boca del paciente). Dado que la férula 250 no se mueve con respecto a la boca del paciente, la disposición de la férula 250 es conocida y, por lo tanto, se puede configurar para proporcionar un marcador de referencia (es decir, un origen o coordenada conocida formada por la interacción segura con, o de otra manera asociada con, la férula 250 o unida a ella) que puede usarse, por ejemplo, para guiar el dispositivo/instrumento de interacción con el paciente, mediante el dispositivo de guía 200, con el fin de preparar el espacio en la boca del paciente asociado con el implante dental 300 (ver, por ejemplo, la figura 2B).

En un aspecto, la férula 250 está configurada para ser "universalmente aplicable" (es decir, capaz de formar el acoplamiento seguro con la boca de cualquier paciente), o al menos aplicable en un rango particular de pacientes (es decir, un tamaño se ajusta a un determinado tamaño o edad del paciente). Con el fin de determinar una referencia asociada con el marcador de referencia, de acuerdo con un aspecto de la descripción, la férula 250 se puede acoplar a los dientes del paciente, y entonces tomar la imagen de la estructura de la mandíbula del usando, por ejemplo, TC o cualquier otra técnica de imagen adecuada como, por ejemplo, IRM. El marcador de referencia puede establecerse, por ejemplo, como un origen de referencia de un sistema de coordenadas relativo.

Un experto en la materia apreciará que la férula 250 se puede configurar de muchas maneras diferentes para lograr la función deseada como se describe en este documento. Por ejemplo, la férula 250 se puede unir rígidamente a la boca del paciente de una manera apropiada dependiendo de la condición del paciente. Es decir, si el paciente tiene unos dientes fuertes capaces de soportar la férula 250, la férula 250 se puede unir a los dientes con un adhesivo o con una abrazadera adecuada. Para pacientes edéntulos (es decir, sin dientes), se pueden taladrar clavos óseos a través de la férula 250, y dentro de la estructura de la mandíbula del paciente, para fijar la férula 250 en su lugar. La férula 250 también se puede unir a la estructura de la mandíbula de cualquier paciente usando, por ejemplo, tornillos óseos apropiados. En un aspecto, la colocación de la férula 250 con respecto a la boca del paciente puede no ser crítica ni importante, siempre que la férula 250 permanezca rígidamente en su lugar. En consecuencia, un acoplamiento seguro puede formar un marcador de referencia (no mostrado), o puede unirse o incorporarse a la férula 250 o asociarse con él, en donde el marcador de referencia se puede configurar para tener una geometría u otra característica o prestación que defina el marcador de referencia de manera única en un espacio tridimensional (es decir, que el marcador de referencia se identifique fácilmente en imágenes de la estructura de la mandíbula del paciente, o sea detectable y rastreable de otro modo usando una disposición mecánica, una disposición eléctrica, una disposición electromecánica, una disposición óptica, una disposición magnética o cualquier otra disposición adecuada de detección/seguimiento, o una combinación de las mismas). En tales casos, el marcador de referencia puede estar compuesto, por ejemplo, de un material radio-opaco que se puede definir claramente en la imagen obtenida, por ejemplo, por TC o IRM.

En un aspecto, el dispositivo de interacción con el paciente 150 puede estar conectado con el dispositivo de guía 200, por ejemplo, en forma de un elemento de brazo articulado o un brazo robótico 350, que está configurado para determinar un rango de movimiento del dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 (es decir,

traslación en una dirección particular (horizontal y/o vertical), y/o rotación alrededor de un eje). En algunos casos, la funcionalidad del dispositivo de guía 200 puede estar incluida en la configuración y disposición del propio elemento de brazo de articulación 350. Por ejemplo, el elemento de brazo de articulación 350, o partes del mismo, pueden incluir o estar acoplados con uno o más actuadores configurados y dispuestos para cooperar en guiar un extremo distal del elemento de brazo de articulación 350 en una dirección y orientación deseadas, previa manipulación por parte del usuario para realizar el procedimiento quirúrgico.

En algunos casos, el dispositivo de guía 200 puede además comprender un elemento de comunicación 400 en comunicación entre la férula 250 y el dispositivo de interacción con el paciente 150 y/o entre la férula 250 y el elemento de brazo 350. Por ejemplo, el elemento de comunicación 400 puede comprender un enlace mecánico que conecta la férula 250 al dispositivo de interacción con el paciente 150 o al elemento del brazo 350. Es decir, el elemento de comunicación 400 puede comprender, por ejemplo, un brazo con seguimiento mecánico o físico que se une a la férula 250 acoplada al paciente. En algunos casos, el brazo (elemento de comunicación 400) puede estar unido a la férula 250 (rígidamente y de una manera conocida y repetible) con un mecanismo de fijación que comprende una montura cinemática (es decir, puede haber una montura cinemática acoplada entre el brazo y la férula 250). Unido al paciente de esta manera, a través del mecanismo de fijación y la férula 250, el elemento de comunicación 400 puede ser rastreado, o monitorizado de otro modo, para proporcionar datos (ya sea de forma constante, selectiva o de otro modo según sea necesario) sobre la posición del paciente (esto es, con respecto al marcador de referencia) al dispositivo de interacción con el paciente 150 y/o al elemento del brazo 350, proporcionando aún una guía precisa del dispositivo de interacción con el paciente 150 y/o el elemento del brazo 350, en el caso de que el paciente se mueva durante el procedimiento quirúrgico.

No obstante, un experto en la materia apreciará que la férula 250 y/o el marcador de referencia determinado de este modo, pueden estar comunicados con el dispositivo de interacción con el paciente 150 y/o con el elemento del brazo 350, de muchas maneras diferentes. Por ejemplo, en lugar de o además del brazo físico (elemento de comunicación 400), el marcador de referencia se puede comunicar a través de un elemento de comunicación 400 que comprende un transceptor inalámbrico, una conexión de cableado, un sistema de comunicación óptico (es decir, una cámara u otro video dispositivo), un sistema de seguimiento acústico o cualquier otro mecanismo adecuado, ya sea de naturaleza eléctrica, mecánica, electromecánica, acústica u óptica. Es decir, en varios casos, la montura cinemática, en sí misma, puede comprender un punto de fijación para una porción de seguimiento (y/o el brazo de seguimiento u otra disposición de seguimiento) asociada con el sistema de guía para el robot quirúrgico (es decir, en donde, por ejemplo, se pueden montar unos marcadores reflectantes en el punto de fijación para el seguimiento óptico del marcador de referencia o del dispositivo de férula en sí, o el punto de fijación puede incluir un espacio de seguridad para formar una conexión mecánica con el mismo para el seguimiento mecánico del marcador de referencia, o el punto de fijación, se puede configurar de otra manera para recibir un elemento apropiado asociado con cualquier otra disposición de seguimiento adecuada para el marcador de referencia, ya sea de naturaleza eléctrica, mecánica, electromecánica, acústica u óptica). En otros aspectos, la montura cinemática se puede configurare o disponer de otro modo para que funcione como un espacio de montaje fijo para dispositivos de seguimiento particulares tales como, por ejemplo, uno o más marcadores que se pueden fijar de manera permanente a la montura cinemática 500 y configurarse para que se pueda rastrear mediante un dispositivo de seguimiento de tipo óptico (es decir, un marcador de seguimiento óptico).

En cualquier caso, el sistema 100 puede estar adicionalmente configurado para incluir un dispositivo de control 450 (es decir, un dispositivo informático como se muestra en la FIGURA 4) para determinar, controlar o rastrear el marcador de referencia con respecto a la imagen de la boca del paciente que tiene la férula 250 dispuesta en su interior. El dispositivo de control 450 también se puede configurar y disponer para comunicar de forma apropiada el marcador de referencia al dispositivo de interacción con el paciente 150 y/o al elemento del brazo 350. En algunos aspectos, el sistema 100 o el dispositivo de control 450 también pueden comprender un dispositivo de planificación o incluir de otro modo la funcionalidad de planificación, para permitir que un usuario desarrolle el plan de implantación virtual, como se describe en este documento, junto con el hardware y/o el software del sistema 100.

En un aspecto, el dispositivo de control 450 puede estar adicionalmente configurado para recibir la imagen de la estructura de la mandíbula del paciente (que tiene la férula 250 en la misma). En algunos casos, el dispositivo de control 450, que incluye un procesador, se puede configurar adicionalmente para que sea capaz de ejecutar una rutina de planificación, que puede comprender software, hardware o una combinación de los mismos (es decir, un dispositivo de planificación y/o funcionalidad de planificación). La rutina de planificación permite al profesional crear, por ejemplo, un plan de implantación virtual basado en las imágenes capturadas ya sea en dos o tres dimensiones, y manipular las imágenes de la estructura de la mandíbula del paciente junto con un "implante virtual" con el fin de desarrollar el plan de implantación virtual o la determinación de la colocación de la prótesis en el paciente, en conjunción con un modelo computarizado basado en la o las imágenes. En algunos aspectos, la rutina de planificación, el plan de implantación virtual y/o la determinación de la colocación, se pueden crear en relación, por ejemplo, con un sistema de coordenadas (relativo o absoluto), como apreciará un experto en la materia, configurado para asociar los parámetros de planificación con el marcador de referencia. En otros aspectos, el dispositivo de control 450 y/o el dispositivo de planificación asociado con el mismo, pueden incluir un dispositivo periférico (es decir, una bola rastreadora o una palanca de mando junto con, por ejemplo, gafas 3D, todas no mostradas) para ayudar o de otro modo permitir la manipulación virtual de la colocación del (de los) implante (s) virtual (es) con respecto a la (s) imagen (es) de la estructura de la mandíbula

- del paciente con el fin de, por ejemplo, alinear el (los) implante (s) entre sí o con respecto a los dientes adyacentes, para alinear el (los) implante (s) en relación con el nervio afectado, y/o para alinear el (los) implante (s) en relación con la estructura de la mandíbula. El dispositivo de control 450 y/o el dispositivo de planificación pueden estar adicionalmente configurados para realizar dicha manipulación de forma manual, automática o semiautomática, según sea necesario o deseado. Debido a que el (los) implante (s) virtual (es) se puede (n) manipular de manera similar a la (s) imagen (s), la orientación o colocación del o de los implantes (s) virtual (es) puede representar la colocación real deseada del implante con respecto a la estructura de la mandíbula del paciente, proporcionando de este modo una interfaz intuitiva para planificar el procedimiento de implantación.
- En los aspectos en los que se utiliza la técnica de la férula o del marcador de referencia 250, el paciente se registra automáticamente con el sistema 100 / dispositivo de control 450 una vez que el elemento de comunicación 400 está conectado o de otra manera acoplado o en comunicación con la férula 250 a través del montaje cinemático del mecanismo de fijación. Es decir, el marcador de referencia se determina automáticamente a partir de la (s) imagen (es) de la estructura de la mandíbula del paciente, y la alineación y ubicación del mismo en el espacio físico se conoce debido a la montura cinemática que conecta el elemento de comunicación 400 (es decir, el brazo) a la férula 250. Sin embargo, un experto en la materia apreciará que se pueden implementar otras técnicas de alineación que no requieren necesariamente un marcador de referencia. Por ejemplo, en algunos casos, se puede implementar una técnica de coincidencia de superficie. Más particularmente, se puede manipular la estructura de la mandíbula del paciente en una configuración 3D en las imágenes capturadas. Un dispositivo de escaneo adecuado (es decir, un puntero físico u otro dispositivo de imagen como un transductor de ultrasonido o un escáner TCO (tomografía de coherencia óptica) puede estar conectado a un efector de extremo (es decir, punta) del elemento del brazo 350 de manera que la punta del elemento de brazo 350 es capaz de escanear la estructura de la mandíbula del paciente para realizar una "coincidencia de superficie" con las imágenes capturadas y manipuladas con una exploración real de la estructura de la mandíbula, que es administrada, por ejemplo, a través del dispositivo de control 450.
- Un experto en la materia apreciará además que la asociación del marcador de referencia con la anatomía del paciente, a través del dispositivo de control 450, se puede lograr de diferentes maneras. Por ejemplo, con respecto al registro de la imagen (p. ej., exploración por tomografía computarizada) en el marcador de referencia, un método podría involucrar la estructura de la mandíbula del paciente que está siendo fotografiada con el marcador de referencia en su lugar, como se discutió previamente, en el que el paciente sería entonces sometido de forma sustancialmente inmediata al procedimiento de implantación. Tal esquema puede ser beneficioso, por ejemplo, para reducir el número de visitas al profesional por parte del paciente. Sin embargo, en algunos casos, el profesional puede no tener las capacidades de imagen disponibles, o puede preferir determinar cuidadosamente el plan de implantación virtual antes de llevar a cabo el procedimiento de implantación. En ambos casos, es probable que el paciente tenga que regresar al profesional en un momento posterior. En consecuencia, en tales situaciones, se puede realizar un procedimiento de imagen preoperatorio (p. ej., exploración por tomografía computarizada) en la estructura de la mandíbula del paciente, sin un marcador de referencia en su lugar (es decir, una exploración "normal" mediante la cual el profesional puede determinar el plan de implantación virtual). Por lo tanto, este procedimiento de imagen preoperatorio se puede realizar, por ejemplo, en el lugar del profesional o en un centro de exploración/imagen especializado. A continuación, inmediatamente antes de realizar el procedimiento de implantación, y con el (los) marcador (es) de referencia acoplado (s) a la estructura de la mandíbula del paciente, el profesional puede capturar otra imagen (p. ej., tomografía computarizada, radiografía panorámica o dos radiografías simples) de la estructura de la mandíbula del paciente. El dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación, también se puede configurar para correlacionar la imagen preoperatoria (utilizada para determinar el procedimiento de implantación virtual) con la imagen del "día de" con el fin de registrar el marcador o marcadores de referencia con respecto a la imagen original preoperatoria. Dicho procedimiento de registro o correlación se puede implementar en hardware, software o una combinación de los mismos, como apreciará un experto en la materia. El procedimiento de implantación podría entonces continuar como por otro lado se ha descrito en el presente documento.
- En cualquier caso, el elemento de comunicación 400 se puede configurar para comunicarse con el elemento de brazo, 350 de manera conocida por el sistema 100, de tal modo que también se conozcan las características de posición / movimiento del efector final / punta del mismo. Este acoplamiento entre el elemento de comunicación 400 y el elemento de brazo 350 permite por tanto que el dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 (es decir, el efector final / punta) quede registrado con respecto al marcador de referencia (u otra referencia con respecto al paciente) unido al paciente a través de la férula 250, la montura cinemática, el elemento de comunicación 400 y el elemento de brazo 350. De esta manera, el procedimiento de implantación virtual, planificado a través del dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación, se puede realizar en relación con el marcador de referencia (u otra referencia con respecto al paciente) y, por lo tanto trasladado, o de otra forma comunicado, al sistema 100 para dirigir el dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 mediante el dispositivo de guía 200 y el elemento de brazo 350. Como se ha descrito anteriormente, y como apreciará un experto en la materia, el elemento de comunicación 400 se puede, en algunos casos, configurar para comunicarse entre la férula 250 / montaje cinemático y el dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación (y/o entre la férula 250 / montaje cinemático y el dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500), basándose en la premisa de establecer una asociación conocida del marcador de referencia con la anatomía del paciente, en relación con la cual se utiliza el dispositivo de guía 200 para guiar el dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 mediante el elemento de brazo 350 durante el procedimiento de implantación.

5 El dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 puede comprender, estar dispuesto, o acoplado de otro modo, con el efector final del elemento de brazo 350 (brazo robótico). El elemento de brazo 350 se puede configurar, por ejemplo, para proporcionar seis grados de libertad y también se puede configurar para restringir o controlar el movimiento del dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500. Además, en algunos casos, el elemento de brazo 350 puede tener una estructura paralela en miniatura a la que se asegura el dispositivo de interacción con el paciente 150 y se le permite tener libertad de movimiento total cuando no está en modo de corte / preparación / implantación. Dado que el dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 comprende o está unido al efector final del elemento de brazo 350, la porción de interacción con el paciente (es decir, la punta de corte / taladro) es el instrumento 500 (véase, por ejemplo, la FIGURA 3) del dispositivo de interacción con el paciente 150, y el instrumento 500 por tanto debe estar en una posición conocida (es decir, conocida por el sistema 100 / dispositivo de control 450) con respecto al elemento de brazo 350. En algunos aspectos, con el fin de calibrar la porción / instrumento de interacción 500 del dispositivo de interacción con el paciente 150 con respecto al marcador de referencia, se puede acoplar un elemento de calibración al dispositivo de interacción con el paciente 150 a través de un acoplamiento cinemático (es decir, montado rígidamente de manera conocida y repetible). Por lo tanto, un experto en la materia apreciará que la porción / instrumento de interacción 500 del dispositivo de interacción con el paciente 150 se puede calibrar con varios métodos de calibración de la punta (es decir, punto invariante, etc.). Una vez calibrado, se reemplaza el elemento de calibración por un elemento de corte / taladro (instrumento 500) en el dispositivo de interacción con el paciente 150, de manera conocida y repetible, de tal modo que los parámetros de calibración (es decir, la posición del punto más distal y el eje de corte / taladro) asociado con la porción / instrumento de interacción 500 se mantienen como calibrados.

25 Con la alineación con respecto al paciente establecida y conocida por el sistema 100 / dispositivo de control 450, y el plan de implantación virtual desarrollado a través del dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación, el profesional puede entonces iniciar el procedimiento de implantación (es decir, corte / taladro / inserción), moviendo el dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 hacia la boca del paciente (con la férula 250 acoplada en ella). En tales casos, el dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación está configurado para controlar, restringir o de otro modo modular el movimiento (o la capacidad del profesional de mover) el dispositivo de interacción con el paciente 150 mediante el elemento de brazo 350 de tal manera que la acción del profesional simplemente mueve la porción / instrumento de interacción 500 (es decir, el elemento de corte / taladro) a la posición inicial apropiada para el procedimiento de implantación, con respecto a la estructura de la mandíbula del paciente, según lo determinado por el dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación y dictado por el plan de implantación virtual. Una vez que el elemento de corte / taladro está en la posición dictada por el dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación, se puede iniciar la parte invasiva del procedimiento, en la que el dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación puede dictar otros parámetros del dispositivo de implantación 150 / instrumento 500 tal como, por ejemplo, la orientación de la trayectoria del elemento de corte / taladro (instrumento 500) y la distancia de corte / taladro a lo largo de esa trayectoria desde el origen de corte / taladro, también de acuerdo con el plan de implantación virtual. En algunos casos, el sistema 100 divulgado en el presente documento se puede configurar de modo que el dispositivo de interacción con el paciente 150 no sea guiado por el profesional, sino que solo sea impulsado por el profesional a lo largo de una trayectoria de procedimiento determinada a través del plan de implantación virtual e implementada a través del dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación y el elemento de brazo 350. Es decir, el sistema 100 se puede configurar para limitar al profesional a realizar el procedimiento de implantación con respecto al paciente, según lo determinado a través del plan de implantación virtual e implementado a través del dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación y el elemento de brazo 350, por lo que el dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación controla el movimiento permisible del elemento de brazo 350 (y, por lo tanto, del dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500) de acuerdo con el plan de implantación virtual creado a partir de las imágenes de la estructura de la mandíbula del paciente. Por ejemplo, el sistema 100 se puede configurar para un movimiento restringido del elemento de brazo 350 / dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500, según se comunica al profesional a través de la retroalimentación táctil / háptica, donde, por ejemplo, puede ser más fácil de mover el elemento de brazo 350 / dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500, si es acorde con el plan de implantación virtual, y más difícil de mover si se desvía del plan de implantación virtual.

55 Sin embargo, un experto en la materia también apreciará que la estructura física del elemento de brazo 350 / dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 puede no estar necesariamente configurada para proporcionar un movimiento total y absolutamente controlado de acuerdo con el plan de implantación virtual (es decir, debido a la vibración, la flexión de los componentes, la gravedad y/o la fuerza excesiva aplicada por el profesional) y, es por esto que el sistema 100 / dispositivo de control 450 se puede configurar adicionalmente para proporcionar otras formas de retroalimentación al profesional, como, por ejemplo, a través de señales de advertencia de desviación, retroalimentación háptica o cualquier otro mecanismo de audio y/o visual adecuado y/o cualquier otro mecanismo adecuado. Por lo tanto, el sistema 100 / dispositivo de control 450 incluye disposiciones para implementar de hecho el plan de implantación virtual y, por lo tanto, facilita un procedimiento de implantación más preciso, en lugar de simplemente advertir al profesional si algún parámetro de procedimiento puede ser inexacto. Sin embargo, un experto en la materia también apreciará que, en algunos casos, el sistema 100 se puede configurar adicionalmente para lograr de forma autónoma el plan de implantación virtual, sin la manipulación del profesional, mediante la manipulación automática del elemento de brazo 350 / dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 a través del dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación.

En un procedimiento quirúrgico ejemplar que usa un sistema de implante dental 100, como el que se describe en el presente documento, la férula 250 (es decir, la embocadura) se une primero a los dientes del paciente, y así proporciona o está asociado con un marcador de referencia. Entonces, se toma una imagen de la estructura de la mandíbula del paciente (con la férula 250 en su lugar y acoplada a los dientes del paciente) usando, por ejemplo, TC o cualquier otra técnica de imagen apropiada (p. ej. IRM), y se comunican las imágenes al dispositivo de control 450. El dispositivo de control 450 se puede configurar además para que sea capaz de ejecutar una rutina de implantación, permitiendo así al profesional desarrollar un plan de implantación para el paciente, por ejemplo, manipulando un implante virtual con respecto a las imágenes tomadas. Una vez que se ha creado el plan de implantación virtual, el elemento de comunicación 400 se acopla (es decir, se adhiere a la boca del paciente, colocando al paciente en una posición adecuada para iniciar el procedimiento) o se pone en comunicación con la férula 250 (es decir, a través de la montura cinemática). El elemento de brazo 350, el dispositivo de interacción con el paciente 150 y la porción / instrumento de interacción 500 del mismo, son entonces calibrados por el profesional (o automáticamente por el dispositivo de control 450), antes de que el médico use el elemento de corte / taladro real (instrumento 500) del dispositivo de interacción con el paciente 150 (o de forma autónoma a través del dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación), a través del dispositivo de interacción con el paciente 150 según es guiado por el elemento de brazo 350 y el dispositivo de control 450, para llevar a cabo el procedimiento de implantación según lo planeado y dictado por el plan de implantación virtual.

En algunos casos, como se discutió anteriormente, los sistemas robóticos hápticos o basados en retroalimentación pueden configurarse para interactuar con el usuario / cirujano respondiendo a las fuerzas aplicadas por el usuario / cirujano durante el procedimiento. Por ejemplo, el instrumento quirúrgico (es decir, el taladro) puede estar dispuesto generalmente para ser montado o asociado con sensores de fuerza adecuados. En los casos de sistemas robóticos hápticos que implementan una disposición de uno o más brazos robóticos en los que está montado el instrumento quirúrgico, a veces se puede requerir "compensación de gravedad" para contrarrestar o compensar la fuerza de gravedad sobre el o los brazos (es decir, con el fin de hacer que el o los brazos / instrumento quirúrgico resulten ligeros para el usuario / cirujano). Sin embargo, dado que existe un elemento de interactividad con el usuario, dicho sistema a veces puede tener dificultades para discernir entre las diversas fuerzas involucradas y que actúan sobre el o los brazos / instrumento quirúrgico, como, por ejemplo, la fuerza aplicada por el usuario, cualquier desviación del sensor de fuerza que puede dar como resultado la detección de fuerzas "fantasmas", la fuerza de gravedad o la fuerza de resistencia (es decir, procedente del taladro que taladra la estructura ósea del paciente). Como resultado, la fuerza de reacción o compensación puede no corresponder con precisión a las fuerzas reales involucradas y que actúan sobre el o los brazos / instrumento quirúrgico en un momento dado.

Y es por esto que, los aspectos de la presente descripción (véanse, p. ej. las FIGS. 3 y 4) pueden proporcionar un sistema de implante dental 100, como se ha descrito previamente, en el que el dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 está adaptado para al menos interactuar con un espacio dentro de la boca de un paciente y prepararlo para recibir un implante dental, y el dispositivo de guía 200 en comunicación con el marcador de referencia está configurado para recibir el dispositivo de interacción con el paciente 150, y para guiar el instrumento 500 con respecto al marcador de referencia, en conjunción con la manipulación, por parte del usuario, del dispositivo de interacción con el paciente 150. El dispositivo de control 450, que incluye un procesador, está configurado para estar en comunicación con el dispositivo de guía 200, y para dirigir el dispositivo de interacción con el paciente 150 mediante el dispositivo de guía 200 con el fin de preparar el espacio para recibir el implante dental. En tales aspectos particulares, un sensor de acoplamiento 750 está operativamente conectado con el dispositivo de interacción con el paciente 150 (véase, p.ej. la FIGURA 5), en donde el sensor de acoplamiento 750 está configurado para estar en comunicación con el dispositivo de control 450. El sensor de acoplamiento 750 está además configurado para responder a la desconexión entre el dispositivo de interacción con el paciente 150 y el usuario, dirigiendo el dispositivo de guía para, al menos, mantener el dispositivo de interacción con el paciente 150 en una disposición vertical.

Es decir, como se señaló anteriormente, debido a la interactividad con el usuario, el sistema a veces puede tener dificultades para discernir entre las diversas fuerzas involucradas y que actúan sobre el elemento de brazo 350 / dispositivo de interacción con el paciente 150 como, por ejemplo, la fuerza aplicada por el usuario, cualquier desviación del sensor de fuerza que pueda resultar en la detección de fuerzas "fantasmas", la fuerza de gravedad o la fuerza de resistencia (es decir, procedente del taladro que taladra la estructura ósea del paciente), etc. Como resultado, la fuerza de reacción o compensación proporcionada por el controlador 450 (es decir, por medio del elemento de brazo 350) puede no corresponder con precisión a las fuerzas reales involucradas y que actúan sobre el o los brazos / instrumento quirúrgico, en un momento dado. Es por esto por lo que, el sensor de acoplamiento 750 está dispuesto con respecto al dispositivo de interacción con el paciente 150 de modo que determina cuándo el usuario está conectado activamente o desconectado del dispositivo de interacción con el paciente 150 (es decir, si el usuario está agarrando el dispositivo de interacción con el paciente 150 o no). Al poder determinar cuándo el usuario no está activamente conectado al dispositivo de interacción con el paciente 150, el dispositivo de control 450 puede ser capaz de eliminar cualquier efecto de desviación sobre el dispositivo de interacción con el paciente 150 por medio del dispositivo de guía 200 (es decir, dado que el sensor de activación 750 no se activa, el dispositivo de control 450 sabe que cualquier fuerza indicada en el dispositivo de guía 200 / dispositivo de interacción con el paciente 150 no está originada por la interacción de uso con el dispositivo de interacción con el paciente 150). Más particularmente, por ejemplo, como medida de seguridad, la determinación de la desconexión entre el dispositivo de interacción con el paciente 150 y el

5 usuario por medio del sensor de conexión 750, puede hacer que el dispositivo de control 450 dirija el dispositivo de
 guía 200 para, al menos, mantener el dispositivo de interacción con el paciente 150 en una disposición vertical mínima
 (es decir, se evita que el dispositivo de interacción con el paciente 150 / elemento de brazo 350 se caiga o se deslice
 hacia abajo debido a la gravedad), después de que el usuario haya soltado el dispositivo de interacción con el paciente
 150. A partir de entonces, cualquier movimiento del dispositivo de guía 200, el elemento de brazo 350 y/o el
 instrumento quirúrgico (es decir, el dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500), en los casos en
 que el usuario no está activamente conectado o sosteniendo el instrumento quirúrgico, se puede detectar fácilmente
 mediante el dispositivo de control 450 y se puede determinar la posición desconectada del dispositivo de interacción
 con el paciente 150. Además, en algunos casos, puede haber al menos un sensor de fuerza conectado operativamente
 con, por ejemplo, el dispositivo de guía 200 y/o el dispositivo de interacción con el paciente 150, en donde el al menos
 un sensor de fuerza se puede configurar para medir una fuerza o fuerzas que actúan sobre el dispositivo de interacción
 con el paciente 150, y para comunicar la fuerza medida al dispositivo de control 450. En tales casos, el dispositivo de
 control 450 puede responder a la determinación de desconexión, por parte del usuario, del sensor de acoplamiento
 750 para poniendo a cero la fuerza medida del al menos un sensor de fuerza (es decir, tal que cualquier indicio de
 fuerza que aparezca más tarde en el dispositivo de guía 200 / el dispositivo de interacción con el paciente 150, se
 determina que no está originada por la interacción de uso con el dispositivo de interacción con el paciente 150).

20 En otros casos, el sensor de activación 750 se puede configurar adicionalmente para que responda a la desconexión
 entre el dispositivo de interacción con el paciente 150 y el usuario, dirigiendo el dispositivo de guía 200 (es decir, a
 través del dispositivo de control 450) para mantener el dispositivo de interacción con el paciente 150 en una disposición
 lateral seleccionada y/o una orientación rotacional seleccionada. Es decir, además o como alternativa al mantenimiento
 del dispositivo de interacción con el paciente 150 en una disposición vertical mínima, el dispositivo de interacción con
 el paciente 150 también puede estar limitado por el controlador 450 / dispositivo de guía 200, para moverse
 lateralmente o de lado, o para girar alrededor del eje longitudinal del mismo, si el sensor de conexión 750 no detecta
 la conexión entre el usuario y el dispositivo de interacción con el paciente 150. Además, en otros casos, el sensor de
 acoplamiento 750 puede estar configurado para responder al acoplamiento entre el dispositivo de interacción con el
 paciente 150 y el usuario, accionando el dispositivo de guía 200, por ejemplo, por medio del dispositivo de control 450,
 para guiar al menos el instrumento 500 del dispositivo de interacción con el paciente 150, con respecto al marcador
 de referencia, y/o dirigir el dispositivo de control 450 para que active el plan de implantación virtual para guiar al menos
 el instrumento 500 del dispositivo de interacción con el paciente 150. Adicionalmente, el sensor de conexión 750 se
 puede configurar para que responda a la conexión entre el dispositivo de interacción con el paciente 150 y el usuario,
 permitiendo al menos que se active el instrumento 500. Es decir, en casos particulares, el sensor de acoplamiento 750
 puede requerir la detección del acoplamiento entre el dispositivo de interacción con el paciente 150 y el usuario para
 que el dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 se pueda accionar, o se puede hacer funcionar
 de otro modo, para llevar a cabo el procedimiento quirúrgico. Además, se puede requerir que el usuario esté conectado
 con el dispositivo de interacción con el paciente 150, al detectarlo el sensor de acoplamiento 750, para permitir que se
 active el plan de implantación virtual y/o que el dispositivo de guía 200 proporcione un guiado apropiado al dispositivo
 de interacción con el paciente 150 manipulado por el usuario. Es decir, en algunos aspectos, el sistema 100 se puede
 configurar de tal modo que el dispositivo de control 450 esté configurado para ejecutar el plan de implantación virtual
 para el espacio dentro de la boca del paciente, y para dirigir el dispositivo de guía 200 de acuerdo con el plan de
 implantación virtual, en respuesta a la conexión del sensor de compromiso 750 por parte del usuario. En algunos de
 estos aspectos, el dispositivo de control 450 se puede configurar para dirigir la retroalimentación táctil al usuario, a
 través del dispositivo de interacción con el paciente 150 (es decir, retroalimentación táctil o háptica, a través del
 dispositivo de interacción con el paciente, a la mano del usuario que agarra el dispositivo de interacción con el
 paciente 150 y que está conectado con el sensor de acoplamiento 750), si el instrumento 500 manipulado por el usuario
 se desvía del plan de implantación virtual. Además, el dispositivo de control 450 se puede configurar para dirigir, al
 menos, una retroalimentación de audio o visual, al usuario, a través de al menos uno de entre el dispositivo de control
 450 y el dispositivo de interacción con el paciente 150, si el instrumento 500 manipulado por el usuario se desvía del
 plan de implantación virtual.

50 En otro aspecto, el sistema 100 puede comprender además un dispositivo de visualización 800 (véase, p.ej. las FIGS.
 4 y 5) en comunicación con el dispositivo de control 450 y/o el dispositivo de interacción con el paciente 150. El
 dispositivo de visualización 800 se puede configurar para mostrar una representación en tiempo real de, al menos, el
 instrumento 500 del dispositivo de interacción con el paciente 150, en relación con una representación de la boca del
 paciente, durante el acoplamiento y la manipulación, por parte del usuario, del dispositivo de interacción con el paciente
 150. En tales casos, el dispositivo de control 450 también se puede configurar para estar en comunicación con el
 dispositivo de guía 200 y con el dispositivo de visualización 150, en donde el dispositivo de control 450 se puede
 configurar para controlar la manipulación, por parte del usuario, de al menos el instrumento 500 del dispositivo de
 interacción con el paciente 150, en relación con la boca del paciente, al menos parcialmente mediante el dispositivo
 de guía 200, y para dirigir la información asociada al dispositivo de visualización 800.

65 Como apreciará un experto en la materia, el sensor de acoplamiento 750 se puede implementarse de muchas maneras
 diferentes. En algunos casos, el sensor de acoplamiento 750 puede estar operativamente conectado con el dispositivo
 de interacción con el paciente 150, y puede comprender, por ejemplo, uno de entre: un actuador sensible al tacto, un
 actuador sensible a la presión, un actuador óptico y un actuador acústico, asociado con el dispositivo de interacción
 con el paciente 150. Por ejemplo, se puede implementar la detección del agarre, por parte del usuario, del dispositivo

de interacción con el paciente 150, mediante, por ejemplo, un sensor de acoplamiento 750 que comprende una cámara, un sensor infrarrojo, un sensor acústico, un telémetro u otro sensor apropiado ,que está conectado o está próximo al dispositivo de interacción con el paciente 150 para determinar si se hace contacto real con el dispositivo de interacción con el paciente 150, o si un objeto que se puede identificar, como por ejemplo una mano del usuario, intercede entre el sensor y el dispositivo de interacción con el paciente 150. En otros casos, por ejemplo, el sensor de conexión 750 puede comprender, por ejemplo, un interruptor de presión o sensor apropiado montado en el dispositivo de interacción con el paciente 150, un manguito colocado sobre el dispositivo de interacción con el paciente 150 que, en cooperación, puede indicar contacto físico cerrando un contacto eléctrico o detectando presión en respuesta al agarre de la mano del usuario. En algunos casos, el sensor de acoplamiento 750 también se puede configurar para medir o determinar de otro modo la magnitud de la fuerza ejercida a través del agarre del usuario sobre el dispositivo de interacción con el paciente 150, en donde la magnitud de la fuerza medida podría dirigirse al dispositivo de control 450 o a otro lugar en el sistema 100, según sea necesario o apropiado.

El sensor de conexión 750 (así como otros componentes tales como, por ejemplo, el marcador de referencia), se pueden establecer en comunicación con el dispositivo de control 450 y/u otros componentes en el sistema 100, por ejemplo, por medio de un sistema de comunicación eléctrico, un sistema de comunicación mecánico, un sistema de comunicación electromecánico, un sistema de comunicación óptico y combinaciones de los mismos, o mediante cualquier otra disposición de comunicación adecuada, como apreciará un experto en la técnica, en donde el sistema de comunicación o disposición de comunicación puede, por ejemplo, comprender un sistema de comunicación inalámbrico y/o un sistema de comunicación por cable.

En otro aspecto, la planificación o la realización real del procedimiento quirúrgico mediante, por ejemplo, el dispositivo de control 450 y/o el dispositivo de planificación y/o la funcionalidad de planificación asociada al mismo, pueden mejorarse incorporando retroalimentación intuitiva en tiempo real en el plan de implantación virtual (es decir, a diferencia del plan de implantación virtual que se crea únicamente en función de las imágenes de la boca del paciente y que el cirujano lo utiliza como referencia). Por ejemplo, en tales aspectos, un taladro, sonda u otro instrumento 500 conectado o formando el dispositivo de interacción con el paciente 150, ya sea conectado con el sistema 100 como se describe en este documento o dispuesto de forma separada en comunicación con el sistema 100 (es decir, rastreado por una cámara u otro dispositivo óptico, conectado a un brazo mecánico que tenga un rango de movimiento conocido o rastreable, rastreado por un seguimiento acústico o de otra manera mantenido en comunicación con un punto de referencia), puede ser manipulado por el usuarios (estos es, el cirujano) con respecto al sitio dentro de la boca del paciente. Al hacerlo, la manipulación, por parte del usuario, del dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 se puede monitorear en tiempo real mediante el dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación, en relación con la anatomía real asociada con el espacio dentro de la boca del paciente o en relación con un modelo del mismo. En tales casos, el sistema 100 también puede incluir un dispositivo de visualización 800 (ver, por ejemplo, las FIGS. 4 y 5) en comunicación con el dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación, que está configurado para recibir y mostrar una representación en tiempo real del dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 en relación con una representación de la boca del paciente (es decir, la anatomía real fotografiada durante la manipulación o un modelo u otra representación del mismo de otro modo determinada) durante la manipulación del dispositivo de interacción con el paciente 150, de modo que el usuario puede ver o visualizar en el dispositivo de visualización 800 en tiempo real una retroalimentación de la manipulación del dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500. Es decir, la posición del implante dental, el espacio dentro de la boca del paciente y/o el plan quirúrgico (implante dental) se podrán proyectar de manera virtual en el dispositivo de visualización 800, de modo que el usuario pueda visualizar una simulación del procedimiento quirúrgico en relación con la manipulación física, por parte del usuario, del dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500, y en tiempo real. Por ejemplo, un dispositivo de implantación 150 que tiene un elemento protésico unido al mismo, se puede mover o manipular en relación con el espacio en la boca del paciente, y el usuario puede ver simultáneamente una representación del dispositivo de implantación 150 que tiene el implante dental virtual acoplado al mismo, en el dispositivo de visualización 800, en relación con una proyección virtual de la interacción del implante dental con el espacio dentro de la boca del paciente, a la vez que se está produciendo la manipulación.

En algunos casos, el dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación se puede configurar para relacionar la manipulación, por parte del usuario, del dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500, a un plan de implantación virtual previamente desarrollado (o incluso iniciar un plan de implantación virtual basado en la manipulación), de modo que el plan de implantación virtual se pueda actualizar y/o modificar en relación con la manipulación por parte del usuario. Además, cuando se logra una posición "virtual" satisfactoria del implante dental, o en cualquier punto seleccionado por el usuario, el plan de implantación virtual puede finalizar o "se bloqueado" por el usuario (es decir, el usuario puede indicar selectivamente que las actualizaciones / las modificaciones al plan de implantación virtual resultantes de la manipulación son satisfactorias, y de este modo se puede actualizar / modificar el plan de implantación virtual previamente existente para incluirlas). En algunos aspectos particulares, el plan de implantación virtual finalizado puede ser ejecutado por el dispositivo de control 450 / dispositivo de planificación, con el sistema 100 configurado para responder al plan de implantación virtual ejecutado dirigiendo el dispositivo de interacción con el paciente guiado manualmente (es decir, usando retroalimentación táctil o háptica al usuario) o dirigiendo un sistema robótico autónomo.

65

Para facilitar una guía intuitiva o referencia al usuario en relación con el plan de implantación virtual (es decir, proporcionar una guía intuitiva al usuario para llevar a cabo el plan de implantación virtual utilizando el dispositivo de interacción con el paciente 150), los aspectos de la presente descripción también pueden proporcionar un sistema de implante dental 100, como el descrito anteriormente, en el que el dispositivo de visualización 800 (véase, por ejemplo, la FIGURA 6) está configurado para mostrar una representación en tiempo real del instrumento 500 del dispositivo de interacción con el paciente 150 (véase, por ejemplo, FIGURA 7), en relación con una representación de la boca del paciente, durante la manipulación, por parte del usuario del dispositivo de interacción con el paciente 150. Además de mostrar la representación en tiempo real del instrumento 500 del dispositivo de interacción con el paciente 150, en relación con una representación de la boca del paciente, en el dispositivo de visualización 800, el dispositivo de control 450 puede además configurarse para 1) dirigir el dispositivo de visualización 800 para que muestre la representación en tiempo real 600 del instrumento 500 en relación con una representación virtual 650 del instrumento 500 del dispositivo de interacción con el paciente 150 manipulado de acuerdo con el plan de implantación virtual; 2) dirigir un dispositivo de audio 700 (véase, por ejemplo, la FIGURA 5) en comunicación con el dispositivo de control 450 para que emita una señal de audio seleccionada, indicativa del dispositivo de interacción con el paciente 150 manipulado de acuerdo con el plan de implantación virtual; y/o 3) dirigir el dispositivo de guía 200 para que proporcione una resistencia seleccionada a la manipulación del dispositivo de interacción con el paciente 150 de acuerdo con el plan de implantación virtual.

Por ejemplo, el dispositivo de control 450 puede adicionalmente configurarse para dirigir el dispositivo de visualización 800 para que muestre una animación de la representación virtual 650 del instrumento 500 del dispositivo de interacción con el paciente 150 manipulado de acuerdo con el plan de implantación virtual, en donde la animación puede estar originada a partir de una disposición actual de la representación en tiempo real 600 del instrumento 500 del dispositivo de interacción con el paciente 150, también mostrado por el dispositivo de visualización 800. Es decir, la animación de la representación virtual 650 del instrumento 500 puede indicar, a través de la animación, la dirección (es decir, horizontal y/o vertical) en la que el usuario debe dirigir el dispositivo de interacción con el paciente 150 y/o la dirección de rotación en la que el usuario debe girar el dispositivo de interacción con el paciente 150 (véase, por ejemplo, la FIGURA 7), partiendo desde la disposición actual de la representación en tiempo real 600 del instrumento 500, con el fin de mover o manipular el instrumento 500 de acuerdo con el plan de implantación virtual.

En algunos casos, el dispositivo de control 450 se puede configurar adicionalmente para dirigir el dispositivo de visualización 800 para que muestre unas indicaciones de progreso 675, que se originan a partir de la disposición de la representación en tiempo real del instrumento 500 del dispositivo de interacción con el paciente 150, y que progresan en relación con una manipulación requerida del dispositivo de interacción con el paciente 150 para que el instrumento 500 esté de acuerdo con el plan de implantación virtual. Es decir, por ejemplo, además de la animación, el dispositivo de visualización 800 también puede mostrar alguna indicación del progreso del usuario al mover el dispositivo de interacción con el paciente 150 hacia el espacio del procedimiento. Tal indicación podría ser un gráfico de barras de progreso que indica la distancia o rotación que debe ocurrir desde la representación actual en tiempo real del instrumento 500 hacia el espacio quirúrgico, o la distancia o rotación que aún debe producirse antes de que el instrumento 500 sea adecuadamente manipulado en el espacio quirúrgico según el plan de implantación virtual. Es decir, las indicaciones de progreso 675 pueden comprender uno de entre una distancia que se origina desde la disposición de la representación en tiempo real del instrumento hasta una disposición del instrumento de acuerdo con el plan de implantación virtual, y un grado de rotación que se origina desde la disposición de la representación en tiempo real del instrumento hasta disposición del instrumento de acuerdo con el plan de implantación virtual.

En los casos en que se proporciona un dispositivo de audio para fines de retroalimentación, el dispositivo de audio 700 se puede configurar, por ejemplo, para que emita una señal de audio seleccionada, en donde la señal de audio seleccionada puede aumentar, o de otro modo cambiar de frecuencia, desde la disposición de la representación en tiempo real del instrumento, hasta una disposición del instrumento de acuerdo con el plan de implantación virtual.

En todavía otros aspectos, el dispositivo de guía 200 se puede configurar para proporcionar una resistencia baja a la manipulación del dispositivo de interacción con el paciente 150, por ejemplo, cuando el dispositivo de interacción con el paciente 150 es manipulado por el usuario para mover el instrumento 500 a lo largo de una trayectoria de acuerdo con el plan de implantación virtual, y/o el dispositivo de interacción con el paciente 150 es manipulado por el usuario para hacer girar el instrumento 500 a un grado de rotación de acuerdo con el plan de implantación virtual. Por otra parte, el dispositivo de guía 200 se puede configurar adicionalmente para proporcionar una resistencia alta a la manipulación del dispositivo de interacción con el paciente 150, por parte del usuario, por ejemplo, si el movimiento del instrumento 500 a lo largo de la trayectoria y/o la rotación del instrumento 500 se desvían del plan de implantación virtual. Es decir, el dispositivo de guía 200 se puede configurar de modo que se requiera relativamente menos fuerza del usuario para mover el dispositivo de interacción con el paciente 150 de acuerdo con el plan de implantación virtual, mientras que puede haber una resistencia significativa por parte del dispositivo de guía 200 si el usuario intenta mover el dispositivo de interacción con el paciente 150 desviándose del plan de implantación virtual.

Por consiguiente, en algunos aspectos, el sistema 100 puede implementar varias combinaciones de medidas de retroalimentación que pueden ayudar a hacer que la manipulación del dispositivo 150 de interacción con el paciente, de acuerdo con el plan de implantación virtual, sea más intuitiva. Por ejemplo, la retroalimentación visual usando un instrumento "fantasma" (es decir, se puede animar un instrumento "fantasma", de un color distinto, en el dispositivo de

5 visualización moviéndose hacia el destino del espacio quirúrgico, desde la posición actual del instrumento. El instrumento "fantasma" puede, en algunos casos, proporcionarse en tres dimensiones, con la vista 3D que puede servir para aclarar y hacer más intuitiva al usuario la dirección en la que se debe manipular el instrumento real de acuerdo con el plan de implantación virtual. Además, se puede proporcionar una barra de progreso que indica "distancia al objetivo" (en grados para rotación o en una medición lineal para la traslación). La animación y la barra de progreso se pueden actualizar de manera dinámica a medida que el dispositivo de interacción con el paciente 150 es manipulado por el usuario. Además, se puede usar retroalimentación de audio, por ejemplo, en forma de una frecuencia de pitido dinámico, para indicar cómo de cerca está el dispositivo de interacción con el paciente 150 del espacio quirúrgico planificado. En tales casos, por ejemplo, un pitido de frecuencia más baja (es decir, más lento) puede ser audible cuando el dispositivo de interacción con el paciente 150 está relativamente lejos del espacio quirúrgico previsto, mientras que la frecuencia del pitido puede aumentar (es decir, más rápido) a medida que el dispositivo de interacción con el paciente 150 se acerca al espacio quirúrgico.

15 En algunos aspectos, la retroalimentación física (táctil o háptica) se puede implementar, por ejemplo, para limitar o restringir el movimiento del dispositivo de guía 200 (es decir, el elemento de brazo 350) de modo que el usuario está estrictamente limitado a guiar el dispositivo de interacción con el paciente 150 a lo largo de una trayectoria particular (en traslación y/o rotación). En algunos casos, también se puede proporcionar amortiguación direccional a través del dispositivo de guía 200 / elemento de brazo 350, por ejemplo, para proporcionar al usuario señales de que el dispositivo de interacción con el paciente 150 se está moviendo de la manera correcta de acuerdo con el plan de implantación virtual. Por ejemplo, si se usa amortiguación direccional, el dispositivo de guía 200 / elemento de brazo 350 se puede configurar para proporcionar resistencia relativamente menor al movimiento del dispositivo de interacción con el paciente 150 a lo largo de una "dirección apropiada" de acuerdo con el plan de implantación virtual, y/o se puede configurado para proporcionar una resistencia relativamente mayor, o de otro modo significativa, al movimiento del dispositivo de interacción con el paciente 150 en la "dirección incorrecta" que se desvía del plan de implantación virtual. Esta resistencia relativamente mayor no es necesariamente una resistencia absoluta, pero puede permitir, por ejemplo, que el usuario mueva el dispositivo de interacción con el paciente 150 hacia atrás en relación con el plan de implantación virtual. Tal aspecto puede ser útil, por ejemplo, para la traslación del dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 en espacios pequeños y/o para la rotación del dispositivo de interacción con el paciente 150 / instrumento 500 donde la orientación del objetivo no es necesariamente fácil de discernir.

30 Muchas modificaciones y otras formas de realización de las invenciones establecidas en este documento le vendrán a la mente a un experto en la materia a la que pertenecen estas formas de realización descritas, que tienen el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y de los dibujos asociados. Por lo tanto, se debe entender que las formas de realización de la invención no están limitadas a las formas de realización específicas descritas y que las modificaciones y otras formas de realización están destinadas a ser incluidas dentro del alcance de la invención.

40 Debe entenderse que, aunque los términos primero, segundo, etc. se pueden utilizar en este documento para describir diversas fases o cálculos, estas fases o cálculos no deberían estar limitados por estos términos. Estos términos solo se usan para distinguir una operación o cálculo de otra. Por ejemplo, un primer cálculo se puede denominar como un segundo cálculo y, de manera similar, una segunda fase puede denominarse una primera fase, sin apartarse del alcance de esta descripción. El término "y / o" y el símbolo "/", tal como se usan en este documento, incluye todas y cada una de las combinaciones de uno o más de los elementos enumerados asociados.

45 Como se usa en el presente documento, las formas singulares "un", "uno" y "el/la" están destinadas a incluir también las formas plurales, a menos que el contexto indique claramente lo contrario. Se entenderá además que los términos "comprende", "que comprende", "incluye" y/o "que incluye", cuando se usan en este documento, especifican la presencia de características, partes completas, fases, operaciones, elementos y/o componentes, pero no excluye la presencia o adición de una o más características, partes completas, fases, operaciones, elementos, componentes y/o grupos de los mismos. Por lo tanto, la terminología utilizada en este documento tiene el propósito de describir solamente formas de realización particulares y no pretende ser limitante.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de implante dental (100), que comprende:

5 un dispositivo de interacción con el paciente (150) que tiene un instrumento (500) adaptado para al menos interactuar y preparar un espacio dentro de la boca de un paciente para recibir un implante dental;
 un dispositivo de guía (200) en comunicación con un marcador de referencia (250) adaptado para acoplarse a la boca del paciente, estando configurado el dispositivo de guía (200) para recibir el dispositivo de interacción con el paciente (150) y para guiar el instrumento (500) del dispositivo de interacción con el paciente (150), con respecto al marcador de referencia (250), en conjunción con la manipulación, por parte de un usuario, del dispositivo de interacción con el paciente (150);
 10 un dispositivo de control (450) que incluye un procesador, estado el dispositivo de control (450) configurado para estar en comunicación con el dispositivo de guía (200) y para dirigir el dispositivo de interacción con el paciente (150), por medio del dispositivo de guía (200), para preparar el espacio para recibir el implante dental;
 15 y
 un sensor de acoplamiento (750) acoplado operativamente con el dispositivo de interacción con el paciente (150), y configurado para estar en comunicación con el dispositivo de control (450), estando configurado el sensor de acoplamiento (750) para detectar la desconexión entre el dispositivo de interacción con el paciente (150) y el usuario y para comunicar la desconexión al dispositivo de control (450), donde el dispositivo de control (450) responde a la desconexión detectada dirigiendo el dispositivo de guía (200) para, al menos, mantener el dispositivo de interacción con el paciente (150)) con una disposición vertical mínima.

2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el dispositivo de control (450) está:

25 configurado además para responder a la desconexión detectada, entre el dispositivo de interacción con el paciente (150) y el usuario, dirigiendo el dispositivo de guía (200) para mantener el dispositivo de interacción con el paciente (150) en una de una disposición lateral y una orientación rotacional;
 configurado además para responder al acoplamiento, entre el dispositivo de interacción con el paciente (150) y el usuario, accionando el dispositivo de guía (200) para guiar al menos el instrumento del dispositivo de interacción con el paciente (150), con respecto al marcador de referencia (250);
 30 configurado además para responder al acoplamiento, entre el dispositivo de interacción con el paciente (150) y el usuario, permitiendo al menos que el instrumento (500) sea accionado; o
 configurado además para responder al acoplamiento, entre el dispositivo de interacción con el paciente (150) y el usuario, activando un plan de implantación virtual para guiar al menos el instrumento (500) del dispositivo de interacción con el paciente (150).

3. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el sensor de acoplamiento (750) comprende uno de entre: un accionador sensible al tacto, un accionador sensible a la presión, un accionador óptico y un accionador acústico, asociado con el dispositivo de interacción con el paciente (150).

4. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que al menos el sensor de acoplamiento (750) y/o el marcador de referencia (250), está:

45 configurado para estar en comunicación con el dispositivo de control (450) a través de uno de entre: un sistema de comunicación eléctrico, un sistema de comunicación mecánico, un sistema de comunicación electromecánico, un sistema de comunicación óptico y combinaciones de los mismos; o
 configurado para estar en comunicación con el dispositivo de control (450) a través de un sistema de comunicación inalámbrico y/o un sistema de comunicación por cable.

5. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que además comprende al menos un sensor de fuerza acoplado operativamente con al menos el dispositivo de guía (200) y/o el dispositivo de interacción con el paciente (150), estando el al menos un sensor de fuerza configurado para medir una fuerza que actúa sobre el dispositivo de interacción con el paciente (150), y para comunicar la fuerza medida al dispositivo de control (450).

6. El sistema de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el dispositivo de control (450) responde a la desconexión del sensor de acoplamiento (750), por parte del usuario, poniendo a cero la fuerza medida del al menos un sensor de fuerza.

7. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el dispositivo de control (450) está configurado para ejecutar un plan de implantación virtual para el espacio dentro de la boca del paciente, y para dirigir el dispositivo de guía (200) de acuerdo con el plan de implantación virtual, en respuesta al acoplamiento del sensor de acoplamiento (750) por parte del usuario.

8. El sistema de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el dispositivo de control (450) está:

65

- 5 configurado para dirigir la retroalimentación táctil al usuario, a través del dispositivo de interacción con el paciente (150), si el instrumento (500) manipulado por el usuario se desvía del plan de implantación virtual; o configurado para dirigir al usuario, al menos, una retroalimentación de audio y/o una retroalimentación visual, a través de al menos el dispositivo de control (450) y/o el dispositivo de interacción con el paciente (150), si el instrumento (500) manipulado por el usuario se desvía del plan de implantación virtual.
- 10 9. El sistema de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, que además comprende un dispositivo de visualización (800) configurado para mostrar una representación en tiempo real de al menos el instrumento (500) del dispositivo de interacción con el paciente (150), en relación con una representación de la boca del paciente, durante el acoplamiento y manipulación, por parte del usuario, del dispositivo de interacción con el paciente (150).
- 15 10. El sistema según la reivindicación 9, en el que el dispositivo de control (450) está configurado para estar en comunicación con el dispositivo de guía (200) y con el dispositivo de visualización (800), y en el que el dispositivo de control (450) está configurado para monitorear la manipulación de, al menos, el instrumento (500) del dispositivo de interacción con el paciente (150) en relación con la boca del paciente, al menos parcialmente, mediante el dispositivo de guía (200), y para dirigir la información asociada al dispositivo de visualización (800).

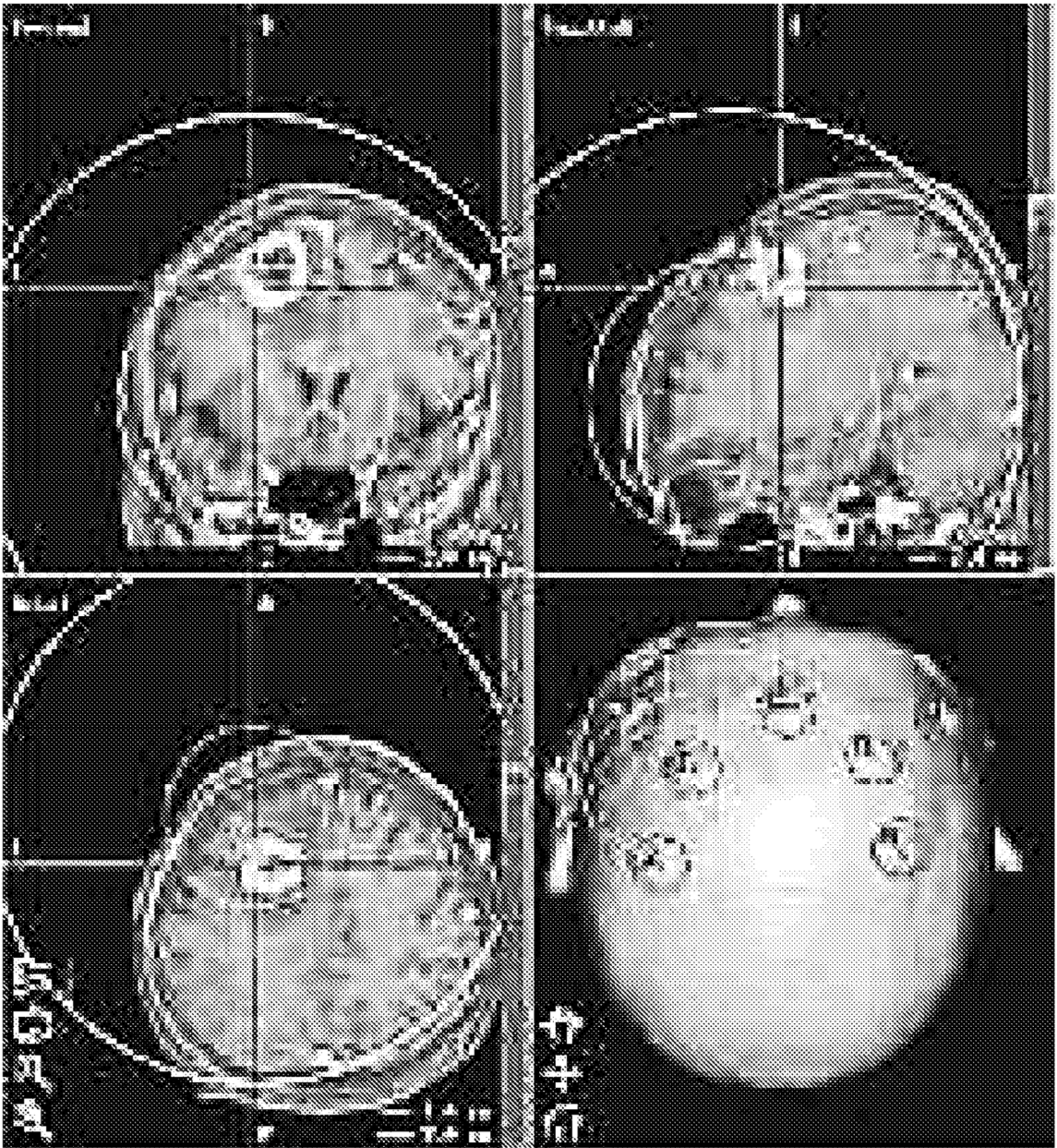


FIG. 1

Estado de la técnica

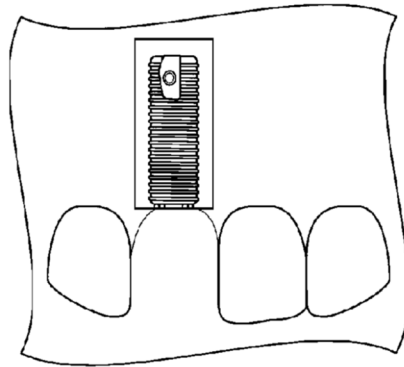


FIG. 2A

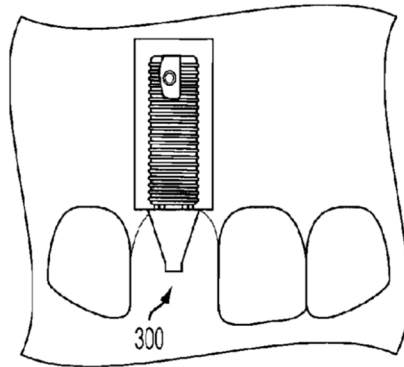


FIG. 2B

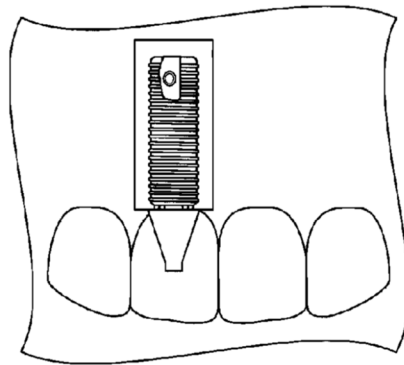


FIG. 2C

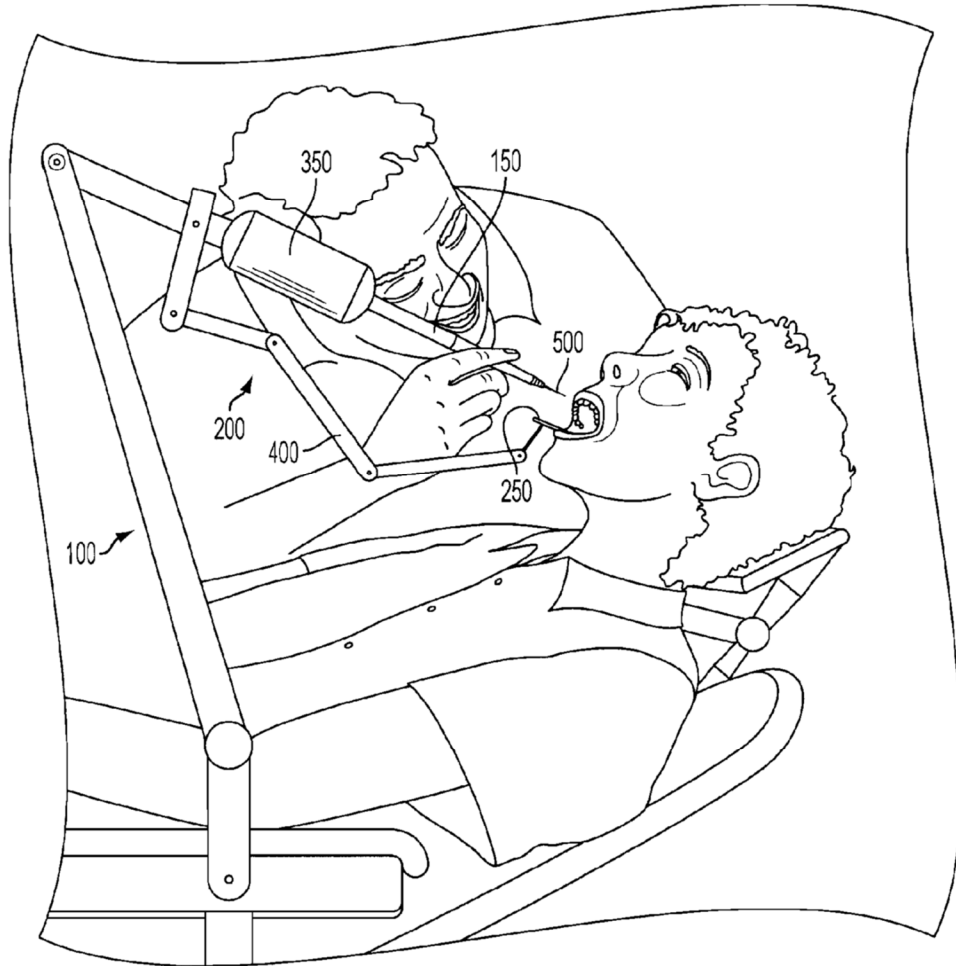


FIG. 3

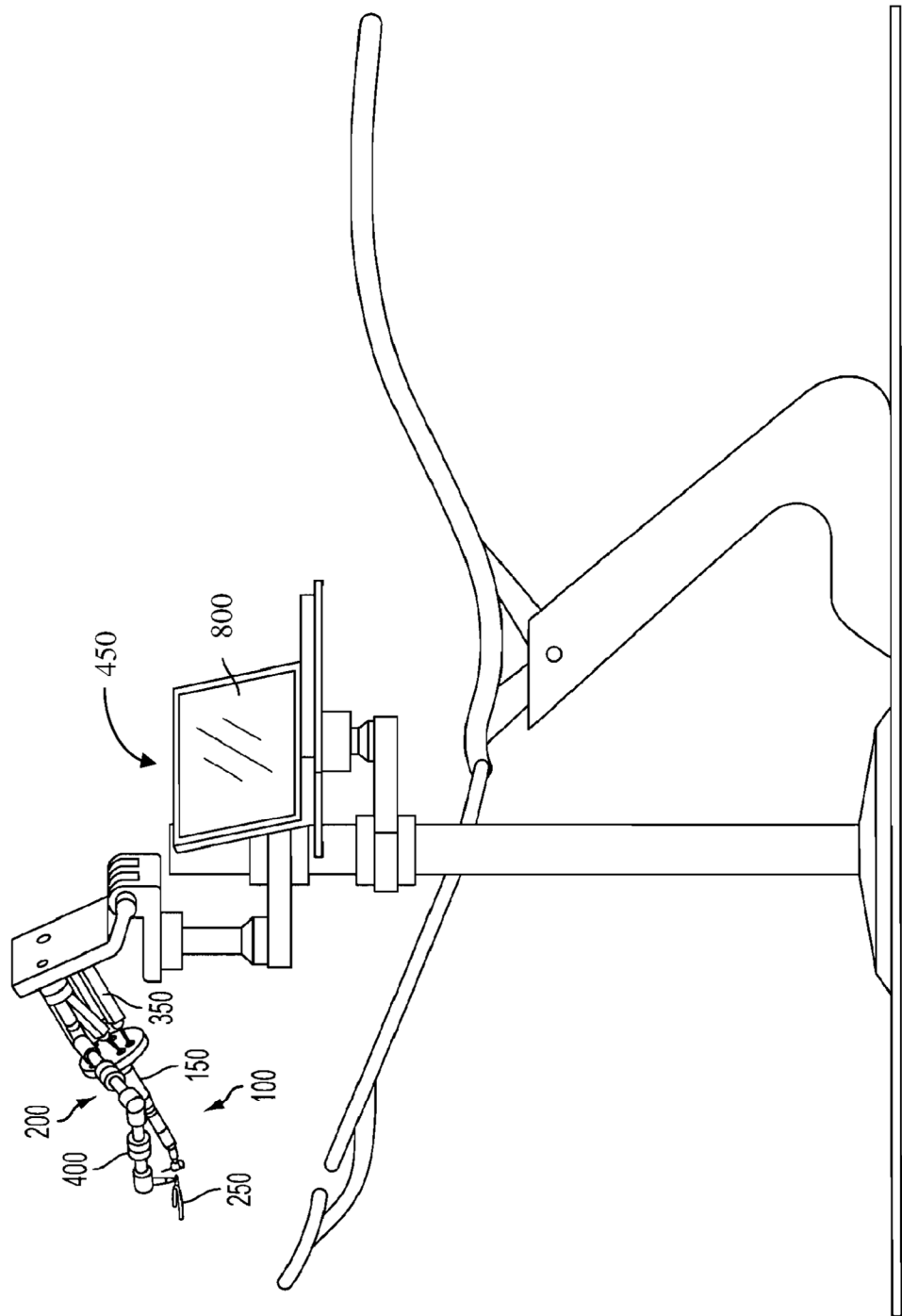
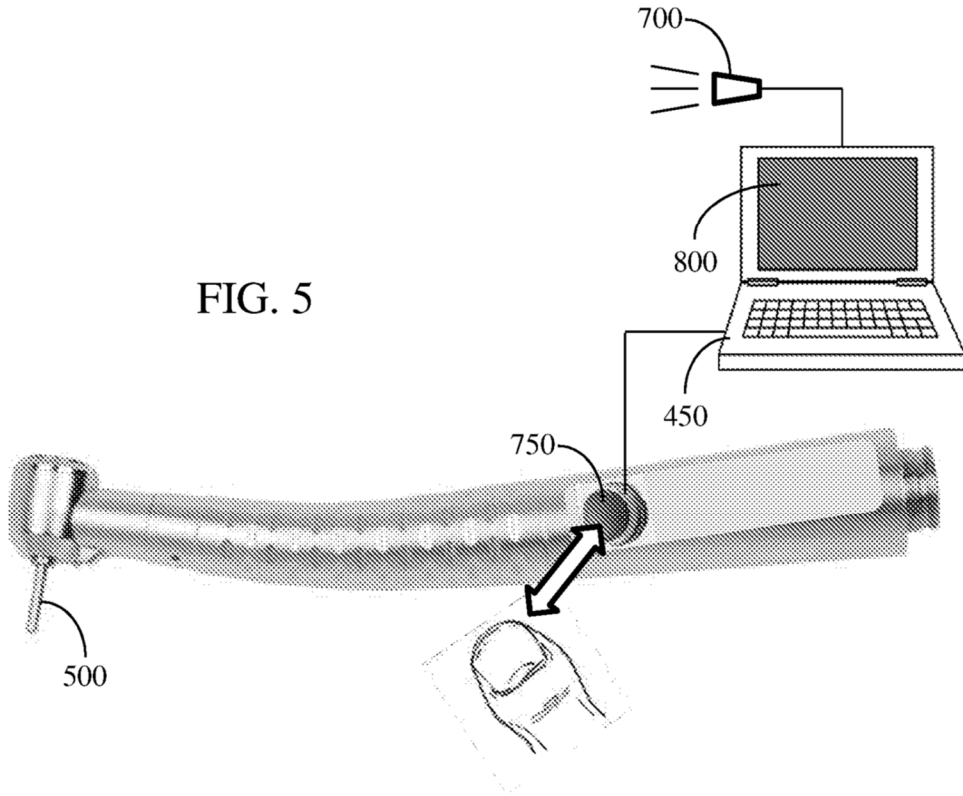


FIG. 4

FIG. 5



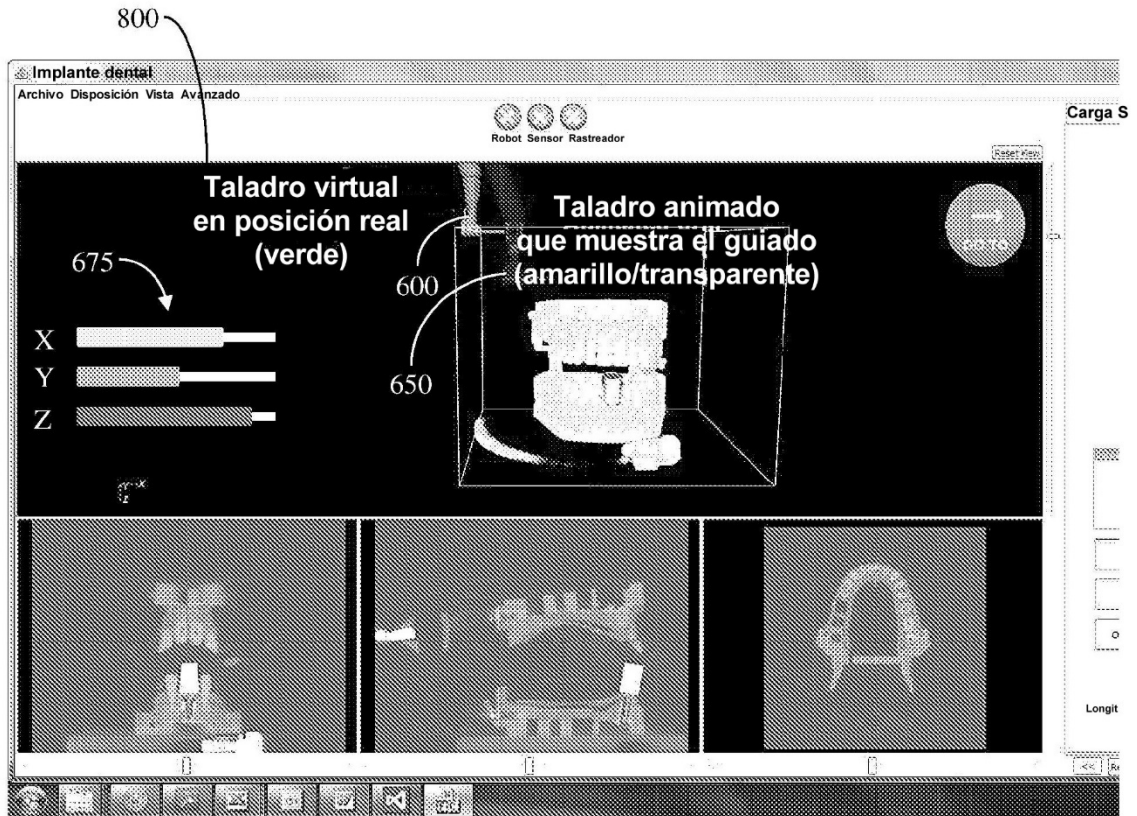


FIG. 6

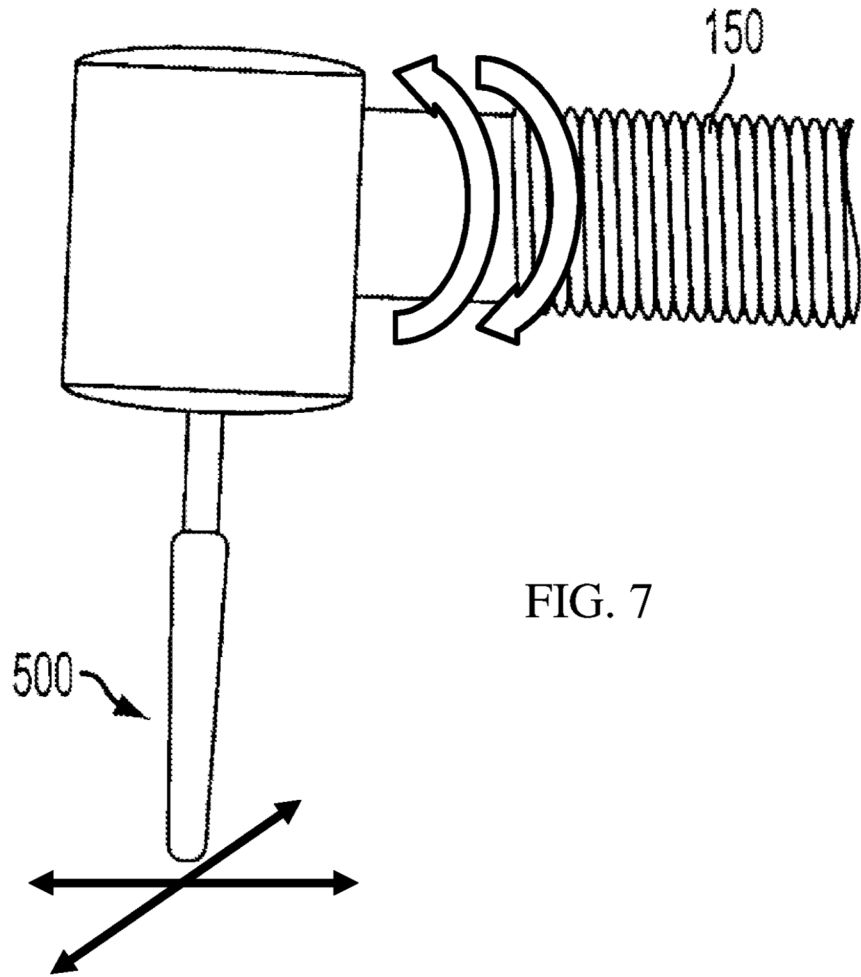


FIG. 7