

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 845 936**

51 Int. Cl.:

G06T 17/00 (2006.01)

G06T 17/20 (2006.01)

G09B 23/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA MODIFICADA
TRAS OPOSICIÓN

T5

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.03.2017 PCT/EP2017/054959**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.09.2017 WO17153259**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.03.2017 E 17708497 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea modificada tras oposición: **13.09.2023 EP 3427231**

54 Título: **Generación de modelos para simulación dental**

30 Prioridad:

10.03.2016 GB 201604155

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente modificada:
10.04.2024

73 Titular/es:

**NISSIN DENTAL PRODUCTS INC. (100.0%)
Karahashi-Hiragki-cho 8
Minami-ku, Kyoto 601-8469, JP**

72 Inventor/es:

**VAN DEN BRABER, NIELS y
DE GREEF, MARK**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

DESCRIPCIÓN

Generación de modelos para simulación dental

Campo de la invención

La presente invención se refiere a la generación de modelos 3D y, más específicamente, a la generación de modelos 3D para su uso en simulación dental.

Antecedentes de la invención

Las máquinas para simular técnicas de odontología con fines de formación son conocidas e incluyen, por ejemplo, la máquina Simodont fabricada por el solicitante. Estas máquinas implementan técnicas de realidad virtual para permitir al estudiante practicar varios procedimientos de odontología. Las máquinas de simulación generalmente comprenden una pantalla de visualización que genera imágenes en 3D para que las vea el usuario usando gafas 3D. Colocado debajo de la pantalla de visualización hay al menos una pieza de mano que se fija a la máquina mediante un mecanismo que comprende una serie de enlaces y motores eléctricos. La posición relativa de la pieza de mano (cuando el usuario la mueve) y la fuerza aplicada por un usuario se miden mientras el usuario realiza una operación de odontología (por ejemplo, perforar un diente) en un modelo virtual 3D de un diente, conjunto de dientes o mandíbula. La pieza de mano simula el taladro de un dentista y proporciona realimentación háptica al estudiante mientras el estudiante realiza su taladrado.

Las máquinas de simulación dental proporcionan un entorno de simulación para los dentistas en formación antes de que se les solicite realizar las mismas técnicas en un diente real, en lugar de uno virtual. La seguridad del paciente es muy importante. Cuanto más realista sea el modelo 3D, más fácil será la transición del estudiante desde la práctica en la máquina de simulación dental hasta la realización de la odontología en un paciente real.

Típicamente, el modelo 3D se construye artificialmente. Se diseñan diferentes modelos para diferentes requisitos y situaciones de formación, por ejemplo, un modelo particular puede ser un diente astillado (que se requiere que el estudiante arregle en un escenario de entrenamiento simulado). Otros modelos pueden presentar otras características o combinaciones de características según las necesidades de los programas de formación en odontología. Sin embargo, no es práctico (y casi imposible) intentar crear modelos artificiales para representar con precisión cada posible situación dental diferente que pueda surgir. Por consiguiente, el uso de modelos genéricos puede limitar la eficacia de la formación de un estudiante en una máquina de simulación dental.

Se han realizado intentos anteriores para generar modelos de simulación utilizando datos reales de pacientes. En un método, se genera un modelo volumétrico a partir de la combinación de cortes tomográficos de escaneos aCT, sin embargo, es inconveniente y cara. El documento US 2002/119432 A1 describe un sistema de formación que utiliza simulaciones mejoradas hápticamente de procedimientos dentales, en el que se visualiza un modelo virtual de diente en un dispositivo de visualización estéreo. Se identifican vóxeles dentro, fuera y en la superficie del modelo virtual.

Es un objetivo de la presente invención mitigar al menos algunos de los inconvenientes de la técnica anterior.

Compendio de la invención

Según un primer aspecto de la invención, se proporciona un método implementado por ordenador para generar un modelo 3D para simulación dental según la reivindicación 1. Utilizando datos relacionados con un diente real, el método proporciona de manera automática y eficiente un modelo 3D que tiene datos de densidad para su uso en un programa de simulación dental.

Según otro aspecto de la invención, se proporciona una máquina de simulación dental según la reivindicación 11 adjunta.

La invención está definida por las reivindicaciones adjuntas. Las características preferibles de la invención se definen en las reivindicaciones dependientes adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

La invención se describirá con referencia a los dibujos en los que:

La **Figura 1** es una vista en perspectiva de una máquina de simulación dental;

La **Figura 2** es un diagrama de flujo de las etapas principales de un proceso de formación de imágenes en 3D según una realización de la invención;

La **Figura 3** es un diagrama de flujo de las etapas de un método para generar un modelo 3D según una realización de la invención;

La **Figura 4** es una imagen creada según una realización de la invención tal como la ve un usuario en una pantalla de visualización de una máquina de simulación dental;

La **Figura 5a** es una imagen de la superficie de malla triangulada de un conjunto de dientes;

La **Figura 5b** es una imagen de los dientes mostrados en la Figura 5a, generada según una realización de la invención;

La **Figura 6a** es una imagen de la superficie de malla triangulada del conjunto de dientes de las Figuras 5a y 5b, girada con respecto a las Figuras 5a y 5b;

La **Figura 6b** es una imagen de los dientes como se muestra en la Figura 6a, generada según una realización de la invención,

La **Figura 7** es una imagen de tres dientes generada según una realización de la invención

Descripción detallada

Una máquina de simulación dental se muestra generalmente en la Figura 1. Los estudiantes de odontología utilizan la máquina 100 para practicar la odontología utilizando tecnología de realidad virtual. Un estudiante se sienta en una silla (no mostrada) frente a la pantalla de visualización 101. El reposamanos 102 define, generalmente, un área en la que el estudiante opera las piezas de mano de odontología, tal como un taladro de dentista. El botón de encendido 105 proporciona la funcionalidad de encendido/apagado de la máquina y el interruptor 106 de ajuste de altura permite al usuario ajustar la altura de una posición de la máquina 100, incluyendo el reposamanos 102 y la pantalla de visualización 101. La pantalla de visualización 101 muestra imágenes virtuales en movimiento en 3D cuyos movimientos se corresponden con movimiento de una pieza de mano (que generalmente se encuentra dentro del área del reposamanos 101) por parte de un estudiante. El estudiante ve las imágenes en la pantalla de visualización 101 usando gafas 3D pasivas. El ratón 104 permite al usuario de la máquina ajustar la posición relativa y la orientación de las imágenes en la pantalla de visualización 101 en tres dimensiones. El pedal 107 facilita el control de la operación de un taladro simulado (u otra herramienta odontológica motorizada).

La máquina 100 también comprende la pantalla de formación 103 (que puede ser una pantalla sensible al tacto) que es utilizada por el estudiante para acceder a información relevante para su formación, tales como programas de formación, lecciones individuales, datos de puntuación y calificación, comentarios del mentor y para revisar material de formación previo. Mientras se realiza un proceso de simulación, las imágenes mostradas en la pantalla de visualización 101 también se envían a la pantalla de formación 103 para permitir que un espectador vea el uso de la máquina por parte del estudiante.

Ahora se describirá una descripción general de la invención con referencia a la Figura 2. En la etapa 211, se escanean uno o más dientes utilizando un escáner intraoral. Los escáneres intraorales son escáneres ópticos de mano que los dentistas y otros profesionales médicos suelen utilizar para obtener imágenes de los dientes y las encías antes o después del tratamiento. Las imágenes generadas por el escáner intraoral permiten ver áreas de la boca en detalle, quizás fuera del sitio o en un momento posterior. Las imágenes obtenidas mediante escaneos intraorales se utilizan convencionalmente para el análisis visual por parte de los dentistas para ayudar en el diagnóstico o pronóstico. En general, el escaneo intraoral adopta técnicas de escaneo láser 3D, cuyos detalles adicionales serán accesibles para una persona experta en la técnica.

En la etapa 212, los datos brutos de un escáner intraoral se convierten en un formato STL en el que se representa la geometría de la superficie de uno o más dientes escaneados, como ASCII o binario, como una malla compuesta por múltiples triángulos. Una persona experta en la técnica podrá acceder a más detalles del formato de archivo STL.

Como se apreciará, aunque un archivo STL del escaneado dental describe la geometría de la superficie de un objeto tridimensional, no proporciona información sobre su interior. Sin embargo, en una simulación de odontología en particular, es posible que se requiera que un estudiante taladre dentro o alrededor de un diente y reducir por ello el volumen del diente. El algoritmo descrito a continuación con referencia a la Figura 3 proporciona un modelo 3D para su uso en una simulación de odontología que describe el propio diente además de su topología de superficie. Esto se logra en la etapa 213 del método de la Figura 2.

En la etapa 214, el modelo 3D del diente o dientes se proporciona a una máquina de simulación dental y es accesible para un estudiante, a través de una aplicación de usuario, como parte de una sesión/lección de formación específica del paciente, que, de manera similar a otras sesiones de formación, puede tener una fecha de vencimiento que estipule la escala de tiempo para la finalización de la sesión/lección y datos de vencimiento que estipulen los datos sobre los cuales el modelo específico del paciente ya no estará disponible para el estudiante. Se puede asignar un modelo en particular a uno o más estudiantes en particular que pueden 'iniciar sesión' en una aplicación de usuario para facilitar la carga del modelo en la máquina de simulación dental que el estudiante está utilizando actualmente.

La generación del modelo 3D se produce preferiblemente en un "entorno de tutor" seguro. Después de la creación del modelo 3D, pero antes de permitir el acceso al modelo 3D en una máquina de simulación dental, un tutor o mentor (por ejemplo) puede recuperar el modelo 3D de una biblioteca de escaneos de pacientes y revisar el modelo para evaluar su idoneidad en una lección en particular o para un estudiante en particular. El tutor o mentor, a través de un programa de gestión de casos, puede decidir por tanto, si y cuándo permitir el acceso a un modelo 3D desde un servidor, máquina u otra instalación de almacenamiento.

Una vez que el modelo 3D ha sido "publicado" y, por tanto, accesible para un estudiante que accede a una lección a través de la pantalla de formación 103 en la máquina 100 de simulación dental, el modelo 3D se puede utilizar como parte de un programa de simulación (etapa 214). Un programa de simulación en ejecución permite al usuario ver, en 3D, el modelo en la pantalla de visualización 101 y ajustar su ampliación y orientación. El estudiante mueve físicamente una o más piezas de mano 108 como si estuviera operando una herramienta de odontología, tal como un taladro. La Figura 4 es una imagen de lo que un estudiante puede ver normalmente durante un ejercicio de formación. El modelo 3D 442 incluye cuatro dientes, uno de los cuales se ha de manipular con la fresa 441 del taladro 440. Como se ha mencionado anteriormente, la máquina 100 de simulación dental proporciona realimentación háptica a un estudiante que opera el taladro según su perforación simulada del modelo 3D (etapa 215). Cuando el estudiante perfora el diente, el programa simula la eliminación de material sólido al reducir adecuadamente el volumen del diente. Ya que los dientes tienen densidad (y, por lo tanto, se debe aplicar presión para que el taladro elimine material), se asigna una densidad virtual al interior del diente para que la unidad de control háptico de la máquina 100 pueda aplicar la resistencia adecuada al estudiante a través de motores eléctricos conectados a la pieza de mano 108.

Un método para generar el modelo 3D se describirá con más detalle con referencia a la Figura 3. Un archivo STL de un diente escaneado, como lo proporciona típicamente un escáner intraoral, se importa a la memoria y se lee mediante un programa que ejecuta el algoritmo descrito en la presente memoria. Los archivos STL típicamente describen objetos de superficie cerrada, es decir, objetos cuya superficie está cerrada y conectada. Ya que el escaneo realizado por un escáner intraoral de un diente es óptico y, por supuesto, que los dientes están conectados a las encías y las mandíbulas, no es posible realizar un escaneo completo y cerrado de la superficie de un diente utilizando un escáner intraoral y tales escaneos siempre serán 'abiertos', la 'abertura' generalmente se encuentra en un plano paralelo al plano de una mandíbula. La geometría de la superficie especificada en el archivo STL, según el formato de archivo STL, se describe como una malla de triángulos, cuyo número y tamaño relativo dependerá de la resolución del escáner intraoral. Los archivos STL proporcionan las coordenadas de las esquinas de cada triángulo. Algunos archivos STL pueden proporcionar la faceta normal de cada triángulo que forma la malla, y otros no pueden. Según técnicas conocidas, las normales se pueden calcular si no se proporcionan en el archivo STL. En una realización alternativa de la invención, el algoritmo para generar un modelo 3D sólido procesa un archivo X3D.

La malla STL del diente se alinea para coordinar los ejes mediante la generación de un cuadro delimitador mínimo alineado con el eje de manera que la orientación y la escala del diente descrita por el archivo STL se pueden determinar en la etapa 331. Como alternativa, se puede utilizar un cuadro delimitador mínimo alineado arbitrariamente. Se crea una estructura de rejilla 3D de vóxeles a partir del cuadro delimitador mínimo en la etapa 332. El tamaño relativo de los cubos que componen la rejilla define la resolución de la rejilla. Para proporcionar una resolución adecuada para la unidad de control háptico, se elige una longitud de borde de 0,2 mm para cada cubo de la estructura de rejilla 3D.

Para determinar qué vóxeles, o puntos de datos, de la rejilla 3D están dentro de la malla de la superficie (y, por lo tanto, comprenden esencialmente el volumen del diente escaneado) y qué vóxeles se encuentran fuera de la malla de la superficie, un escaneo de ráster virtual o trazado de rayos a lo largo de cada línea de la rejilla de la rejilla 3D (es decir, a lo largo de cada borde de cada cubo de la rejilla 3D) en cada dirección x, y, z se hace para identificar los puntos en las líneas de la rejilla (es decir, bordes del cubo) que se cruzan con los triángulos de la malla STL. Una vez que se identifican los puntos de intersección, se identifican los puntos de datos en los vértices de los cubos que tienen puntos de intersección. Los vértices que están dentro de la malla STL se determinan utilizando las normales de faceta de los triángulos, cuyas direcciones indican el exterior de la malla de la superficie. Los vértices que se determina que están dentro de la malla STL identifican por consiguiente vóxeles que se considera que están dentro de la malla STL (etapa 333).

Las mallas STL deben estar cerradas para poder utilizarse en la práctica. Ya que la malla STL de un diente escaneado está 'abierto', es necesario aproximar una malla cerrada. Los puntos de intersección con trazado de rayos en dos dimensiones proporcionan datos suficientes para aproximar el cierre. Por ejemplo, si la abertura está en el plano z-y, el trazado de rayos en la dirección x puede producir solamente 1 punto de intersección (en lugar de dos, como sería el caso de una malla cerrada). Sin embargo, el trazado de rayos en las dimensiones z e y producirá dos puntos de intersección respectivamente y esto es suficiente para aproximar un cierre en el plano z-y.

Se utiliza una tabla de búsqueda como la descrita por el algoritmo original de cubos de marcha para proporcionar un conjunto de triángulos para un cubo según los vértices del cubo que están dentro y fuera de la malla STL. De esta manera, los puntos de intersección se utilizan para generar una nueva malla de superficie de triángulos que delimita los vóxeles ubicados dentro de la superficie STL (etapa 334). Esto crea una construcción virtual que define la

superficie exterior del modelo 3D para la representación gráfica y háptica. A diferencia de los triángulos de la superficie STL, la nueva superficie tiene una resolución especificada según el tamaño de los cubos en la rejilla 3D.

A los vóxeles que se han encontrado dentro de la malla STL se les asigna un valor de densidad en la etapa 335. Para la eficiencia computacional, a todos los vóxeles relevantes (es decir, aquellos dentro de la malla) se les asigna la misma densidad, cuyo valor denota esmalte. Cuando un estudiante perfora virtualmente el modelo 3D, la realimentación para el estudiante, controlada a través de la unidad de control háptico, será apropiada para simular la perforación del esmalte.

Sin embargo, los dientes se componen de "capas" de diferentes materiales que tienen diferentes densidades, y por lo que la densidad de un diente en particular varía a través de una sección transversal. En una realización alternativa, esta variación en la densidad se simula en un diente virtual como se utiliza en un programa de formación en la máquina de simulación de manera que cuando un dentista en formación realiza una perforación simulada, la respuesta de la unidad de control háptico de la máquina de simulación se ajusta según los valores de densidad asignados de la capa del diente que se está perforando. Para hacer esto, a los diferentes vóxeles se les asignan diferentes valores de densidad dependiendo de su ubicación. Por ejemplo, a los vóxeles ubicados hacia la capa exterior del modelo 3D se les pueden asignar valores de densidad de esmalte, pero a los vóxeles ubicados más hacia el centro del diente se les puede asignar un valor de densidad consistente con la dentina, que es más suave que el esmalte. De esta manera, el modelo 3D tiene datos de densidad consistentes con la estructura de un diente de manera que la simulación de la perforación en el diente sea realista. Una vez que se han asignado los valores de densidad, el modelo 3D se puede cargar en una máquina 100 de simulación dental.

Algunos escáneres intraorales proporcionan datos de color. En una realización, los datos de color se aplican a la superficie del modelo 3D según los datos de escaneo. Los datos de color también se pueden aplicar a vóxeles para representar más de cerca el interior de un diente.

Las Figuras 5a, 5b, 6a y 6b muestran un conjunto de cuatro dientes, uno de los cuales requiere una corona de reemplazo. Durante una simulación, es posible que se requiera que un estudiante perfore alrededor de la base de la corona 543 y 643 para proporcionar una muesca en la que se pueda asegurar una nueva corona (no mostrada) (como se muestra en la Figura 4). Las Figuras 5a y 5b muestran mallas superficiales de un conjunto de cuatro dientes 542 y 642 que incluyen triángulos 544 y 644 generados utilizando los puntos de intersección. Las Figuras 5b y 6b muestran los correspondientes modelos 3D en escala de grises terminados.

Cuanto mayor sea el área escaneada por un escáner intraoral (es decir, cuanto mayor sea el número de dientes), mayor será el requisito de procesamiento para generar un modelo 3D de la manera descrita con referencia a la Figura 3. En una realización, una región de interés de un escaneo representada mediante un STL se puede extraer para el procesamiento para crear un modelo 3D, es decir, solamente se utiliza una parte del archivo STL. Por ejemplo, un técnico dental, un mentor o un tutor puede revisar la imagen proporcionada por el archivo STL para determinar que solamente se necesita uno de una pluralidad de dientes escaneados. La Figura 7 muestra un modelo 3D 700 de un conjunto de tres dientes que se ha generado a partir de un archivo STL que incluía más dientes.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un método implementado por ordenador para generar un modelo 3D para simulación dental, que comprende:
la lectura de un archivo STL que describe la superficie de un objeto 3D como una malla de triángulos que tiene un volumen (330), por lo que dicho objeto 3D representa uno o más dientes reales;
- 5 la generación de una rejilla de vóxeles que abarque el objeto 3D, en donde la rejilla de vóxeles contiene una pluralidad de vóxeles (332);
la identificación de un subconjunto de vóxeles de la pluralidad de vóxeles que se encuentran dentro del volumen del objeto 3D, en donde la identificación del subconjunto comprende:
10 el escaneo ráster de cada línea de rejilla de la rejilla de vóxeles para identificar puntos en las líneas de rejilla que se cruzan con los triángulos de superficie Objeto 3D (333),
la identificación de vóxeles en vértices de cubos que tienen puntos de intersección,
la determinación de cuáles de dichos vértices están dentro de la malla de triángulos utilizando las normales de faceta de los triángulos de superficie, y
15 la identificación de dicho subconjunto de vóxeles como los vóxeles en aquellos vértices que se determinan que están dentro de la malla de triángulos.
la generación de una malla de superficie triangulada utilizando dichos puntos de intersección, en donde la malla de superficie triangulada rodea el subconjunto de vóxeles y define la superficie exterior del modelo 3D (334);
la asignación de un valor de densidad a cada vóxel en el subconjunto de vóxeles, en donde el subconjunto de vóxeles define el volumen sólido del modelo 3D, en donde diferentes vóxeles en el subconjunto de vóxeles tienen
20 diferentes valores de densidad (335);
la carga del modelo 3D en una máquina de simulación dental.
- 2.- El método de la reivindicación 1, en donde el archivo es un archivo STL.
- 3.- El método de la reivindicación 2, en donde el archivo describe la geometría de la superficie de uno o más dientes reales.
- 25 4.- El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende además el envío del modelo 3D a un dispositivo de visualización en una máquina de simulación dental.
- 5.- El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende además la carga del modelo 3D en un programa de simulación.
- 30 6.- El método de cualquier reivindicación anterior, en donde el volumen de cada cubo en la rejilla de vóxeles es de 0,2 mm³.
- 7.- El método de cualquier reivindicación anterior, en donde la etapa de la generación de una rejilla de vóxeles comprende la generación de un cuadro delimitador mínimo alineado con el eje alrededor del objeto 3D.
- 8.- El método de la reivindicación 1, en donde la generación de una superficie comprende el uso de los puntos de intersección.
- 35 9.- El método de cualquier reivindicación anterior, que comprende además la extracción de una parte del archivo STL y la generación de un modelo 3D basándose únicamente en la parte seleccionada.
- 10.- Un Medio de almacenamiento legible por máquina que almacena instrucciones que, cuando son ejecutadas por un procesador, realizan el método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.
11. Un sistema que comprende
40 medios adaptados para generar un modelo 3D según cualquiera de las reivindicaciones 1-9; una máquina de simulación dental que comprende medios adaptados para seleccionar dicho modelo 3D generado y utilizarlo en un programa de software de formación en odontología;
medios para mostrar en una pantalla de visualización, durante la ejecución de un programa de formación, el modelo 3D seleccionado.
- 45 12.- El sistema de la reivindicación 11, en donde la máquina de simulación dental comprende además medios para generar instrucciones para modificar el modelo 3D durante la ejecución del programa de formación.
- 13.- Un dispositivo configurado para realizar el método de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9.

Figura 1

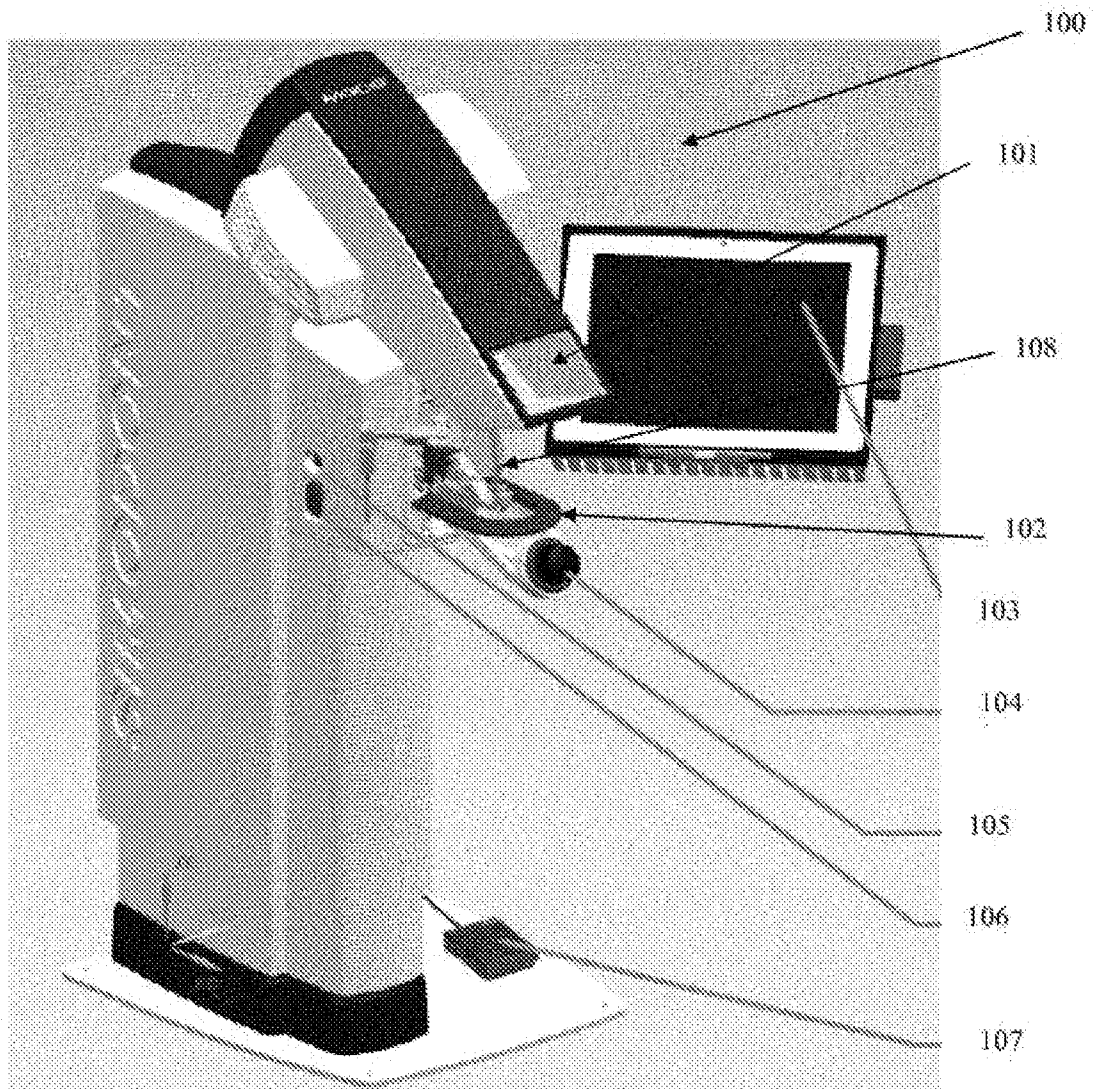


Figura 2

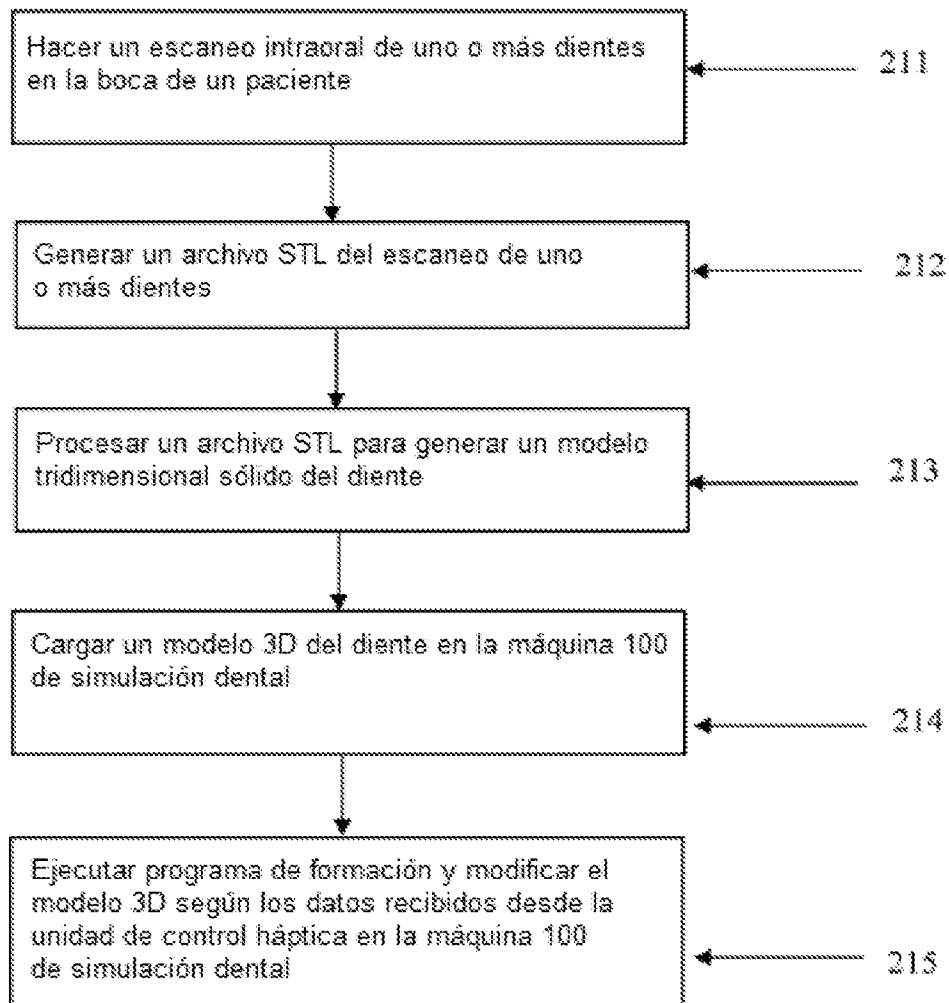


Figura 3

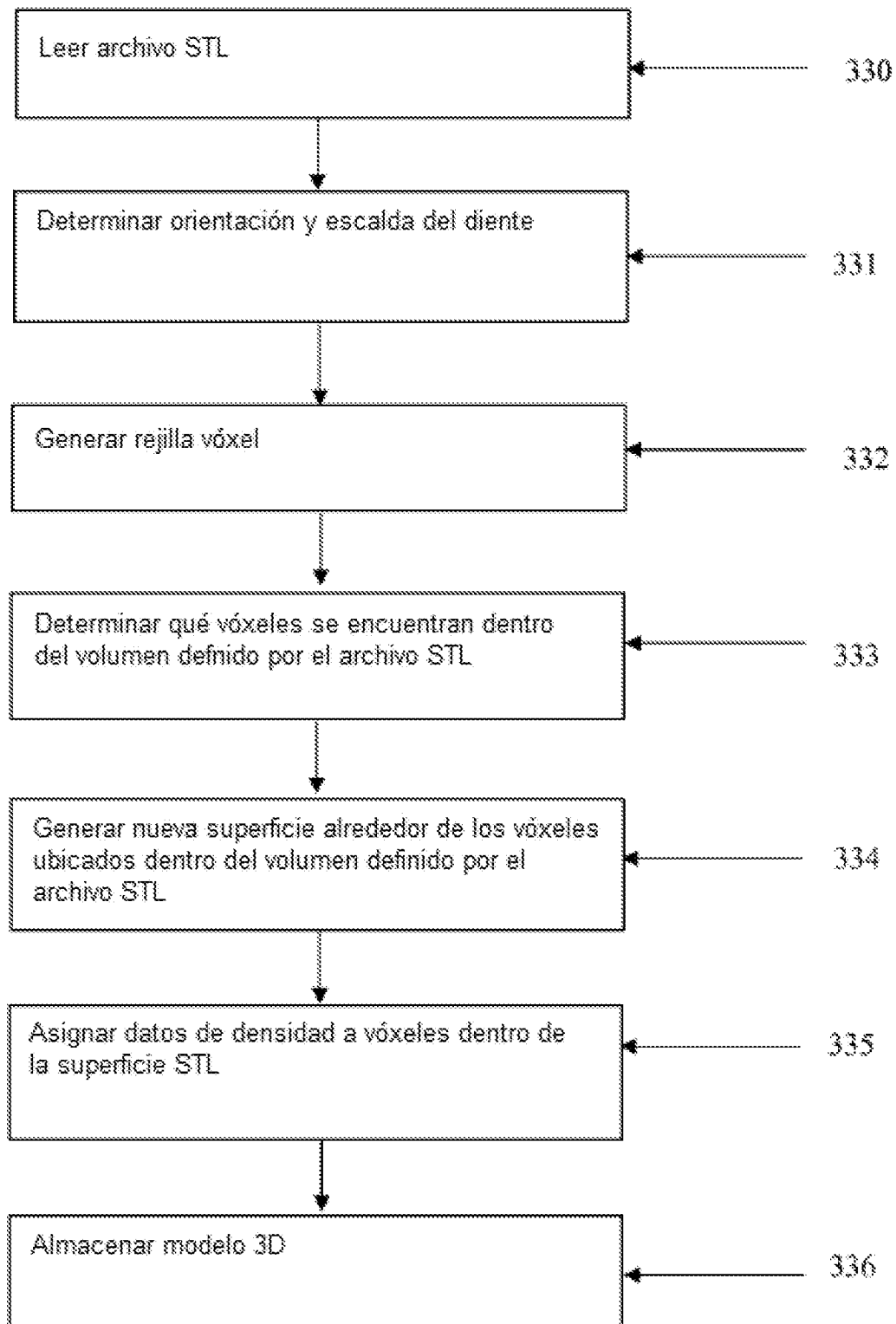


Figura 4

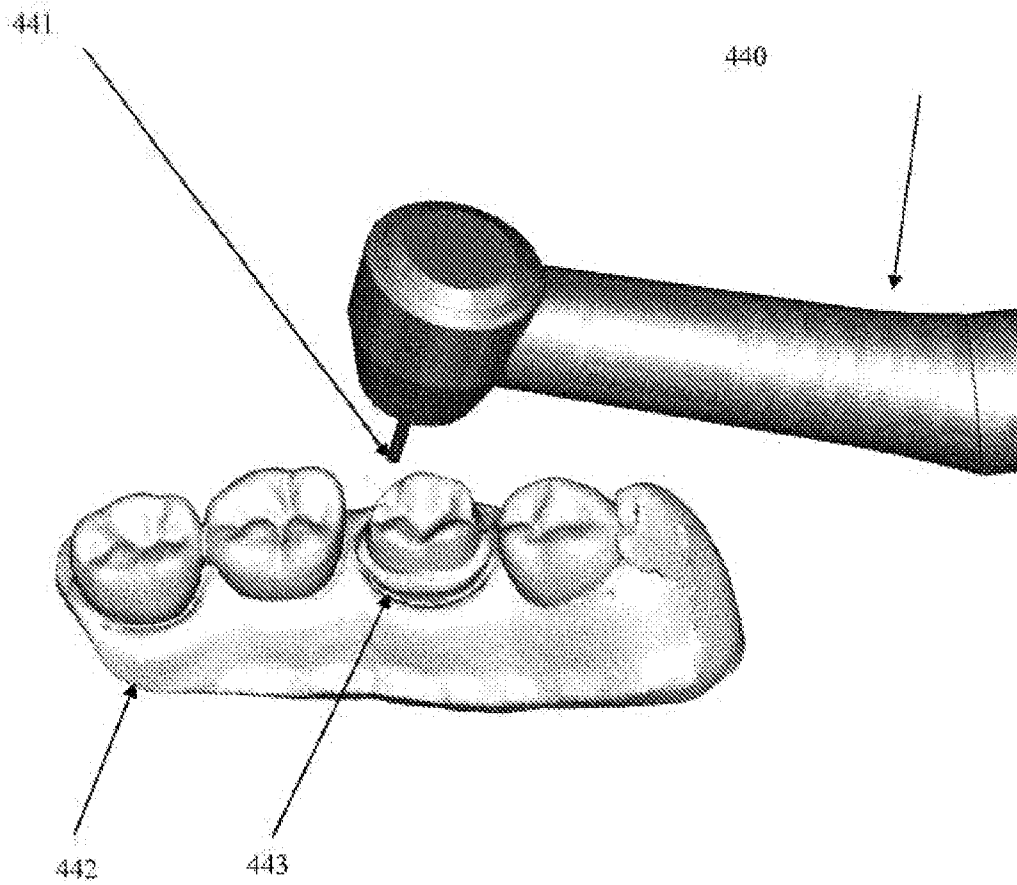


Figura 5a

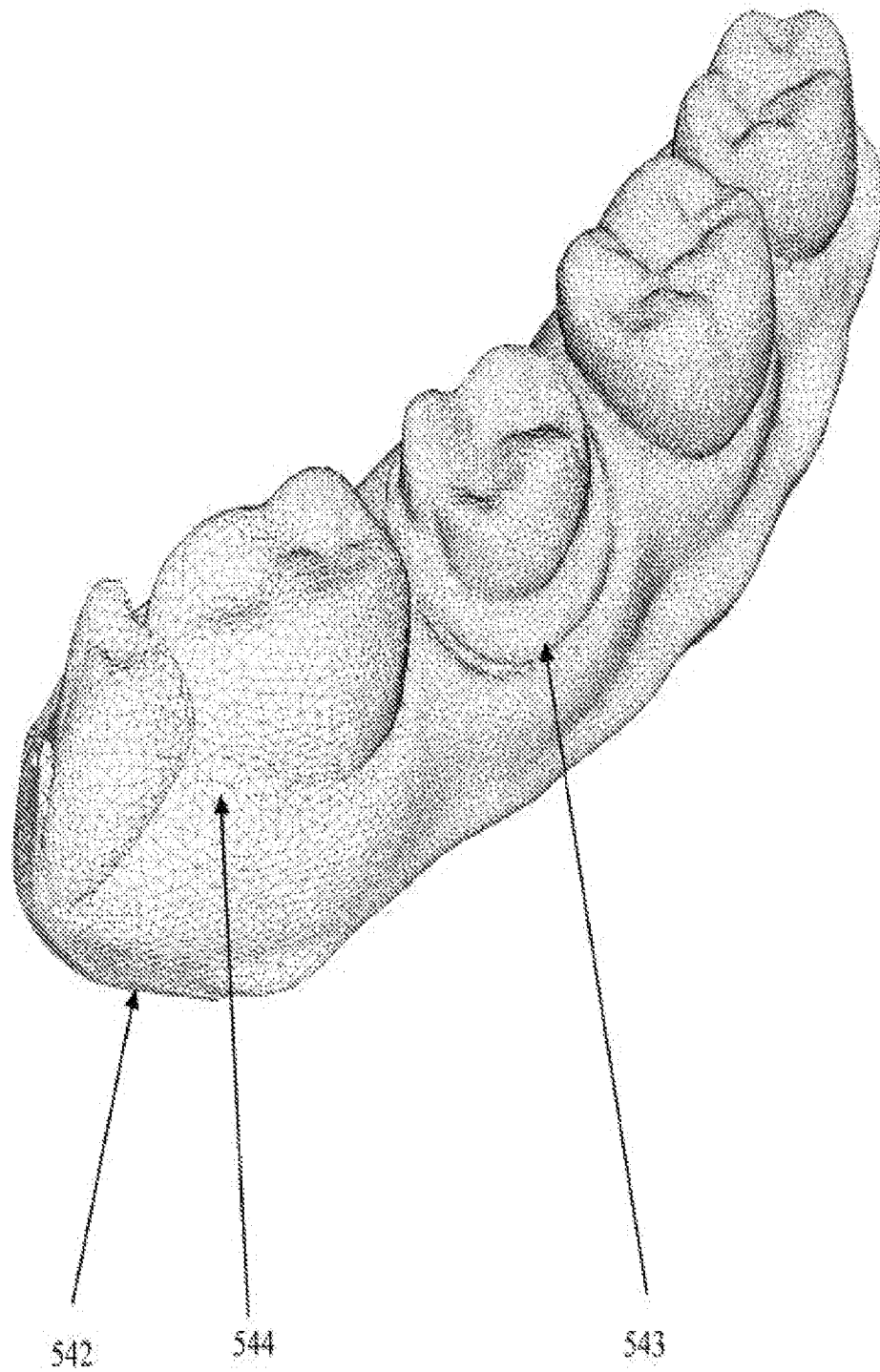


Figura 5b

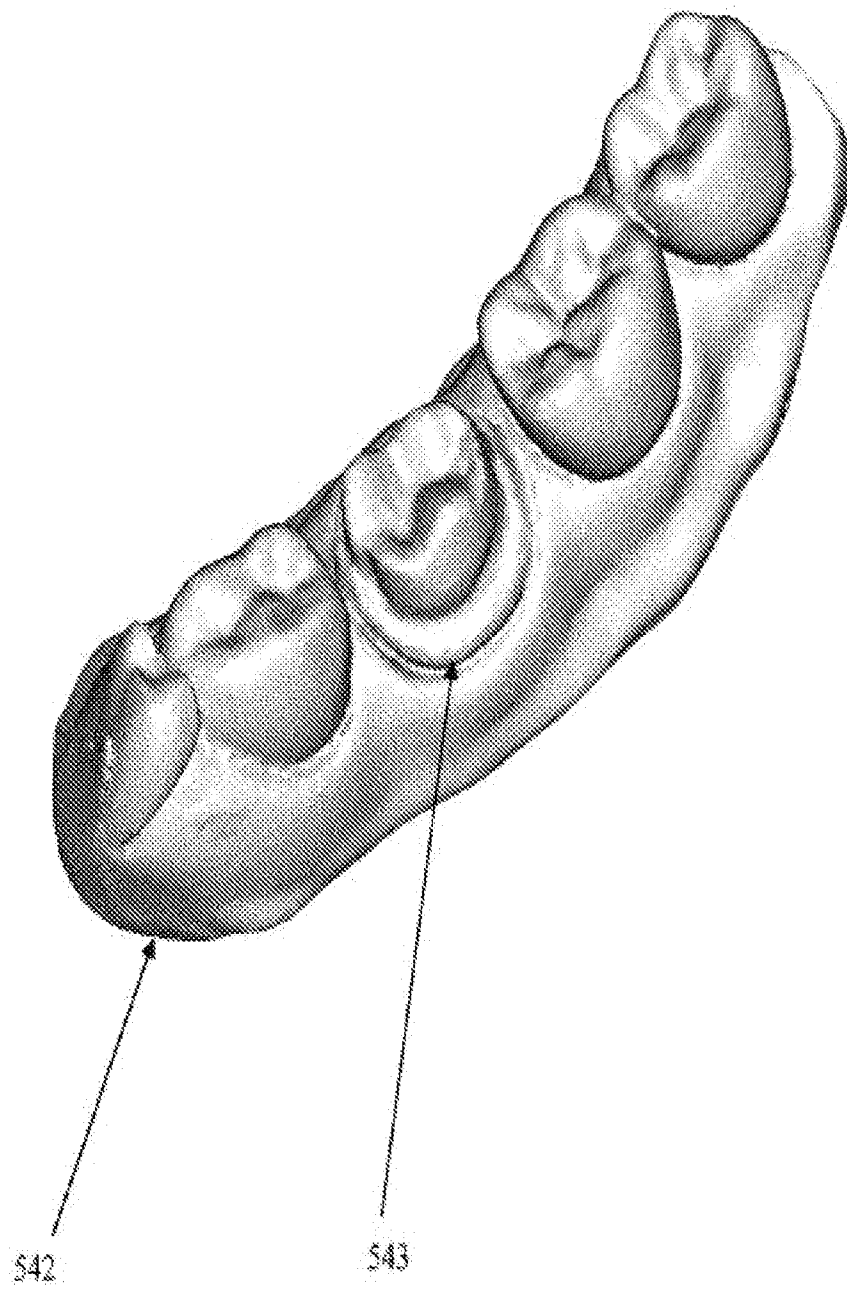


Figura 6a

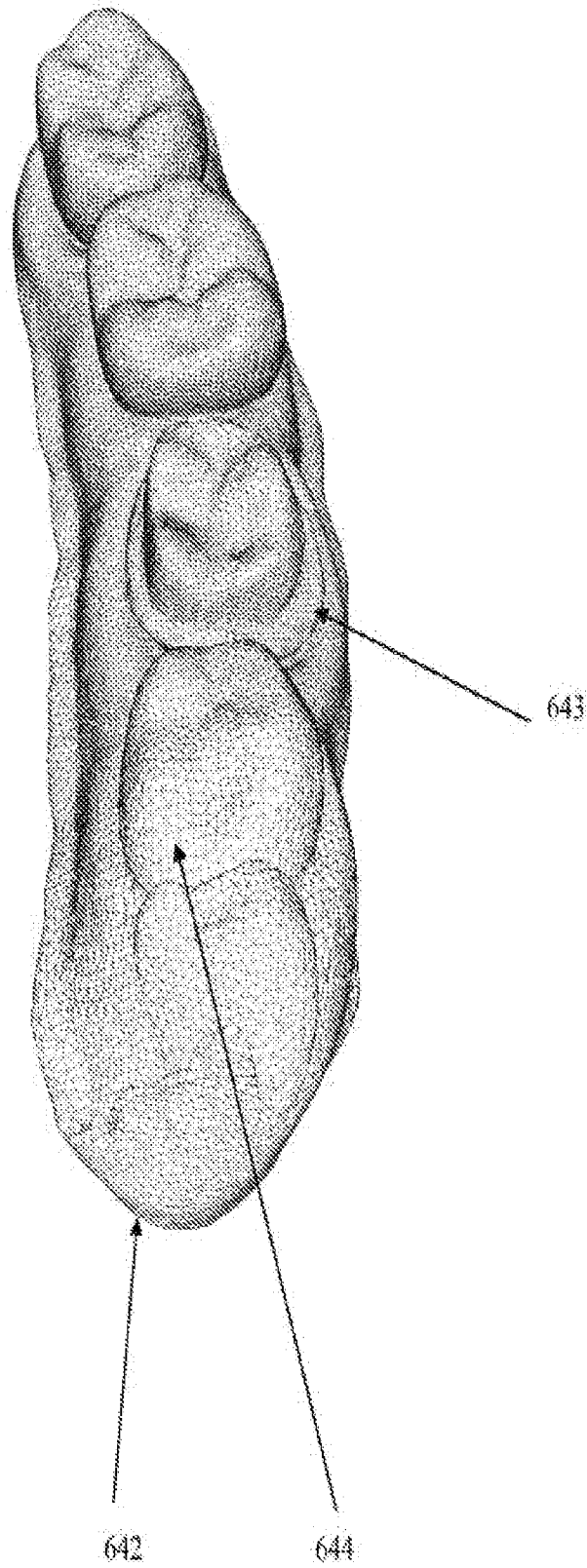


Figura 6b

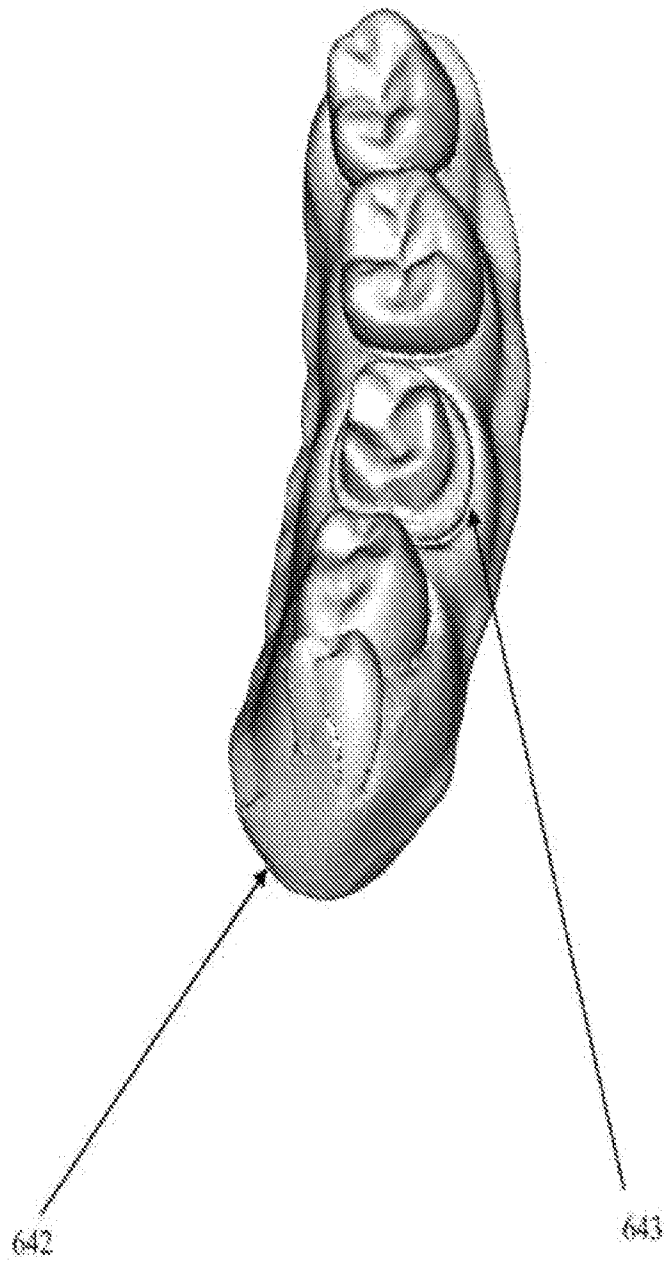


Figura 7

