(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 983 840**

(21) Número de solicitud: 202330235

(51) Int. CI.:

G16H 20/40 (2008.01)
G06T 19/00 (2011.01)

(12) PATENTE DE INVENCIÓN CON EXAMEN B2

(22) Fecha de presentación:

21.03.2023

(43) Fecha de publicación de la solicitud:

24.10.2024

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

24.01.2025

Fecha de concesión:

12.05.2025

(45) Fecha de publicación de la concesión:

20.05.2025

(73) Titular/es:

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CSIC) (50.00%)
C/ Serrano, 117
28006 Madrid (Madrid) ES y
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA (50.00%)

(72) Inventor/es:

BURGOS OLMOS, Manuel Antonio y
BASTIR, Markus

(74) Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

(54) Título: **PROCEDIMIENTO IMPLEMENTADO POR ORDENADOR PARA LA OBTENCIÓN DE MODELOS TRIDIMENSIONALES DE CAVIDADES NASALES CON PARÁMETROS FUNCIONALES ESPECIFICADOS**

(57) Resumen:

Procedimiento para la obtención de modelos tridimensionales de cavidades nasales con parámetros funcionales especificados.

Se trata de un procedimiento que permite reconstruir la geometría de una cavidad nasal y que logra que esta tenga unos determinados parámetros funcionales previamente especificados, partiendo de la geometría correspondiente a la cavidad nasal patológica. El procedimiento comprende las etapas de: obtención de una superficie tridimensional Si3D que representa la cavidad nasal patológica de un usuario que presenta una patología nasal; obtención de n parámetros funcionales y m parámetros geométricos de la Si3D; selección de una cavidad nasal sana que cumple que tiene los parámetros funcionales más cercanos a los parámetros funcionales de la Si3D, y los parámetros geométricos compatibles anatómicamente con la Si3D; y obtención de una cavidad nasal modificada transformando la Si3D en la cavidad nasal sana.

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 983 840 B2

DESCRIPCIÓN

PROCEDIMIENTO IMPLEMENTADO POR ORDENADOR PARA LA OBTENCIÓN DE MODELOS TRIDIMENSIONALES DE CAVIDADES NASALES CON PARÁMETROS FUNCIONALES ESPECIFICADOS

OBJETO DE LA INVENCIÓN

El procedimiento implementado por ordenador para la obtención de modelos tridimensionales de cavidades nasales con parámetros funcionales especificados, objeto de la presente invención, encuentra aplicación en el sector de la otorrinolaringología, la cirugía nasal y el diagnóstico nasal, y pertenece al sector del tratamiento de datos digitales para el modelado o simulación de una estructura biológica, concretamente, para la cavidad nasal.

Un objeto de la invención consiste en proporcionar un procedimiento capaz de reconstruir la geometría de una cavidad nasal y que ésta tenga unos determinados parámetros funcionales previamente especificados, partiendo para ello de la geometría de la correspondiente cavidad nasal patológica. Esta cavidad reconstruida puede ser utilizada como modelo por el especialista médico para reconstruir la cavidad nasal patológica mediante cirugía real.

Así mismo, es objeto de la invención proporcionar un modelo tridimensional único, correspondiente a la reconstrucción de la cavidad nasal de un paciente con unos parámetros funcionales especificados, a partir del modelo de su cavidad nasal, donde dicho modelo es capaz de proporcionar una pluralidad de parámetros representativos de su morfología y funcionalidad con medidas indicativas para el diagnóstico clínico otorrinolaringológico de la existencia de alguna patología nasal.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

Los modelos 3D virtuales de estructuras/órganos anatómicos a partir de tomografías (Tomografía Computarizada - CT Scan, Resonancia Magnética - RMS, Cone Beam - CB, …) se utilizan en multitud de centros de investigación y hospitales con objetivos diagnósticos y para la planificación quirúrgica. También en casos de cirugía por obstrucción nasal estos métodos se han convertido en una técnica habitual para la ayuda al especialista médico y al investigador.

Sin embargo, con respecto a la planificación quirúrgica, estos modelos por sí mismos no proporcionan información objetiva sobre cómo afectarían las modificaciones morfológicas de una cirugía a su funcionamiento fisiológico. Estas intervenciones quirúrgicas son realizadas por el especialista médico (usuario) en base a su experiencia, conocimiento e intuición y de forma totalmente subjetiva. Esto indica que no existe actualmente ninguna técnica que proporcione al usuario información sobre cómo deberían de ser esas transformaciones. Al mismo tiempo, el resultado de esas trasformaciones que realiza el usuario carece de información objetiva y funcional que permita cuantificar las potenciales mejoras que supondría una intervención quirúrgica real en un paciente.

La Mecánica de Fluidos Computacional (MFC) y las técnicas de Cirugía Virtual (CV) permiten al usuario diagnosticar la función fisiológica, realizar transformaciones quirúrgicas virtuales y cuantificar sus resultados, permitiendo realizar comparaciones entre antes y después de las transformaciones. De esta manera se proporciona información objetiva y cuantitativa al usuario, optimizando así la toma de decisiones para la cirugía real.

Sin embargo, ninguna de estas dos técnicas (MFC y CV) proporciona al usuario información de cómo, anatómicamente, deberían de ser esas transformaciones, es decir, de cómo deberían de ser las transformaciones de la geometría de la cavidad nasal para que esta cumpla unos determinados parámetros funcionales previamente especificados.

Las técnicas de morfometría geométrica en 3D (MG-3D) permiten cuantificar las relaciones espaciales 3D de estructuras anatómicas extraídas de los modelos tridimensionales generados a partir de las tomografías computarizadas o similares. Al mismo tiempo permiten deformar en 3D estos modelos con criterios cuantitativos y preestablecidos. De esta manera, el resultado final de un modelo 3D deformado mediante MG-3D cumple una serie de requerimientos específicos.

La morfometría geométrica podría proporcionar información clave al cirujano especialista otorrinolaringólogo (ORL) que hasta ahora solo se ha guiado por las técnicas de MFD y de CV. Las simulaciones MFC y la cirugía virtual, aunque proporcionan una información que resulta ser un gran progreso respecto a la información que hasta ahora tenía el especialista ORL, no dejan de ser análisis del estado del paciente o de situaciones que genera el propio especialista ORL basadas en su conocimiento. Es decir, podemos analizar el flujo del aire en el interior de la cavidad nasal del paciente, el cirujano puede hacer cirugía virtual y entonces le proporcionamos los resultados que supone esa cirugía.

Sin embargo, en ningún momento estas técnicas sugieren al cirujano cual sería la cirugía más adecuada para ese paciente, es decir, cómo, anatómicamente, tendrían que ser las transformaciones quirúrgicas y la geometría de la cavidad nasal de ese paciente para corregir de forma óptima la patología que tiene.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN

El procedimiento implementado por ordenador para la obtención de modelos tridimensionales de cavidades nasales con parámetros funcionales especificados, objeto de la presente invención, supone una mejora frente a lo conocido en el estado del arte, puesto que consigue proporcionar al especialista médico o cirujano no sólo el análisis funcional de la cavidad nasal del paciente, sino que también proporciona la geometría del modelo tridimensional de la cavidad nasal del paciente que cumple satisfactoriamente con unos parámetros funcionales previamente establecidos por el propio especialista médico.

Si estos parámetros funcionales mejoran el flujo de la cavidad nasal original del paciente, el modelo tridimensional propuesto por la invención permitirá al especialista utilizarlo como modelo “guía” para reproducir/copiar en la cirugía nasal real.

El procedimiento se basa en la combinación de las tres técnicas de Mecánica de Fluidos Computacional (MFC), Cirugía Virtual (CV) y Morfometría Geométrica 3D (MG-3D) en una única herramienta, para que juntas proporcionen al especialista médico una solución completa y objetiva, e individualizada al paciente. El presente procedimiento le permite al otorrinolaringólogo (ORL) optimizar tanto el diagnóstico como la cirugía real, y al mismo tiempo que estos resultados no dependan solamente de la subjetividad y de la experiencia y conocimiento que tenga el propio cirujano.

Particularmente, el procedimiento de la invención comprende una serie de etapas, que se describen a continuación:

- obtener una superficie tridimensional, que representa la estructura anatómica correspondiente, en este caso la cavidad nasal patológica de un paciente,
- obtención de unos parámetros funcionales de la cavidad nasal patológica, concretamente n parámetros funcionales, que pueden comprender al menos un parámetro que mide la simetría del flujo nasal y un parámetro que mide la resistencia que ofrece la cavidad nasal al paso de una cantidad de aire por su interior, y m parámetros geométricos, que pueden comprender al menos la longitud, anchura y volumen de la cavidad nasal,

- distribución de unas referencias o landmarks en la cavidad nasal patológica, que representan y definen los aspectos geométricos, anatómicos y funcionales más importantes de la estructura anatómica correspondiente, y que al menos deben comprender unas referencias en la zona de la entrada que delimitan los orificios centrales y la zona posterior (isthmus) y la región del acondicionamiento de aire, que contiene tanto el tabique nasal como los cornetes,
- selección en una base de datos, que contienen un conjunto de cavidades nasales sanas definidas por sus parámetros funcionales y geométricos, de una cavidad nasal sana que tenga los parámetros funcionales lo más cercanos a los establecidos y unos parámetros geométricos compatibles (anatómicamente) con la cavidad nasal patológica,
- modificación de la superficie nasal patológica para hacerla lo más compatible con la cavidad nasal sana, modificando, por ejemplo, solamente el parámetro geométrico longitud, pero sin alterar el resto de los parámetros geométricos y funcionales, y
- representación de las transformaciones a las que es necesario someter a la cavidad nasal patológica para transformarla en la cavidad nasal sana, para guiar al especialista en la cirugía.

En caso de que sea necesario, cuando se considera que la cavidad nasal resultante no es apta para copiar en una cirugía real, la cavidad nasal transformada será sometida a una serie de transformaciones manuales adicionales de su geometría con el objetivo de hacerla útil para la cirugía real. Estas transformaciones se llevarán a cabo directamente sobre el modelo tridimensional de la superficie de la cavidad nasal mediante técnicas de cirugía virtual (CV) superficial y tridimensional y sus resultados será evaluados calculando sus correspondientes parámetros funcionales.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra una vista de la cavidad nasal de un paciente con alguna patología nasal.

Figura 2.- Muestra una representación de la cara del paciente.

Figura 3.- Muestra una representación de la máscara dispuesta frente a la cara del paciente.

Figura 4.- Muestra una representación de la longitud de la cavidad nasal.

Figura 5.- Muestra una representación de la anchura de la cavidad nasal.

Figura 6.- Muestra una presentación del volumen de la cavidad nasal.

Figura 7.- Muestra una representación de las referencias (landmarks) posicionadas en la cavidad nasal.

Figura 8.- Muestra una cara de un paciente (centro) en la que se transforma la anchura de la nariz hacia un mayor (izquierda) o menor diámetro (derecha).

Figura 9.- Muestra una representación de cómo se debe modificar la superficie de la cavidad nasal patológica para resolver la patología del paciente según el procedimiento de la invención.

Figura 10A-10C.- Muestran la morfología de un tabique nasal, antes de la transformación (A), después de la transformación (B) y ambos tabiques superpuestos (C).

Figura 11A-11B.- Muestran las referencias posicionadas en el tabique nasal antes de la transformación (A) y después de la transformación (B).

Figuras 12A-12C.- Muestran la morfología original de unos orificios nasales (A) antes de aplicar el procedimiento de la invención, la morfología de los orificios final (B) y la superposición de ambos (C).

Figuras 13A-13C.- Muestran las referencias dispuestas antes de la transformación (A), en unos orificios nasales de referencia (B) y en la transformación final (C).

Figuras 14A-14C.- Muestran la morfología original de unos cornetes inferiores e intermedios (A), los cornetes después de la transformación (B) y la superposición de ambas imágenes A y B (C).

Figuras 15A-15C.- Muestran la posición de las referencias en los cornetes en su posición original (A), en su posición objetivo (B) y tras la transformación (C).

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCIÓN

Se describe a continuación, con ayuda de las figuras 1 a 15, una realización preferente del procedimiento implementado por ordenador para la obtención de modelos tridimensionales de cavidades nasales con parámetros funcionales especificados, objeto de la presente invención. El procedimiento de la invención comprende una serie de etapas, que se describen en detalle a continuación.

Una primera etapa consiste en obtener una superficie tridimensional, Si3D de aquí en adelante, que representa la cavidad nasal (1) de un paciente que sufre una patología a corregir. El punto del que se parte es una Si3D formada por elementos planos (triángulos, cuadrados, etc.) que representa la geometría tridimensional de la cavidad nasal (1) de un paciente que tiene algún tipo de patología nasal (obstrucción/congestión nasal, rinitis, poliposis, desviaciones del tabique nasal, hipertrofia de los cornetes, sinusitis, tumores, etc.), aunque el procedimiento podría adaptarse para otras patologías y otras estructuras anatómicas.

La cavidad nasal (1), que se muestra en la figura 1, se define como el espacio que hay dentro de la nariz y que es recorrido por el aire al respirar durante las fases de inspiración y espiración. El origen desde donde se ha obtenido la superficie tridimensional Si3D que representa a la cavidad nasal (1) puede ser una Tomografía Computarizada (CT Scan) o similar (cone beam, Resonancia Magnética Nuclear, Ecografía, etc…), a partir del cual se obtiene la superficie de la estructura anatómica mediante técnicas, por ejemplo, de segmentación. También podría obtenerse por otros métodos.

El modelo 3D de la cavidad nasal (1) deberá tener la precisión y resolución anatómica adecuada para que el resto de los pasos involucrados en el procedimiento de la invención puedan realizarse correctamente. Cabe destacar:

- Debe representar fielmente la geometría de la correspondiente cavidad nasal (1), así como de los elementos anatómicos fundamentales y precisos que representen fielmente la patología nasal.
- La superficie tridimensional Si3D deberá tener los elementos geométricos auxiliares y adecuados para poder realizar correctamente el cálculo de los parámetros mencionados en el siguiente paso. Por ejemplo, en el caso de la cavidad nasal (1), formará parte del modelo de la superficie tridimensional Si3D de partida la propia cara del paciente (2), como se muestra en la figura 2, y una máscara (3) que se coloca frente a la

representación de la cara del paciente (2), como se representa en la figura 3. De esta forma el cálculo de los parámetros funcionales será mucho más realista.

Unos medios de procesamientos serán los encargados de obtener esta geometría. En el caso de que la superficie tridimensional Si3D de partida no incluya la cara (2) y/o la máscara (3), los medios de procesamiento se encargarán de generar estos elementos.

Una segunda etapa consiste en la obtención de los parámetros funcionales de la Si3D. Cada Si3D deberá de ser definido por n parámetros funcionales (P_1, P_2, …, P_n) y por m parámetros geométricos (G_1, G_2, …, G_m), que identificarán la geometría, la patología y la funcionalidad de la estructura anatómica correspondiente. El número y definición de estos parámetros dependerá tanto de la estructura anatómica analizada como de su patología. En el caso de la cavidad nasal (1) y de la obstrucción nasal, se eligen n=2 parámetros funcionales y m=3 parámetros geométricos de proporción general.

Los dos parámetros funcionales elegidos para identificar la funcionalidad de la cavidad nasal (1) definida por su modelo Si3D se calculan mediante técnicas de Mecánica de Fluidos Computacionales (MFC). Estas técnicas permiten simular el flujo del aire en el interior de una superficie tridimensional.

Estos parámetros funcionales son:

- P1: Parámetro que mide la simetría del flujo nasal, es decir, cuanta cantidad de aire circula por cada uno de los orificios nasales.

$$P_1 = \frac{Q_{min}}{Q_{max}},$$

en donde Q_{max} y Q_{min} son los caudales máximo y mínimo que circulan por los orificios nasales.

- P2: Parámetro que mide la resistencia que ofrece la cavidad nasal (1) al paso de una determinada cantidad de aire por su interior

$$P_2 = \frac{\Delta P}{(Q_{max} + Q_{min})},$$

en donde ΔP es la diferencia de presiones entre el exterior de la cavidad nasal (1) y una zona interior. Esta zona interior dependerá de la estructura anatómica y de su patología. En el caso de la cavidad nasal (1) y de la obstrucción nasal esta zona será la coana.

Los tres parámetros geométricos de proporción general del modelo Si3D para definir la geometría de la cavidad nasal (1) son:

- Longitud (G1 = L) de la cavidad nasal (1), representada en la figura 4, es la medida desde la punta de la nariz hasta el final de la nasofaringe, y siguiendo la curvatura media en dirección coronal de la cavidad nasal (1).
- Anchura (G2 = A) de la cavidad nasal (1), mostrada en la figura 5, se mide aproximadamente en la zona central de los senos maxilares, pero sin incluir a estos.
- Volumen (G3 = V) del interior de la cavidad nasal (1), señalado en la figura 6, se mide desde los orificios nasales hasta el final de la nasofaringe, y sin incluir a los senos paranasales (maxilares, etmoidales, frontales y esfenoidales).

Una tercera etapa del procedimiento consiste en la distribución de unas referencias (4) o landmarks en la Si3D. Esta etapa consiste en la medición 3D de la Si3D mediante técnicas de morfometría geométrica en 3D (MG-3D), que consisten en localizar y marcar una serie de referencias (4) sobre la superficie de la Si3D y que previamente han sido establecidos en número y posición.

Son puntos estratégicamente seleccionados, con criterios de anatomía y fisiología, sobre la superficie tridimensional del modelo Si3D, que con sus coordenadas cartesianas (x, y, z) tratarán de representar e identificar los aspectos geométricos, anatómicos y funcionales más importantes de la estructura anatómica correspondiente.

La distribución de las referencias (4) está previamente establecida y depende fundamentalmente de la estructura anatómica correspondiente, de la patología que se quiere analizar y de la funcionalidad que se desee definir. Esta distribución de puntos, que se muestra en detalle en la figura 7, es una distribución que puede variar, ya que se van ajustando (número de puntos y posición) a medida que aumenta el número de cavidades nasales (1) analizadas (con o sin patología) y con el objetivo de mejorar los resultados precisando en regiones anatómicos de especial interés, en función de las diagnosis.

De la manera más general, a la hora de posicionar las referencias (4) se distingue entre dos regiones funcionales fundamentales:

1) la zona de la entrada de la cavidad nasal (1) cuya configuración está determinada por referencias (4) que delimitan los orificios centrales y la zona posterior (isthmus), y

2) la región del acondicionamiento de aire, que contiene tanto el tabique nasal como los cornetes.

La configuración del tabique incluye referencias (4) en el plano sagital, entre espina nasal anterior y posterior, así como la junta entre vómer y esfenoides en la base exocraneal (pero endo-nasal), y el límite anterior de la lámina vertical del etmoides. Las referencias (4) anatómicas de los cornetes definen sus extremos anteriores y posteriores, así como las curvas de los bordes superiores.

El procedimiento se concentra la configuración 3D de los cornetes inferiores e intermedios. Entre los puntos clave se encuentran referencias (4) de superficie. La selección de una configuración determinada de las referencias (4) respeta la localización concreta de la patología diagnosticada previamente en su caso, por lo que puede ser modificada.

Ejemplos adicionales para referencias (4) relevantes incluyen puntos tan importantes para la cavidad nasal (1) como la columela, la espina nasal anterior y posterior, la coana inferior y superior, así como referencias (4) de curvas y superficies en 3D en relación con los meatos inferiores, intermedios y superiores, y el septum nasal, entre otras referencias (4). Se añaden otras referencias (4) en función de la patología.

Además, se dispone de una base de datos de referencias (4) obtenida de Si3D correspondientes a cavidades nasales (1) de distintos tamaños y formas y sin patologías nasales (que se denominarán “sanas”), previamente medidas, digitalizadas y que ponen en relación estadística la cavidad nasal (1) patológica con las cavidades nasales (1) sanas.

Esta base de datos de referencia dispone también de los parámetros funcionales y geométricos discutidos en la etapa 2. Esta base de datos de cavidades nasales (1) sin patologías es una base de datos dinámica que sigue creciendo a medida que se dispone de más cavidades nasales (1) sin patologías o cavidades nasales (1) sanas. En la figura 7 se muestra cómo sería una distribución inicial de referencias (4) sobre una superficie tridimensional Si3D de una cavidad nasal (1).

Como resumen de las etapas 1 a la 3, en la etapa 4 se dispone de:

- la geometría tridimensional de la superficie Si3D correspondiente a una cavidad nasal (1) que tiene una determinada patología nasal (que designaremos como “enferma”), ha sido medida mediante MFC y MG-3D y por tanto está definida por los parámetros funcionales (CFM), geométricos (de proporción general) y morfo-geométricos, es decir, por las referencias (4) (MG-3D). Se designarán en adelante como Si3D-P, y tendrá

unos parámetros funcionales P_{1P}, P_{2P}, unos parámetros geométrico-proporcionales L_P, A_P y V_P, y un conjunto de referencias (4).

- Base de datos de referencia de superficies tridimensionales correspondientes a cavidades nasales (1) sin patologías (“sanas”) que han sido previamente medidas y definidas por referencias (4) y por unos parámetros funcionales y geométricos.

Como se ha indicado anteriormente, el objetivo final del procedimiento es obtener, a partir de una cavidad nasal (1) con una determinada patología nasal, una cavidad nasal (1) que tenga unos parámetros funcionales que se correspondan con los que tendría una cavidad nasal sin patología.

Este objetivo se consigue al transformar la cavidad nasal (1) patológica, virtualmente en una cavidad nasal (1) sana en una quinta etapa del procedimiento. La cavidad nasal (1) con patología nasal es la Si3D-P. La cavidad nasal (1) sin patología tendrá la configuración de referencias (4) de una de las disponibles en base de datos. Particularmente la cavidad nasal (1) sana puede ser: i) o bien la que este geo-morfométricamente más próximo a la geometría de Si3D-P (transformación mínima) ii) o bien, la que tenga una geometría correspondiente al promedio de la muestra de referencia (máxima transformación).

Por tanto, a partir de esta cavidad nasal (1) sana se obtienen los parámetros funcionales (P_{1F}, P_{2F}) que se desea que tengan la cavidad nasal (1) Si3D-P después de acabar todo el procedimiento. Para ello, como se ha indicado, en una cuarta etapa, se selecciona en la base de datos, una cavidad nasal (1) sana de la base de datos de referencia que tenga los parámetros funcionales lo más cercanos a los establecidos P_{1F}, P_{2F}, y unos parámetros geométricos compatibles (anatómicamente) con la Si3D-P.

A esta cavidad nasal (1) seleccionada de la base de datos se la designa en adelante Si3D-S, y tendrá unos parámetros funcionales P_{1s}, P_{2s} y unos parámetros geométricos L_s, A_s y V_s.

A continuación, en la quinta etapa del procedimiento, se transforma, la superficie Si3D-P (P_{1P}, P_{2P}, L_P, A_P y V_P) en otra superficie tridimensional (la sana previamente simulada), utilizando como objetivo de la transformación a la superficie Si3D-S (P_{1S}, P_{2S}, L_S, A_S y V_S). Para ello se utilizan técnicas de morfometría geométrica en 3D (MG-3D).

Estas técnicas permiten cuantificar las relaciones espaciales 3D de superficies tridimensionales, que representan a estructuras anatómicas extraídas de los modelos

tridimensionales generados a partir de las CT Scan o similares. Al mismo tiempo, permiten deformar en 3D estas superficies con criterios cuantitativos y preestablecidos cambiando su geometría.

Como ejemplo se muestra en la figura 8 una cara (2) de un paciente (centro) en la que solo se transforma la anchura de la nariz hacia mayor (izquierda) o menor diámetro (derecha). En la invención se extiende este procedimiento a la anatomía compleja de la CN (1) interna.

De esta manera, el resultado final es una superficie tridimensional deformada mediante MG-3D y que cumple una serie de requerimientos específicos deseados (aproximando P_{1F}, P_{2F}).

Por otra parte, es importante destacar que, para poder calcular correctamente los parámetros funcionales en esta nueva superficie tridimensional modificada Si3D-F y que, a la vez, estos parámetros sean coherentes y compatibles con los calculados en la Si3D-P, es necesario que la Si3D-F mantenga idénticas condiciones de contorno que la superficie Si3D-P. Se entienden por condiciones de contorno a las condiciones que identifican el tipo de superficie que representan y las magnitudes fluidas que las definen (sólido, aire, entrada, salida, temperatura, humedad, presión, velocidad, …), y que tienen que ser idénticas en zonas homólogas de ambas superficies.

Por otra parte, la MG-3D y los medios de procesamiento trabajan con unas coordenadas que no son las coordenadas físicas del modelo de superficie tridimensional Si3D-P. La superficie Si3D-F obtenida utilizando estas técnicas y medios de procesamiento no se corresponde con la escala en la que se ha definido la Si3D-P. Por tanto, es necesario un escalado para que los resultados del cálculo de los parámetros funcionales y geométricos sean compatibles en ambas superficies.

Además, en ocasiones la superficie Si3D-F no es directamente compatible ni adecuada para el cálculo de los parámetros funcionales y geométricos debido, sobre todo a las imperfecciones superficiales (intersecciones, agujeros, elementos de superficie cruzados, …) que han introducido las técnicas de MG-3D. Es necesario utilizar unos medios de procesamiento para arreglar todas estas imperfecciones superficiales y que su presencia impide el cálculo de estos parámetros funcionales y geométricos.

A la vista de lo anterior, el resultado de esta cuarta etapa es una nueva superficie Si3D-F con una nueva geometría (P_{1F}, P_{2F}, L_F, A_F y V_F) en la que se han calculado sus correspondientes

parámetros funcionales P_{1F}, P_{2F}, que serán muy parecidos a los fijados durante el proceso P_{1S}, $P_{2S,}$ pero no idénticos. La diferencia entre los parámetros de ambas superficies deberá de haber quedado por debajo de una cierta tolerancia (20% aproximadamente) respecto de los parámetros que se fijaron P_{1S}, P_{2S}. En caso contrario, el procedimiento habrá fallado, y habrá que fijar otros parámetros P_{1S}, P_{2S} y comenzar desde el principio la cuarta etapa.

Adicionalmente, como sexta etapa, el procedimiento puede comprender un paso de redefinición de la Si3D-F, mediante una representación de las modificaciones realizadas sobre la Si3D para llegar a la cavidad nasal (1) modificada.

La Si3D-F es la superficie de la cavidad nasal (1) que sirve al especialista médico cirujano como guía para su cirugía real. Como ejemplo se muestra en la figura 9 un mapa de color del campo desviación de la cavidad nasal (1) origen respecto a la cavidad nasal (1) destino obtenida mediante la invención. Este mapa de color permitirá al cirujano detectar las zonas que más se han modificado y que deberán de ser tenidas en cuenta durante la cirugía real con el objetivo de conseguir unos los parámetros funcionales deseados.

En el caso de que el especialista considere que esta cavidad nasal (1) no es apta para copiar en una cirugía real, la superficie Si3D-F será sometida a una serie de transformaciones manuales de su geometría con el objetivo de hacerla útil para la cirugía real. Estas transformaciones se llevarán a cabo directamente sobre el modelo tridimensional de la superficie Si3D-F mediante técnicas de cirugía virtual (CV) superficial y tridimensional y cuyos resultados será evaluados calculando sus correspondientes parámetros funcionales.

Esta etapa conducirá a una nueva superficie tridimensional que se designa como Si3D-FS y es la que definitivamente servirá de guía al especialista médico cirujano en su cirugía real. En la figura 9 se muestra una imagen de un ejemplo de cómo se modificaría la geometría de la Si3D-F.

Para mostrar el funcionamiento del procedimiento, se analizan a continuación una serie de figuras que permiten mostrar los resultados en el tabique nasal, los orificios nasales y los cornetes.

En la figura 10A, se muestra la morfología original del tabique nasal, que en la figura 10B ya ha sido transformado. El tabique está totalmente simetrizado y sin la desviación que presentaba originalmente. En la figura 10C aparecen ambas figuras superpuestas.

Además, en el caso del tabique nasal se refleja en la figura 11A la posición de las referencias (4) en el tabique original, que como se aprecia presentan un elevado grado de asimetría. En la figura 11B el tabique ya ha sido transformado, como se puede comprobar en la simetría de las referencias (4).

Con relación al ejemplo de los orificios nasales, en la figura 12A aparecen unos orificios que presentan algún tipo de patología, y que ya han sido transformados en la figura 12B, de manera que han sido ensanchados. En la figura 12C se superponen ambas figuras.

Por su parte, en la figura 13A se señalan las referencias (4) colocadas en los orificios nasales antes de ser transformados. En la 13B se muestras las referencias (4) situadas en unos orificios nasales sanos tomados de la base de datos. Finalmente, en la figura 13C se señalan las referencias (4) en los orificios nasales transformados.

Por último, en el ejemplo de los cornetes, en la figura 14A aparece la morfología original de los cornetes inferiores e intermedios, y en la figura 14B los cornetes que ya han sido transformados, que han sido simetrizados y sin la desviación original. En la figura 14C se superponen ambas imágenes.

En la figura 15A se señalan las referencias (4) en los cornetes originales, en la figura 15B las referencias (4) en unos cornetes sanos objetivo, de la base de datos de referencia, y en la 15C las referencias ($) dispuestas en los cornetes que ya han sufrido la transformación morfométrica.

REIVINDICACIONES

1.- Procedimiento implementado por ordenador para la obtención de modelos tridimensionales de cavidades nasales (1) con parámetros funcionales especificados, caracterizado por que comprende las etapas de:

- obtención de una superficie tridimensional Si3D que representa la cavidad nasal (1) patológica de un usuario que presenta una patología nasal,
- obtención de n parámetros funcionales (P_1, P_2, …, P_n) y m parámetros geométricos (G_1, G_2, …, G_m) de la Si3D que definen la geometría, la patología y la funcionalidad de la cavidad nasal (1) patológica,
- distribución de unas referencias (4) para definir aspectos geométricos, anatómicos y funcionales de la cavidad nasal, en al menos:
    - la zona de la entrada de la cavidad nasal (1) patológica que delimitan los orificios centrales y el isthmus, y
    - la región del acondicionamiento de aire de la cavidad nasal (1) patológica, que contiene el tabique nasal y los cornetes,
- selección, en una base de datos de referencia de superficies tridimensionales de cavidades nasales (1) sin patologías, definidas por unas referencias (4) y unos parámetros funcionales y geométricos, de una cavidad nasal (1) sana que cumple que tiene los parámetros funcionales más cercanos a los parámetros funcionales (P_1, P_2, …, P_n) de la Si3D, y los parámetros geométricos compatibles anatómicamente con la Si3D,
- obtención de una cavidad nasal (1) modificada con transformando la Si3D en la cavidad nasal (1) sana seleccionada utilizando sus referencias (4) y parámetros funcionales y geométricos, aplicando morfometría geométrica en 3D (MG-3D), y
- representación de las modificaciones realizadas sobre la Si3D para llegar a la cavidad nasal (1) modificada.

2.- El procedimiento de la reivindicación 1 en el que, en caso de que la cavidad nasal (1) modificada no sea apta para copiar en una cirugía real, el procedimiento comprende una etapa adicional de transformación virtual de la cavidad nasal (1) modificada mediante técnicas de cirugía virtual (CV) superficial y tridimensional.

3.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la etapa de obtención de una superficie tridimensional que representa la cavidad nasal (1) patológica se realiza con una tecnología

seleccionada entre: Tomografía Computarizada (CT Scan), haz de cono (cone beam), Resonancia Magnética Nuclear y ecografía.

4.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que los parámetros funcionales comprenden, al menos:

- parámetro de medida de la simetría del flujo nasal (P_1), que se define como:

$$P_1 = \frac{Q_{min}}{Q_{max}},$$

donde Q_{max} y Q_{min} son los caudales máximo y mínimo que circulan por los orificios nasales, y

- parámetro de medida de la resistencia que ofrece la cavidad nasal (1) al paso de una determinada cantidad de aire por su interior (P_2), que se define como:

$$P_2 = \frac{\Delta P}{(Q_{max} + Q_{min})},$$

donde ΔP es la diferencia de presiones entre el exterior de la cavidad nasal (1) y una zona interior.

5.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que los parámetros geométricos comprenden, al menos:

- longitud (L) de la cavidad nasal (1), desde la punta de la nariz hasta el final de la nasofaringe, siguiendo la curvatura media en dirección coronal de la cavidad nasal (1),
- anchura (A) de la cavidad nasal (1), medida en la zona central de los senos maxilares, sin incluir a estos, y
- volumen (V) del interior de la cavidad nasal (1), medido desde los orificios nasales hasta el final de la nasofaringe, sin incluir a los senos paranasales.

6.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que las referencias (4) dispuestas en el tabique se colocan en el plano sagital, entre espina nasal anterior y posterior, y en la junta entre vómer y esfenoides en la base exocraneal y el límite anterior de la lámina vertical del etmoides.

7.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que las referencias (4) de los cornetes definen sus extremos anteriores y posteriores y las curvas de los bordes superiores.

8.- El procedimiento de la reivindicación 1, en el que las referencias (4) se colocan en uno o más de: la columela, la espina nasal anterior y posterior, la coana inferior y superior, los meatos inferiores, intermedios y superiores, y el septum nasal.

9.- Un programa de ordenador caracterizado por que está adaptado para realizar las etapas del procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8.

10.- Un dispositivo de almacenamiento legible por máquina caracterizado porque comprende el programa de ordenador según la reivindicación 9.

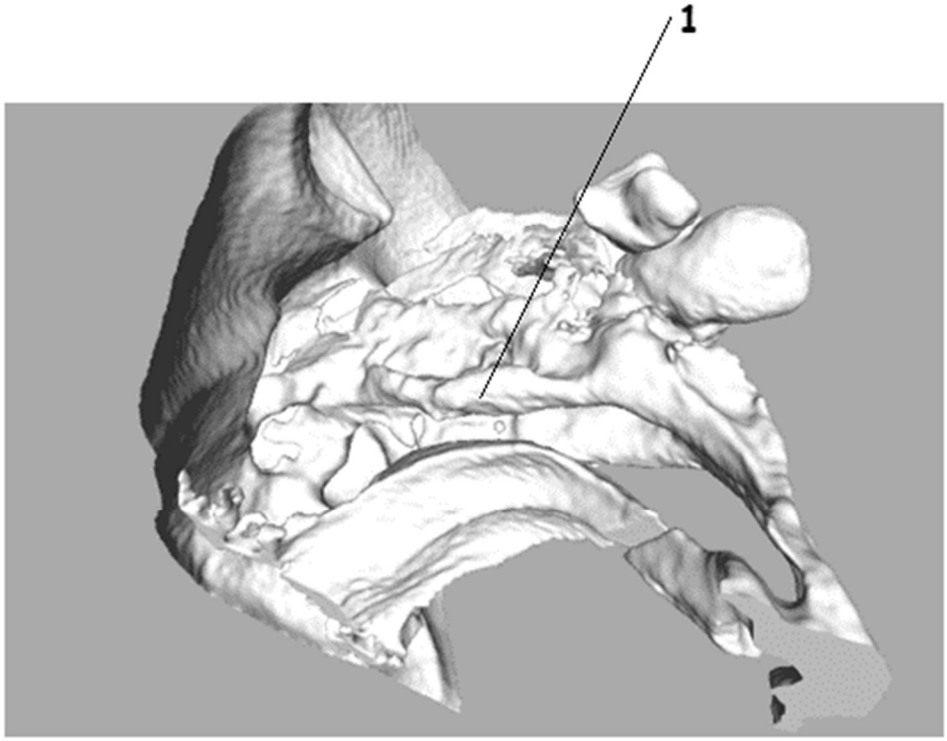

FIG. 1

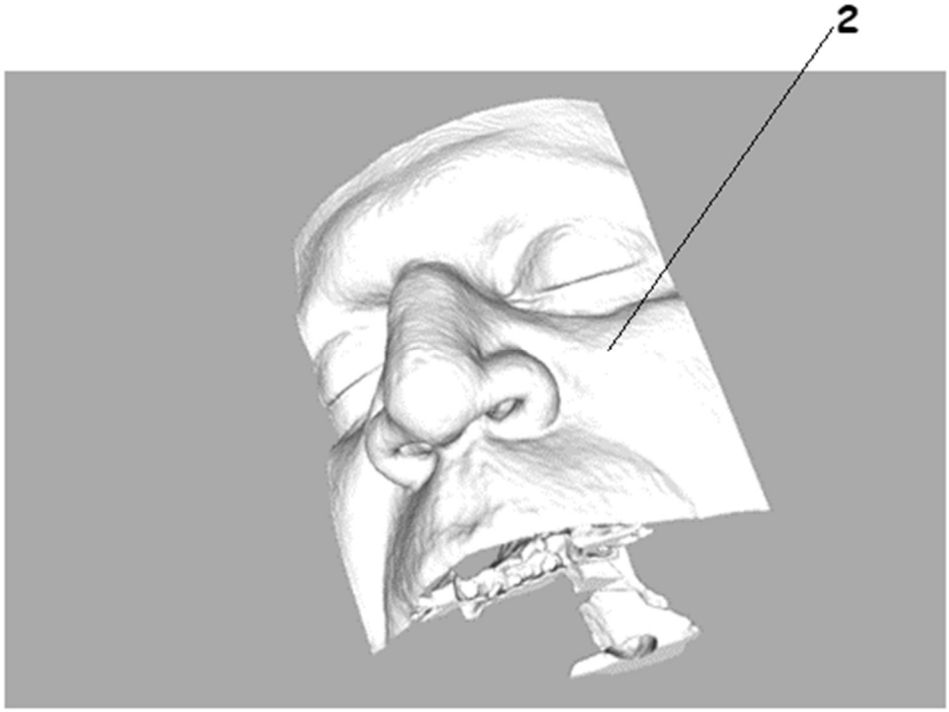

FIG. 2

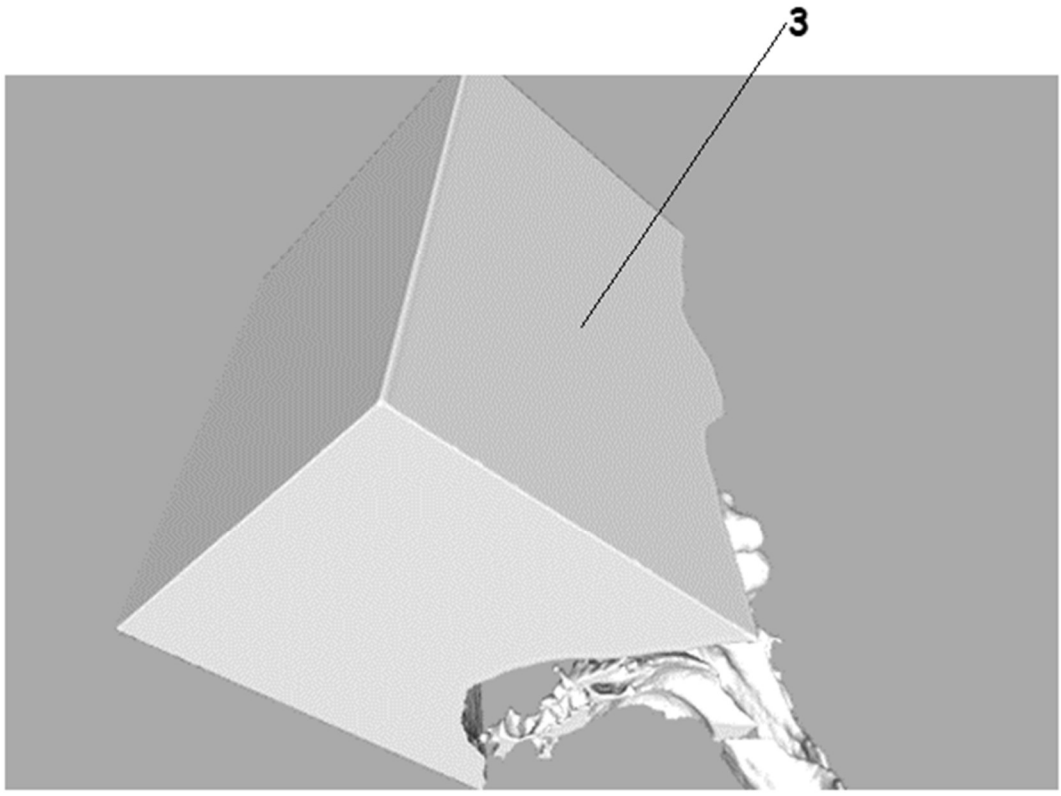

FIG. 3

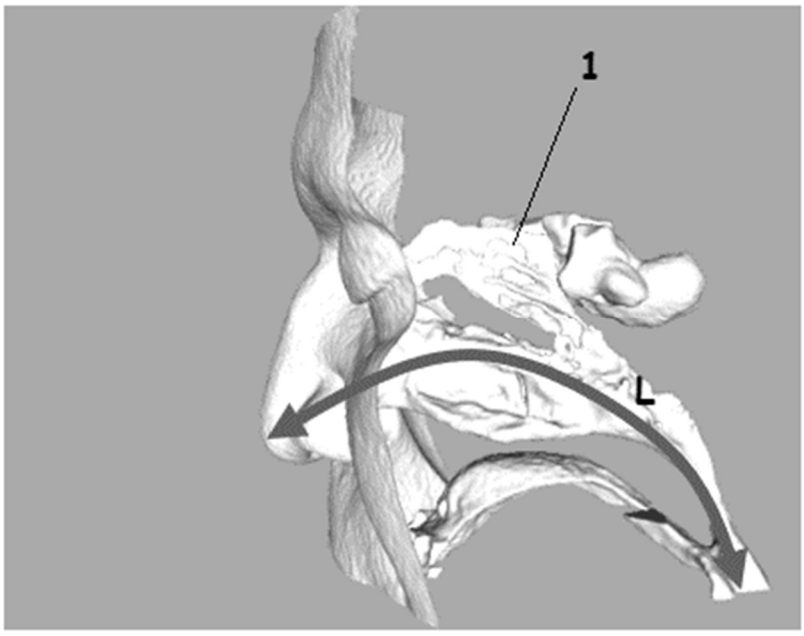

FIG. 4

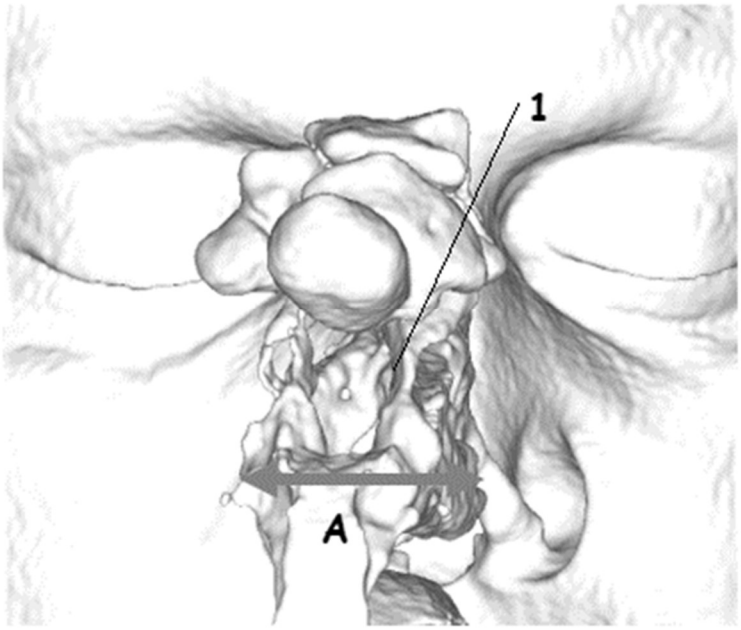

FIG. 5

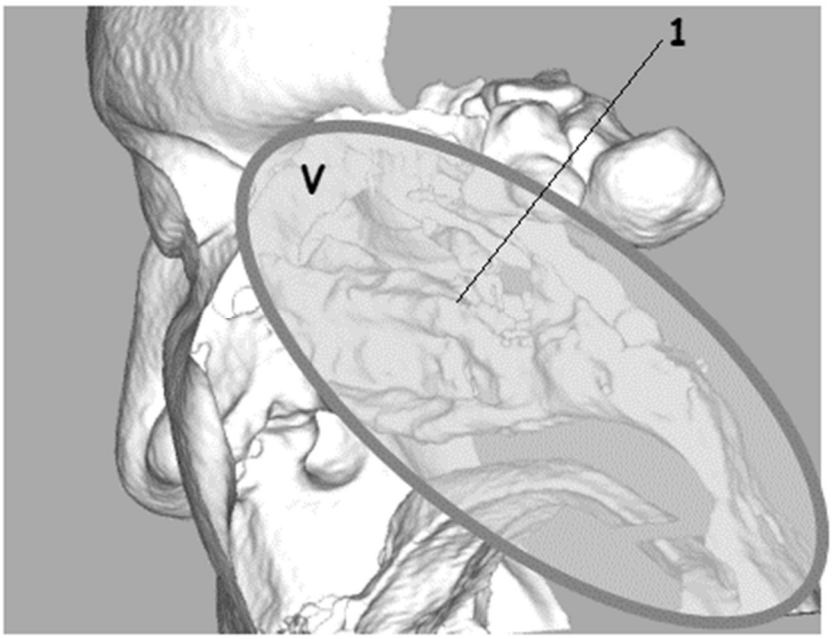

FIG. 6

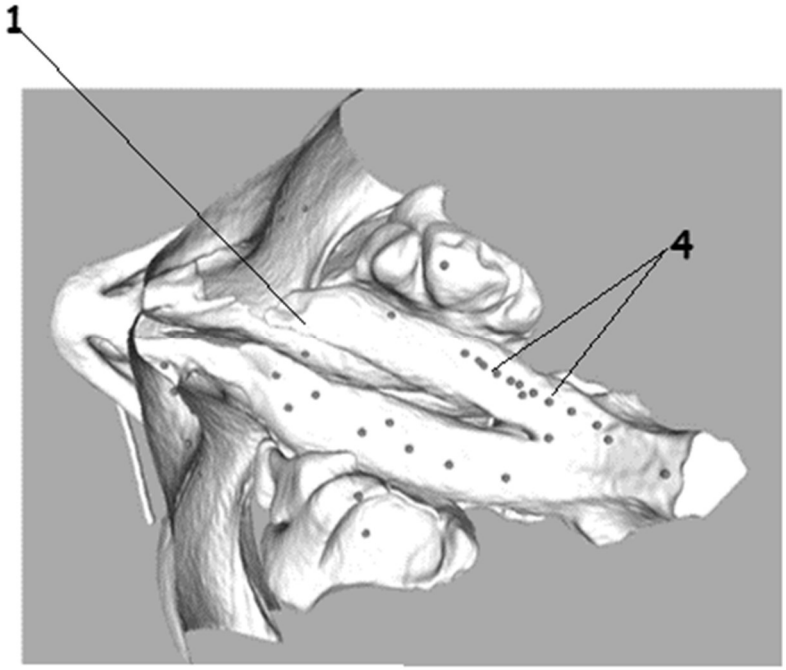

FIG. 7

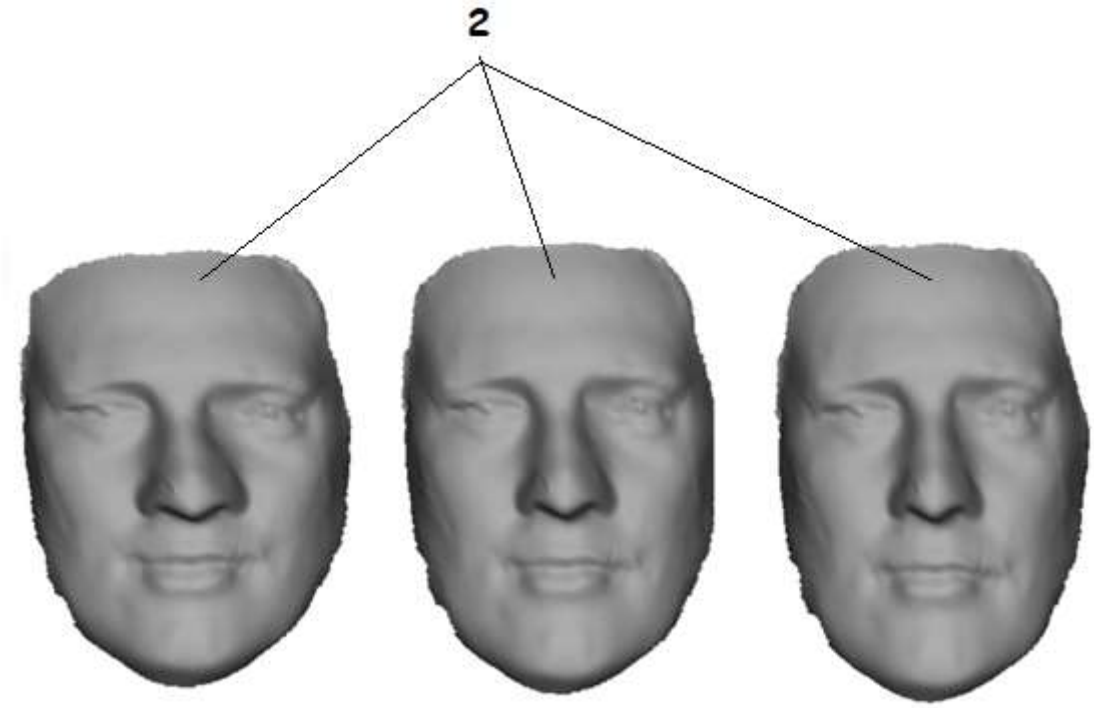

FIG. 8

FIG. 9

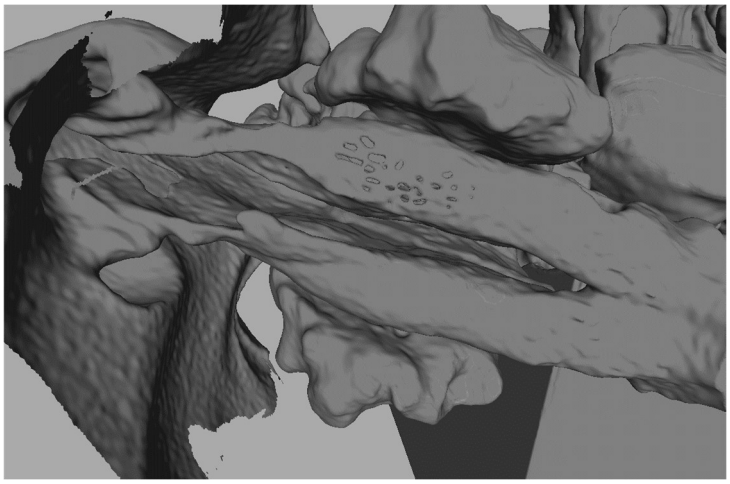

FIG. 10A

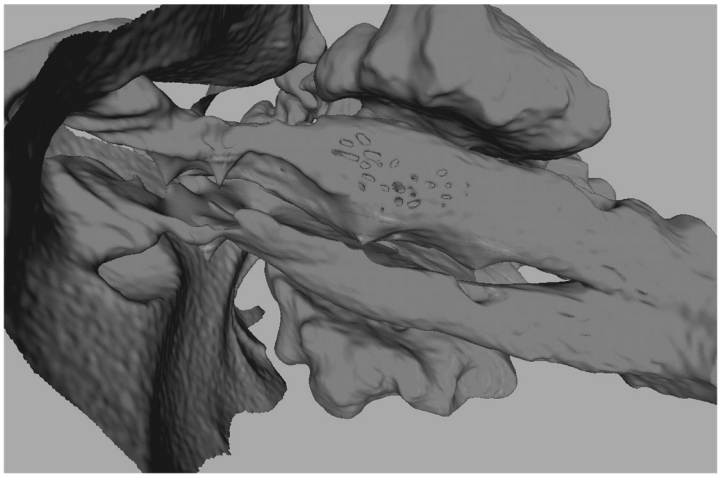

FIG. 10B

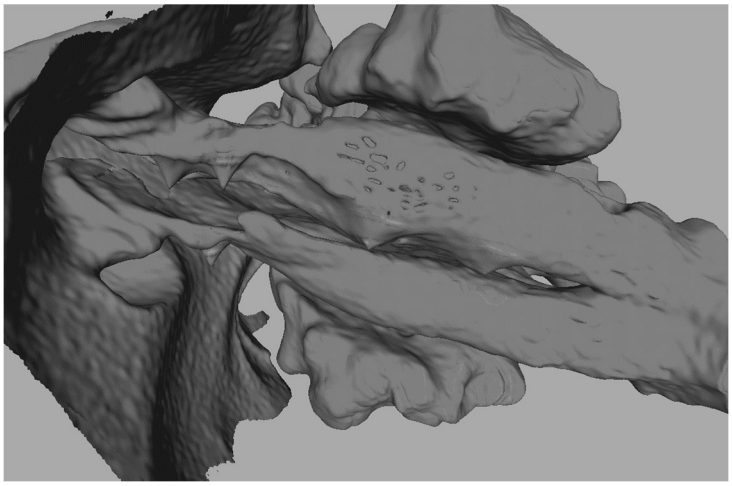

FIG. 10C

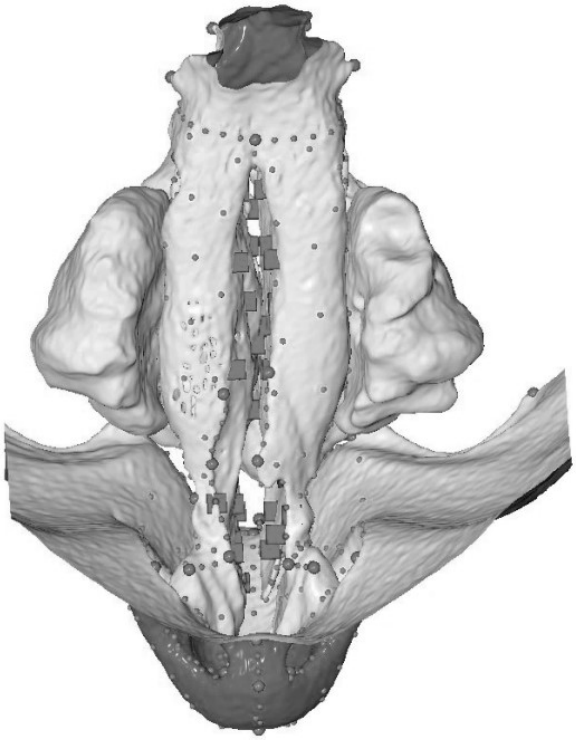

FIG.11A

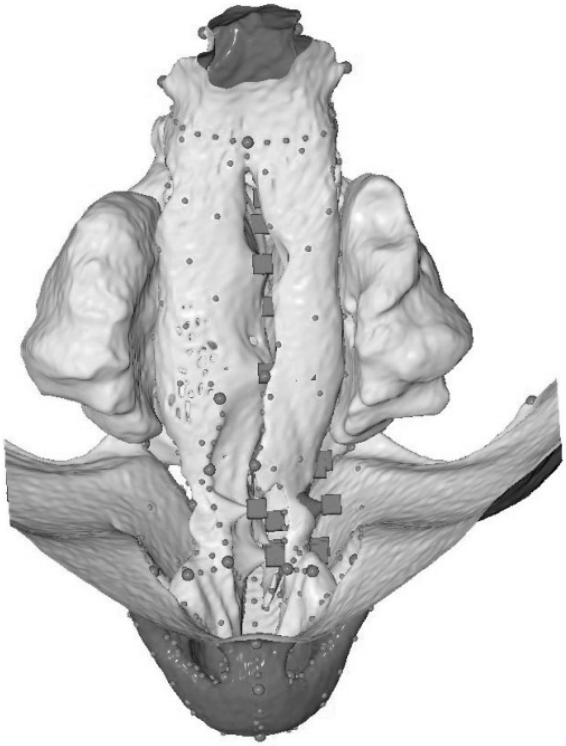

FIG. 11B

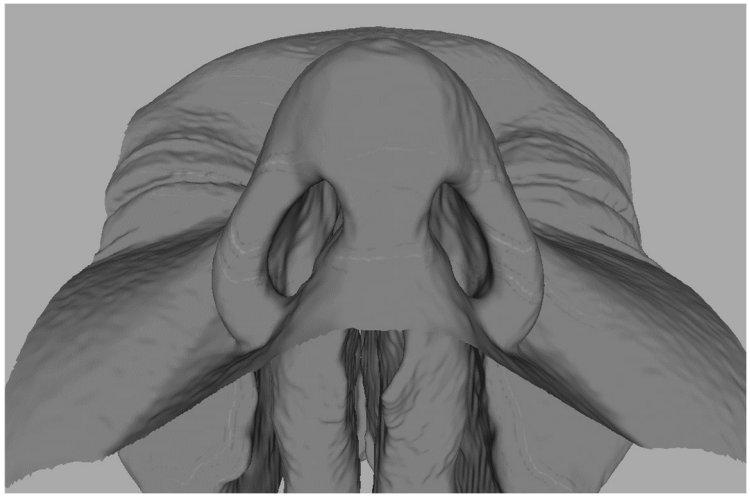

FIG.12A

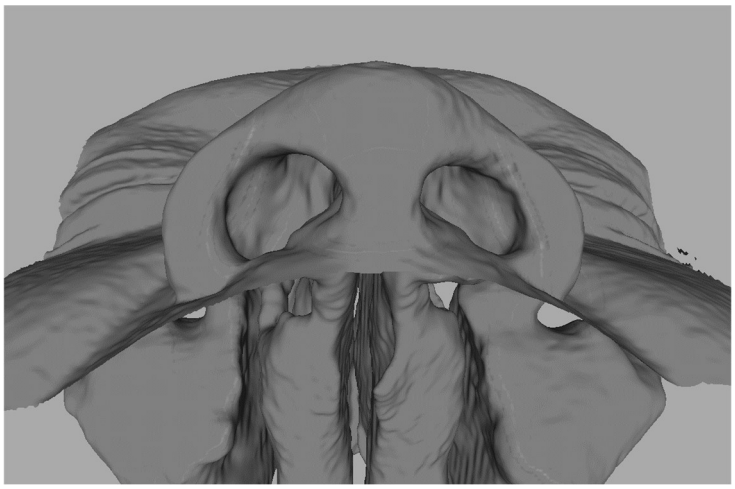

FIG.12B

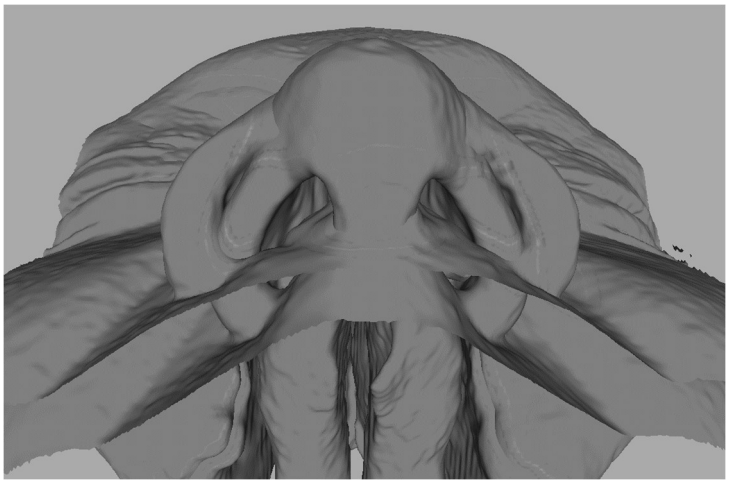

FIG.12C

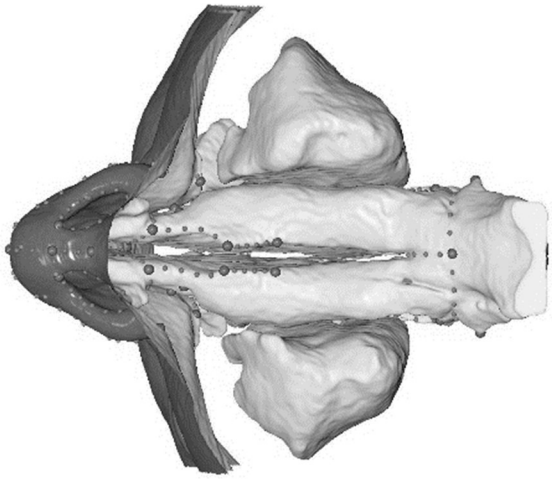

FIG.13A

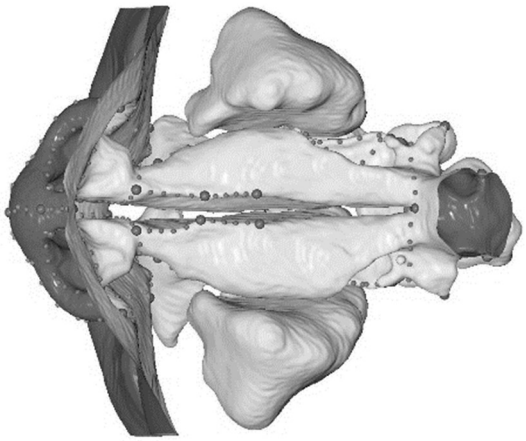

FIG.13B

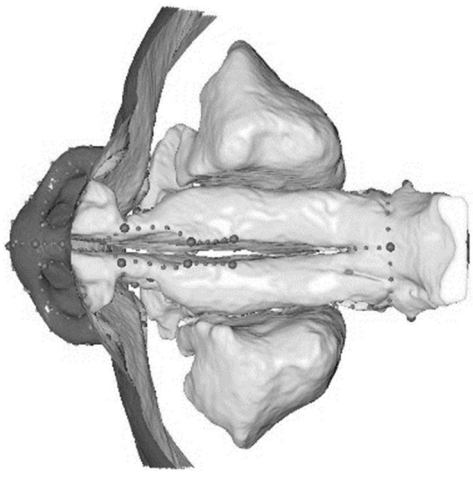

FIG.13C

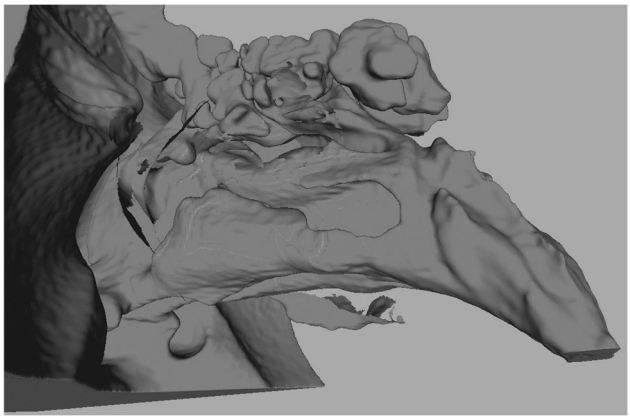

FIG.14A

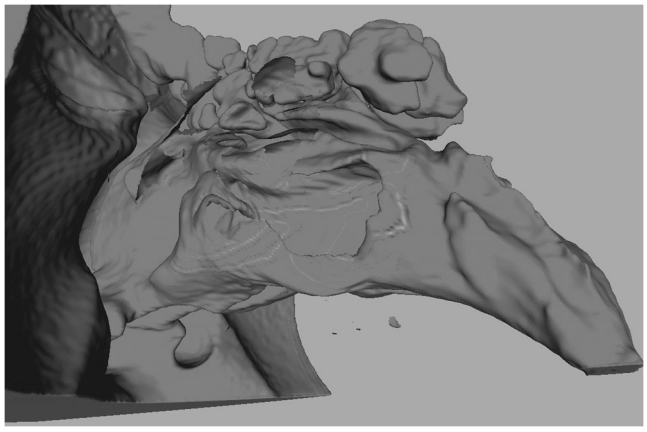

FIG.14B

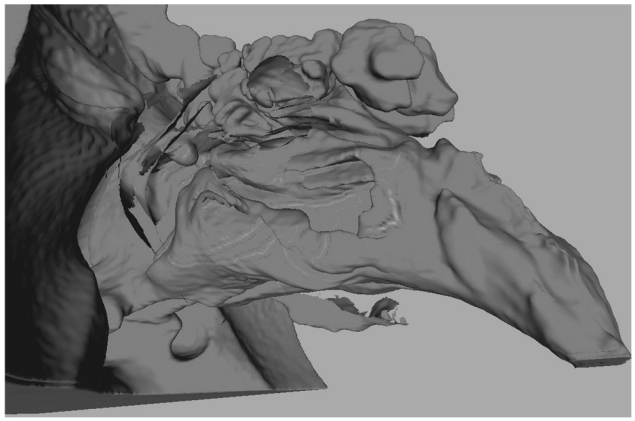

FIG.14C

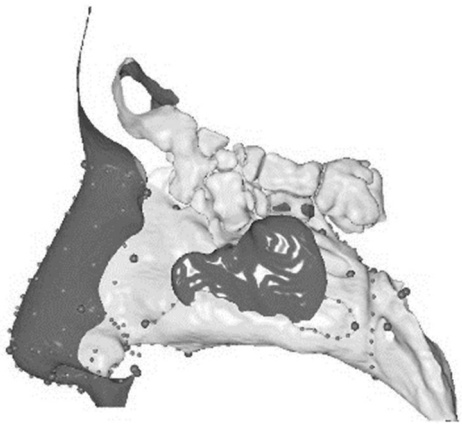

FIG.15A

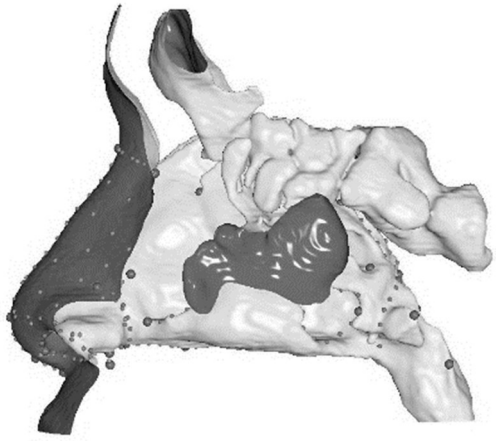

FIG.15B

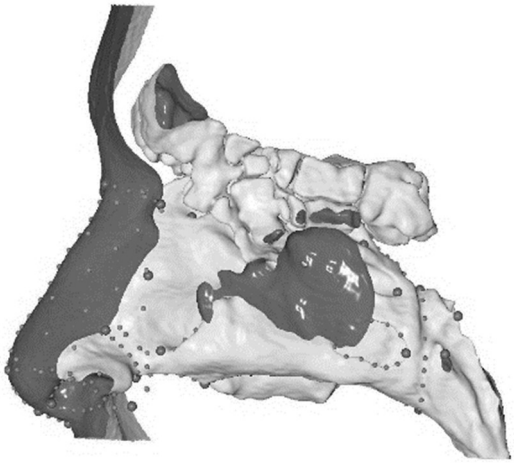

FIG.15C