

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 990 070**

51 Int. Cl.:

A61B 34/10 (2006.01)

A61B 5/11 (2006.01)

A61B 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.09.2020 PCT/US2020/049275**

87 Fecha y número de publicación internacional: **11.03.2021 WO21046268**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.09.2020 E 20861254 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.10.2024 EP 4025150**

54 Título: **Métodos y sistemas para alineación dirigida y posicionamiento de plano sagital durante cirugía de reemplazo de cadera**

30 Prioridad:

03.09.2019 US 201962895085 P

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

28.11.2024

73 Titular/es:

**BODNER, RUSSELL, J. (100.0%)
9N321 Barron Road
Maple Park, IL 60151, US**

72 Inventor/es:

BODNER, RUSSELL, J.

74 Agente/Representante:

ZUAZO ARALUZE, Alexander

ES 2 990 070 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

Métodos y sistemas para alineación dirigida y posicionamiento de plano sagital durante cirugía de reemplazo de cadera

5

Antecedentes

Históricamente, desde 1978, el plano frontal o coronal se ha usado únicamente para planificar y evaluar la posición espacial del componente acetabular o cotilo de un reemplazo de cadera. Lewinnek *et al.* describieron una "zona segura" o aceptable de 20x20 grados medida en una única radiografía de un paciente tumbado sobre una mesa de radiografía disparándose el haz hacia abajo sobre la pelvis en el plano frontal. Se describieron dos parámetros, concretamente la inclinación y anteversión para esta zona con 30-50 grados y 5-25 grados respectivamente como intervalo aceptable para que los cirujanos seleccionen como objetivo los cotilos acetabulares. Se realizaron intentos por normalizar la posición del paciente sobre la mesa nivelando la parte frontal de la pelvis con un nivel mecánico verdadero y se describió este plano como el plano pélvico anterior (APP). Se observó que APP no era el mismo en pacientes y que, cuando el APP se desviaba con respecto a un APP de 0 grados, podía afectar a la posición del cotilo. Desde entonces, la zona segura de Lewinnek se ha adoptado como método de referencia para colocación de cotilo, aunque intentos reales por intentar nivelar la pelvis son escasos o incluso inexistentes.

10

15

20

25

Aproximadamente en 1999, cirujanos investigadores comenzaron a intentar capturar la desviación del APP con el fin de corregir el cotilo acetabular de manera intraoperatoria de vuelta a una posición neutra. Este procedimiento dio lugar al desarrollo de la primera cirugía de cadera asistida por ordenador y se denominó "ajuste de la inclinación". En la actualidad, sólo un pequeño número de cirujanos usan un ajuste de la inclinación u ordenadores. No se ha encontrado que las cirugías de ajuste de la inclinación reduzcan la complicación de dislocación de los cotilos acetabulares, ya que este ajuste es un ajuste estático en la posición en decúbito supino del APP con respecto a la posición neutra.

30

35

Hace aproximadamente 15 años, Lazennec comenzó a estudiar los movimientos funcionales del complejo de columna vertebral-pelvis-cadera con respecto a la cirugía de reemplazo de cadera, usando terminología desarrollada en el campo de la cirugía de columna y definió un nuevo paradigma para la evaluación del cotilo acetabular en el plano sagital. Usó imágenes laterales a partir de un nuevo escáner de rayos X de baja dosis denominado sistema de obtención de imágenes EOS (París, Francia) y midió la posición del cotilo acetabular y el comportamiento en diferentes posiciones funcionales (es decir, en bipedestación erguida y en sedestación erguida dentro del escáner). Se definió la medida de plano lateral o sagital del cotilo en el espacio y ha llegado a conocerse como anteinclinación (AI) por el trabajo de Dorr. Además, se creó una nueva medida constante relacionada con esta posición de cotilo acetabular con respecto a la posición de la pelvis, y se denominó ángulo sacroacetabular (SAA) por Lazennec.

40

Lazennec no desarrolló sus hallazgos para dar una metodología para dirigir componentes. En vez de eso, Dorr usó investigación de direccionamiento coronal para recopilar datos sobre estos parámetros de plano sagital y publicar intervalos y medias para AI y SAA. Dorr también caracterizó las aberraciones de la posición pélvica y la movilidad pélvica que crearon el comportamiento pélvico atípico que provoca los riesgos mecánicos de fallo de implante.

45

El documento US 2015/088146 A1 enseña un método para alinear un instrumento de inserción de cotilo acetabular tomando una única radiografía digital preoperatoria de vista lateral de la pelvis de un paciente en bipedestación.

50

El documento WO 2019/068194 A1 enseña una herramienta de planificación para artroplastia total de cadera. Se visualizan juntas imágenes de estructura musculoesquelética de un paciente y mediante alineación conjunta y transformaciones espaciales.

55

Sumario

La presente invención aprovecha propiedades biomecánicas del complejo de espino-pélvico-femoral y proporciona métodos para planificación (incluyendo el uso de plataformas digitales), seguimiento, direccionamiento, navegación, y colocación (incluyendo ejecución asistida o robótica) *in vivo* del cotilo acetabular de un reemplazo total de cadera (es decir, artroplastia total de cadera). Específicamente, se proporcionan métodos que permiten seleccionar individualmente como objetivo un cotilo acetabular basándose en parámetros sagitales. Estos parámetros sagitales unen el cotilo a la pelvis con respecto tanto a la inclinación tilt (es decir, posición pélvica) como a la movilidad (es decir, excursión pélvica) produciendo de ese modo valores óptimos de anteinclinación (AI) y ángulo sacroacetabular (SAA). Estas razones goniométricas permiten que los métodos de la presente invención realicen un seguimiento del cotilo acetabular en el espacio y ejecuten la posición acetabular con un objetivo individual basándose en medidas de un paciente con precisión aumentada con respecto a la zona de Lewinnek de 20x20°. Estos métodos de la presente

60

65

invención pueden usarse para analizar estudios preoperatorios, incluyendo radiografías, exploraciones de TAC, y exploraciones de IRM para determinar una orientación recomendada del cotilo acetabular para cada paciente. Los métodos de la presente invención también pueden usarse para proporcionar guiado intraoperatorio en cuanto a la posición del implante realizando un seguimiento de la anatomía y el implante en el espacio y automatizando, en su totalidad o en parte, el equipo de navegación para colocar el cotilo acetabular.

El método de la presente invención se define en la reivindicación 1. Un medio legible por ordenador no transitorio según la presente invención se define en la reivindicación 2. Mejoras adicionales son objeto de las reivindicaciones dependientes.

Las características, funciones, y ventajas que se han comentado pueden lograrse independientemente en diversos ejemplos o pueden combinarse en aún otros ejemplos, detalles adicionales de los cuales pueden observarse con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

15 Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques funcional de un sistema, según una implementación ejemplificativa;

La figura 2 representa un diagrama de bloques de un dispositivo informático y una red informática, según una implementación ejemplificativa;

La figura 3A es un esquema que muestra la influencia posicional de la incidencia pélvica (PI) en las posiciones en bipedestación y en sedestación. Por ejemplo, una PI baja describe un arco limitado de rotación posterior alrededor del eje bicoxofemoral a medida que disminuye la pendiente sacra (SS) y aumenta la inclinación pélvica. Se obtiene adaptabilidad postural mediante la distancia horizontal aumentada detrás de las cabezas femorales así como mediante el enderezamiento o la flexión de la columna lumbar. El ángulo para la incidencia pélvica se indica "PI" y el ángulo para la inclinación pélvica se indica PT, las líneas en negrita a lo largo del círculo exterior representan el promontorio de S1 y el círculo central representa el eje bicoxofemoral;

La figura 3B es un esquema que muestra la influencia posicional de la incidencia pélvica (PI) en las posiciones en bipedestación y en sedestación. Por ejemplo, puede observarse que una PI alta se mueve a través de un arco mayor con un cambio entre la pendiente sacra y la inclinación pélvica mayor que en la figura 3A, los cambios tanto de la adaptabilidad posicional como de la columna lumbar serán mayores. El ángulo para la incidencia pélvica se indica "PI" y el ángulo para la inclinación pélvica se indica PT, las líneas en negrita a lo largo del círculo exterior representan el promontorio de S1 y el círculo central representa el eje bicoxofemoral. El arco de rotación en las figuras 3A-3B se determina mediante la distancia lineal normalizada (es decir, la distancia con respecto a la longitud de la placa de extremo sacra que se ha validado) entre el centro de las cabezas femorales y el centro del promontorio sacro y es inversamente dependiente del propio ángulo de PI, en este caso están trazados como círculos similares. El cambio angular entre las dos posiciones es la retroversión pélvica o delta de SS. Un implante acetabular rotará a lo largo de este mismo arco dado que se asienta por encima de la cabeza femoral;

La figura 4 muestra una vista lateral en bipedestación de la pelvis que tiene una PT de 0°, que se encuentra con poca frecuencia;

La figura 5 muestra una imagen de radiografía de una vista lateral en bipedestación que muestra la pelvis rotada hacia delante aumentando la pendiente sacra (SS) a costa de la inclinación pélvica (PT). La radiografía representa el hallazgo del plano pélvico anterior, APP (definido a continuación) de 0° en bipedestación, los parámetros sagitales son normales, PI (I) es de 58°, SS de 44°, PT de 14°. La SAI de cotilo sin medir se aproxima a entre 25-30°.

La figura 6 muestra una vista lateral en sedestación que muestra la rotación posterior de la pelvis alrededor del eje que conecta las cabezas femorales, el eje bicoxofemoral, esto disminuye la SS al tiempo que aumenta de manera recíproca la PT.

La figura 7 muestra una imagen de radiografía de una vista lateral en sedestación de la pelvis que muestra un aumento angular equivalente de 27 grados en APP, PT y la AI de cotilo con respecto a la posición en bipedestación de la figura 5, los parámetros fijados PI (I) y SAA (sin medir) permanecen sin cambios. La amplia movilidad dinámica de la pelvis y la columna lumbar permite sentarse con tan sólo 60 grados de flexión de cadera, esto hace que el riesgo de interferencia anterior e inestabilidad posterior sea despreciable.

La figura 8 muestra una vista lateral en bipedestación del ángulo sacroacetabular SAA de la pelvis que se forma mediante la línea tangente al promontorio sacro y la línea tangente a la cara sagital del cotilo. Este ángulo, creado en cirugía, es fijo y está compuesto por la suma de la anteinclinación (en este caso SI) y la pendiente sacra (SS), $SAA = SI + SS$. Define la relación del cotilo con la pelvis con un intervalo de 75 +/- 15 grados como normal. Crear un ángulo sacroacetabular SAA que es demasiado alto, influido por retroversión pélvica y PI baja tal como resulta evidente en el grupo con desequilibrio en sedestación atascado, está asociado con interferencia posterior e inestabilidad anterior. Crear un ángulo sacroacetabular SAA que es demasiado bajo, asociado con una PI alta y

observado con el grupo con desequilibrio en bipedestación atascado, está asociado con interferencia anterior e inestabilidad posterior.

La figura 9 muestra una vista lateral en sedestación de la pelvis de la figura 8.

La figura 10 muestra una vista lateral en bipedestación según un ejemplo en el que PI es 60° (α), SS es 45° (β), 90-PI es 30° (γ), SAA es 75° (δ), PAA es 75° (ϵ), AI es 30° (ζ), y PFA es 195° (η). El triángulo de Bodner se forma por los ángulos (δ), (ϵ), y (γ). Tal como se muestra, SAA une SS y el acetábulo (anteinclinación AI). PAA conecta la inclinación pélvica (PT) con la AI. Y PFA une el movimiento femoral a la pelvis.

La figura 11 muestra una vista lateral en sedestación de la pelvis de la figura 10 en la que PI es 60° (α), SS es 20° (β), 90-PI es 30° (γ), SAA es 75° (δ), PAA es 75° (ϵ), AI es 55° (ζ), y PFA es 145° (η). En esta posición, el triángulo de Bodner rota con el fulcro en la articulación de cadera, y el alcance de rotación está determinado por el delta de SS (delta de SS es 25° en este caso). Esto abre el acetábulo 25° al sentarse (razón de 1:1 de delta de SS:delta de AI). El movimiento femoral (η) en este ejemplo es de 50, tal como se muestra mediante el delta en PFA. La cadera impulsa la rotación del triángulo de Bodner de vuelta (es decir, en el sentido de las agujas del reloj), inclinando la pelvis en sentido posterior al sentarse.

La figura 12 muestra un diagrama de flujo de un método, según una implementación ejemplificativa.

La figura 13 muestra una tabla de inclinación radiográfica y SAA de anteversión y la AI en bipedestación y en sedestación determinada usando los métodos de la presente invención.

Los dibujos son con el fin de ilustrar ejemplos, pero se entiende que las invenciones no se limitan a las disposiciones e instrumentos mostrados en los dibujos.

Descripción detallada

Tal como se usa en el presente documento, "plano pélvico anterior" ("APP") se refiere al plano tradicionalmente usado para medir o normalizar (nivelar) la inclinación sagital de la pelvis con respecto al plano coronal (longitudinal) del cuerpo. El APP es el plano definido por tres puntos, las espinas iliacas anterior superior derecha e izquierda y la prominencia de sínfisis pública.

Tal como se usa en el presente documento, "anteinclinación" ("AI") o ángulo de inclinación sagital ("SAI") se refiere a la medida del plano lateral o sagital del cotilo acetabular en el espacio. La AI consiste en una línea tangente a la cara de la proyección sagital del implante acetabular y la línea de referencia horizontal (es decir, paralela al suelo). Los límites convencionales de este parámetro oscilan entre 25-45 grados en una posición en bipedestación y oscilan entre 23-50 grados en la posición en bipedestación y oscila entre 45-70 grados en la posición en sedestación. La AI del componente acetabular es una medida en dos dimensiones basada en una radiografía lateral. La AI representa la anteversión de plano operativo o sagital del cotilo acetabular (es decir, el ángulo entre el eje longitudinal del paciente y el eje de componente acetabular tal como se proyecta en el plano sagital), con una influencia menor de la inclinación operativa. Dicho de otro modo, la AI es una medida directa de la anteversión, pero el valor de AI es un número diferente del valor de plano coronal usado por cirujanos. La anteversión clínicamente usada por los cirujanos se denomina anteversión radiográfica, que es la proyección de la anteversión medida en una radiografía de anterior a posterior (AP) cuando el paciente está tumbado en decúbito supino sobre una mesa.

Tal como se usa en el presente documento, "pendiente sacra" ("SS") se refiere al ángulo entre la línea de referencia horizontal y la línea tangente a lo largo del promontorio sacro (también denominado placa de extremo sacra) que tiene intervalos en bipedestación normales de desde 20° - 57° , en sedestación de desde 5° - 35° , para valores de incidencia pélvica de entre 25° - 80° .

Tal como se usa en el presente documento, "dSS", cuando se aplica al valor de SS, se refiere a un delta o cambio numérico al moverse una pelvis y un cotilo acetabular implantado entre dos posiciones. Las medidas se obtienen cuando el ángulo de pendiente sacra pélvico se mide en dos posiciones, concretamente la posición en bipedestación y la posición en sedestación erguida.

Tal como se usa en el presente documento, "ángulo sacroacetabular" ("SAA") se refiere a una medida constante que relaciona la posición de cotilo de AI con la posición de la pelvis. El SAA está formado por la extensión anterior de la línea tangente al promontorio sacro y la extensión anterior de la línea tangente a la cara sagital del cotilo acetabular (es decir, AI + SS). Cuando dSS es de 25 grados, SAA también es igual a $(90 + PI)/2$.

Tal como se usa en el presente documento, "inclinación pélvica" ("PT") se refiere a un parámetro de posición formado por el ángulo entre la línea de referencia vertical y una línea que conecta el centro del eje bicoxofemoral y el centro del promontorio S1.

Tal como se usa en el presente documento, "movilidad pélvica" se refiere a excursión pélvica y es sinónimo de dSS.

5 Tal como se usa en el presente documento, "incidencia pélvica" ("PI") se refiere a un parámetro constante morfológico en el plano sagital que categoriza la construcción pélvica, PI es igual a la suma de los ángulos de inclinación pélvica y pendiente sacra (es decir, PT + SS). PI está formada por la línea que conecta el centro del eje bicoxofemoral y el centro del promontorio de SI y una segunda línea perpendicular al promontorio de SI en el punto central del promontorio de SI. El intervalo humano típico es de 25-80 grados con una media de 52-53, los valores por debajo de 30 y por encima de 75 son poco frecuentes.

10 Tal como se usa en el presente documento, ángulo acetabular pélvico ("PAA") se refiere a un ángulo que corresponde a $(90-AI) + PT$. Este ángulo se describió, definió, y aprovechó por primera vez en los métodos dados a conocer por el Dr. Bodner, el inventor.

15 Tal como se usa en el presente documento, el "triángulo de Bodner" se refiere a un triángulo que tiene tres ángulos, concretamente (i) el SAA, (ii) $(90-PI)$ en el vértice sacro, y (iii) el PAA. Los tres lados están formados por la extensión de la línea de SS de manera anterior e inferior que interseca con la extensión de la línea de AI de manera superior y anterior, con el tercer lado de la línea de PT que conecta el centro de la cadera con el centro de la placa de extremo de SI. Por tanto, la construcción geométrica del triángulo de Bodner conecta entre sí la posición espacial del cotilo acetabular con la de la construcción pélvica y la posición espacial. El triángulo de Bodner se ve influido en cuanto a la forma, orientación espacial, y excursión por cada ángulo que lo comprende, concretamente PI, SS, PT, AI, y funcionalmente por la excursión o movilidad entre posiciones que se define como dSS.

25 Tal como se usa en el presente documento, "eléctricamente acoplado" se refiere a acoplamiento usando un conductor, tal como un cable o una pista conductora, así como acoplamientos inductivo, magnético e inalámbrico.

30 Tal como se usa en el presente documento, "realimentación sagital" incluye valores biomecánicos tales como la incidencia pélvica (PI), la pendiente sacra (SS), la inclinación pélvica (PT), el delta (dSS) de la pendiente sacra (SS), el ángulo femoral pélvico (PFA), la longitud de pierna, una desviación de cadera, un centro de rotación de la cadera, y una versión femoral.

Visión general

35 Realizaciones del aparato de determinación de plantillas preoperatorias, dispositivos de navegación y métodos descritos en el presente documento pueden usarse para determinar una posición y orientación espaciales del componente acetabular y proporcionar guiado o control intraoperatorio en cuanto a la posición y orientación espaciales del componente acetabular realizando un seguimiento de la anatomía del paciente y el componente acetabular en tiempo real. El aparato de determinación de plantillas preoperatorias, dispositivos de navegación y métodos ejemplificativos dados a conocer también obtienen y proporcionan de manera beneficiosa, en un elemento de visualización, realimentación sagital que detalla o ilustra la posición del componente acetabular y también puede usarse para determinar una posición coronal basándose en la realimentación sagital obtenida que consiste en la AI, SAA, todo ello obtenible a partir de la SS medida en las posiciones en bipedestación y en sedestación.

Estructura ejemplificativa

45 La figura 1 es un diagrama de bloques que muestra un entorno 100 operativo que incluye o implica, por ejemplo, un aparato 105 de determinación de plantillas preoperatorias o un dispositivo 110 de navegación. El método 300 en la figura 12 descrita a continuación muestra una realización de un método que puede implementarse dentro de este entorno 100 operativo.

50 La figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra un ejemplo de un dispositivo 200 informático, según una implementación ejemplificativa, que está configurado para interconectarse con el entorno 100 operativo, o bien directa o bien indirectamente. El dispositivo 200 informático puede usarse para realizar funciones del método mostrado en la figura 12 y descrito a continuación. En particular, el dispositivo 200 informático puede estar configurado para realizar una o más funciones, incluyendo determinar una posición y orientación espaciales del componente acetabular y proporcionar guiado o control intraoperatorio en cuanto a la posición y orientación espaciales del componente acetabular realizando un seguimiento de la anatomía del paciente y el componente acetabular en tiempo real, por ejemplo, así como, obtener y proporcionar en un elemento de visualización realimentación sagital que detalla o ilustra la posición del componente acetabular y determinar una posición coronal basándose en la realimentación sagital obtenida. El dispositivo 200 informático tiene un(os) procesador(es) 202, y también una interfaz 204 de comunicación, un almacenamiento 206 de datos, una interfaz 208 de salida, y un elemento 210 de visualización cada uno conectado a un bus 212 de comunicación. El dispositivo 200 informático también puede incluir hardware para permitir la comunicación dentro del dispositivo 200 informático y entre el dispositivo 200 informático y otros dispositivos (por ejemplo, no mostrados). El hardware puede incluir transmisores, receptores, y antenas, por ejemplo.

65 La interfaz 204 de comunicación puede ser una interfaz inalámbrica y/o una o más interfaces cableadas que

5 permiten tanto comunicación de corto alcance como comunicación de largo alcance con una o más redes 214 o con uno o más dispositivos 216 informáticos remotos (por ejemplo, un ordenador 216a de tipo tableta, un ordenador 216b personal, un ordenador 216c portátil y un dispositivo 216d informático móvil, por ejemplo). Tales interfaces inalámbricas pueden proporcionar comunicación en uno o más protocolos de comunicación inalámbrica, tales como Bluetooth, WiFi (por ejemplo, un protocolo 802.11 del instituto de ingenieros eléctricos y electrónicos (IEEE)), evolución a largo plazo (LTE), comunicaciones celulares, comunicación de campo cercano (NFC), y/u otros protocolos de comunicación inalámbrica. Tales interfaces cableadas pueden incluir interfaz de Ethernet, una interfaz de bus serie universal (USB), o interfaz similar para comunicarse a través de un cable, un par trenzado de cables, un cable coaxial, un enlace óptico, un enlace de fibra óptica, u otra conexión física con una red cableada. Por tanto, la interfaz 204 de comunicación puede estar configurada para recibir datos de entrada a partir de uno o más dispositivos, y también puede estar configurada para enviar datos de salida a otros dispositivos.

10 La interfaz 204 de comunicación también puede incluir un dispositivo de entrada de usuario, tal como un teclado, un teclado numérico, una pantalla táctil, un panel táctil, un ratón informático, una bola de seguimiento y/u otros dispositivos similares, por ejemplo.

15 El almacenamiento 206 de datos puede incluir o adoptar la forma de uno o más medios de almacenamiento legibles por ordenador que pueden leerse por, o a los que puede(n) acceder, el/los procesador(es) 202. Los medios de almacenamiento legibles por ordenador pueden incluir componentes de almacenamiento volátiles y/o no volátiles, tales como almacenamiento en disco o memoria óptico, magnético, orgánico u otro, que pueden integrarse en su totalidad o en parte con el/los procesador(es) 202. Se considera que el almacenamiento 206 de datos es medios legibles por ordenador no transitorios. En algunos ejemplos, el almacenamiento 206 de datos puede implementarse usando un único dispositivo físico (por ejemplo, una unidad de almacenamiento en disco o memoria óptica, magnética, orgánica u otra), mientras que, en otros ejemplos, el almacenamiento 206 de datos puede implementarse usando dos o más dispositivos físicos.

20 Por tanto, el almacenamiento 206 de datos es un medio de almacenamiento legible por ordenador no transitorio, y hay instrucciones 218 ejecutables almacenadas en el mismo. Las instrucciones 218 incluyen código ejecutable por ordenador. Cuando se ejecutan las instrucciones 218 por el/los procesador(es) 202, se hace que el/los procesador(es) 202 realice(n) funciones. Tales funciones incluyen, pero no se limitan a, determinar una posición y orientación espaciales del componente acetabular y proporcionar guiado o control intraoperatorio en cuanto a la posición y orientación espaciales del componente acetabular realizando un seguimiento de la anatomía del paciente y el componente acetabular en tiempo real, por ejemplo, así como, obtener y proporcionar en un elemento de visualización realimentación sagital que detalla o ilustra la posición del componente acetabular y determinar una posición coronal basándose en la realimentación sagital obtenida.

30 El/los procesador(es) 202 puede(n) ser un procesador de propósito general o un procesador de propósito especial (por ejemplo, procesadores de señales digitales, circuitos integrados específicos de aplicación, etc.). El/los procesador(es) 202 puede(n) recibir entradas a partir de la interfaz 204 de comunicación, y procesar las entradas para generar salidas que se almacenan en el almacenamiento 206 de datos y se emiten al elemento 210 de visualización. El/los procesador(es) 202 puede(n) estar configurado(s) para ejecutar las instrucciones 218 ejecutables (por ejemplo, instrucciones de programa legibles por ordenador) que están almacenadas en el almacenamiento 206 de datos y pueden ejecutarse para proporcionar la funcionalidad del dispositivo 200 informático descrito en el presente documento.

35 La interfaz 208 de salida emite información al elemento 210 de visualización o también a otros componentes. Por tanto, la interfaz 208 de salida puede ser similar a la interfaz 204 de comunicación y también puede ser una interfaz inalámbrica (por ejemplo, transmisor) o una interfaz cableada. La interfaz 208 de salida puede enviar comandos a uno o más dispositivos controlables, por ejemplo.

40 El dispositivo 200 informático mostrado en la figura 2 también puede ser representativo de un dispositivo 200a informático local en el entorno 100 operativo, por ejemplo, en comunicación con un aparato 105 de estación de aclarado. Este dispositivo 200a informático local puede realizar una o más de las etapas del método 300 descrito a continuación, puede recibir entrada a partir de un usuario y/o puede enviar datos de imagen y entrada de usuario al dispositivo 200 informático para realizar la totalidad o algunas de las etapas de método 300. Además, en una realización ejemplificativa opcional, puede usarse el aparato de determinación de plantillas preoperatorias o el dispositivo 105 de navegación para realizar el método 300.

45 La interfaz 208 de salida emite información al elemento 210 de visualización o también a otros componentes. Por tanto, la interfaz 208 de salida puede ser similar a la interfaz 204 de comunicación y también puede ser una interfaz inalámbrica (por ejemplo, transmisor) o una interfaz cableada. La interfaz 208 de salida puede enviar comandos a uno o más dispositivos controlables, por ejemplo.

50 El dispositivo 200 informático mostrado en la figura 2 también puede ser representativo de un dispositivo 200a informático local en el entorno 100 operativo, por ejemplo, en comunicación con un aparato 105 de estación de aclarado. Este dispositivo 200a informático local puede realizar una o más de las etapas del método 300 descrito a continuación, puede recibir entrada a partir de un usuario y/o puede enviar datos de imagen y entrada de usuario al dispositivo 200 informático para realizar la totalidad o algunas de las etapas de método 300. Además, en una realización ejemplificativa opcional, puede usarse el aparato de determinación de plantillas preoperatorias o el dispositivo 105 de navegación para realizar el método 300.

55 El método 300 mostrado en la figura 12 presenta un ejemplo de un método que puede usarse con el dispositivo 200 informático de la figura 2, por ejemplo. Además, los dispositivos o sistemas pueden usarse o estar configurados para realizar funciones lógicas presentadas en la figura 10. En algunos casos, los componentes de los dispositivos y/o sistemas pueden estar configurados para realizar las funciones de tal manera que los componentes están configurados y estructurados con hardware y/o software para permitir tal realización. Los componentes de los dispositivos y/o sistemas pueden estar dispuestos para estar adaptados para, poder, o ser adecuados para, realizar las funciones, tal como cuando se hacen funcionar de una manera específica. El método 300 puede incluir una o más operaciones, funciones, o acciones tal como se ilustran mediante uno o más de los bloques 305-315. Aunque

los bloques se ilustran en un orden secuencial, algunos de estos bloques también pueden realizarse en paralelo, y/o en un orden diferente de los descritos en el presente documento. Además, los diversos bloques pueden combinarse para dar menos bloques, dividirse para dar bloques adicionales, y/o retirarse basándose en la implementación deseada.

5 Debe entenderse que, para este y otros procedimientos y métodos dados a conocer en el presente documento, los diagramas de flujo muestran funcionalidad y funcionamiento de una implementación posible de los presentes ejemplos. Con respecto a esto, cada bloque puede representar un módulo, un segmento, o una porción de código de programa, que incluye una o más instrucciones ejecutables por un procesador para implementar funciones o etapas lógicas específicas en el procedimiento. El código de programa puede estar almacenado en cualquier tipo de medio legible por ordenador o almacenamiento de datos, por ejemplo, tal como un dispositivo de almacenamiento incluyendo un disco o disco duro. Además, el código de programa puede codificarse en unos medios de almacenamiento legibles por ordenador en un formato legible por máquina, o en otros medios no transitorios o artículos de fabricación. El medio legible por ordenador puede incluir memoria o medio legible por ordenador no transitorio, por ejemplo, tal como medios legibles por ordenador que almacenan datos durante cortos periodos de tiempo tales como memoria de registro, memoria caché de procesador y memoria de acceso aleatorio (RAM). El medio legible por ordenador también puede incluir medios no transitorios, tales como almacenamiento secundario o persistente a largo plazo, tal como memoria de sólo lectura (ROM), discos ópticos o magnéticos, memoria de sólo lectura de disco compacto (CD-ROM), por ejemplo. Los medios legibles por ordenador también pueden ser cualquier otro sistema de almacenamiento volátil o no volátil. El medio legible por ordenador puede considerarse como un medio de almacenamiento legible por ordenador tangible, por ejemplo.

Además, cada bloque en la figura 12, y dentro de otros procedimientos y métodos dados a conocer en el presente documento, puede representar un conjunto de circuitos que está cableado para realizar las funciones lógicas específicas en el procedimiento. Se incluyen implementaciones alternativas dentro del alcance de los ejemplos de la presente invención en las que pueden ejecutarse funciones desordenadas con respecto a lo que se muestra o comenta, incluyendo de manera sustancialmente simultánea o en orden inverso, dependiendo de la funcionalidad implicada, tal como entenderán los expertos razonables en la técnica.

30 Visión general de la metodología

En el plano sagital hay dos relaciones fundamentales entre cinco parámetros que vinculan el acetábulo a la orientación pélvica. La primera relación es para los cambios rotacionales pélvicos inherentes en la construcción de la pelvis, concretamente la incidencia pélvica (PI) corresponde a la inclinación pélvica (PT) en combinación con la pendiente sacra (SS). La segunda relación es entre el cotilo acetabular y la pelvis a medida que ambos rotan en el espacio de tal manera que el ángulo sacroacetabular (SAA) corresponde a la anteinclinación (AI) en combinación con la pendiente sacra (SS). La PI y el SAA son constantes fijas a lo largo de cualquier posición mientras que PT, SS y AI son parámetros recíprocos que cambian en una razón de 1:1 a medida que la pelvis adopta diferentes posiciones. La PI y el SAA comparten el parámetro de SS, lo cual permite relacionar los diversos parámetros entre sí, por ejemplo, $PI-PT = SAA-AI$ que expresa los parámetros pélvicos a la izquierda y los parámetros acetabulares a la derecha.

Adicionalmente, estas ecuaciones pueden aplicarse cuando los parámetros se miden en diferentes posiciones funcionales, y pueden aplicarse a los datos que existen para medidas tomadas con el paciente en bipedestación y en sedestación antes de la cirugía. Los cirujanos de columna usan la relación de PI para ayudar a corregir deformidades de columna pero esto sólo se ha aplicado a la posición en bipedestación, y estos parámetros no se han gestionado a lo largo de diferentes posiciones. Por ejemplo, mover la pelvis y el cotilo acetabular entre las dos posiciones crea un delta o cambio numérico (dSS) cuando se aplica al valor de SS. La pelvis y el cotilo acetabular se mueven juntos ya que el cotilo acetabular está firmemente fijado al acetábulo, una parte de la pelvis. Los métodos de la presente invención contemplan superponer los componentes de las relaciones de PI y SAA en una reproducción lateral, tal como se muestra en la figura 3, ilustrando de ese modo nuevas relaciones angulares no conocidas o usadas anteriormente.

El efecto técnico de los métodos que aprovechan las razones entre estos parámetros angulares es determinar el grado al que cambios en un parámetro afectan a otro parámetro y cómo diferentes cantidades de movilidad afectan a parámetros relacionados con el cotilo acetabular. Con respecto a la pelvis, los cirujanos de columna han descrito que a medida que la PI cambia 10 grados, la SS cambia aproximadamente 6 grados y la PT 4 grados. La presente invención incluye métodos que determinan una razón refinada, empezando a PI de 15, SS de 15, y PT de 0 grados, cada aumento de 3 grados en la constante PI de la pelvis provoca un aumento de 2 grados en la SS, y un aumento de 1 grado en la PT, es decir, la razón inherente entre PI:SS:PT es 3:2:1. Estas relaciones geométricas únicas son $SS = 5 + 0,666PI$ y $PT = -5 + 0,333PI$. Por tanto, una PI de 45 grados en un individuo normal tendrá una SS en bipedestación de 35 grados, y una PT de 10 grados; asimismo, una PI de 60 grados produce una SS en bipedestación de 45 grados y una PT de 15 grados. Los valores de PT y SS cambian con respecto a esta relación normal en las personas a medida que envejecen y con la enfermedad, pero por cada grado de cambio en la SS, la PT cambiará 1 grado en el sentido opuesto, en los individuos estos parámetros son recíprocos.

Aprovechar los efectos de la posición y la movilidad pélvicas en los métodos de la presente invención permite ventajosamente una determinación de AI y SAA y una determinación de la posición espacial del cotilo acetabular y de la relación angular con respecto a la pelvis. Además, los métodos de la invención usan los parámetros del triángulo de Bodner, incluyendo el ángulo anteriormente no reconocido denominado ángulo acetabular pélvico PAA, en dos relaciones nuevas para mejorar la posición biomecánica entre el cotilo acetabular y la posición y movilidad pélvica.

Por ejemplo, la primera relación es $SAA + PAA = PI + 90$. Esto es análogo a $SS + PT = PI$, pero incluye medidas relacionadas con la posición del cotilo acetabular. Los resultados experimentales han mostrado que, cuando el movimiento pélvico medido (dSS) es de 25 grados, entonces $SAA = PAA$ y el triángulo de Bodner es un triángulo isósceles. Esta relación vincula geoméricamente el cotilo acetabular con un dSS conocido. En trabajos anteriores, se ha determinado una relación sagital para dSS con la posición y movilidad de cotilo usando datos de Stefl *et al.* para la media e intervalos de AI y SAA, lo cual confirmó que esta nueva relación era casi idéntica a cálculos de datos clínicos anteriores y reveló las razones exactas entre parámetros. Como tal, para cualquier valor de PI cuando dSS es de 25 grados, el $SAA = (PI + 90)/2$ y también es igual a $SS + AI$, lo cual funciona a cualquier dSS. Esta relación triangular también dicta que, de manera similar a parámetros de posición en las otras relaciones, SAA y PAA son recíprocos. Si el SAA cambia en un sentido, el PAA debe cambiar la misma cantidad en el otro sentido ya que el ángulo de vértice $90-PI$ nunca cambia y los 3 ángulos de un triángulo suman 180 grados. Por tanto, el PAA a dSS de 25 grados = $SAA = (PI + 90)/2$ así como la definición para cualquier dSS, $(90-AI) + PT$.

Los efectos geométricos se determinaron cuando este triángulo se desplazó en el espacio a lo largo de una movilidad diferente dSS. También se determinó el efecto de cambiar SS y PT que definen la posición pélvica con respecto a la norma facilitada por la razón de transmisión de 3:2:1 de la construcción. Estas razones maestras pasaron a ser $(3:2:1:-0,5:1,5)/(1,5:0,5)$ para $(PI:SS:PT:AI:SAA)/(PAA:dSS)$. Esto significa que, cuando dos pacientes normales presentan uno una PI de 54 y un segundo una PI de 60, los números del primer paciente serán SS de 41, PT de 13, AI de 31, SAA de 72, y los números del segundo paciente serán SS de 45, PT de 15, AI de 30, SAA de 75. Sin embargo, se desplazan en sentidos diferentes, cuando SS disminuye y PT aumenta, AI aumenta pero SAA disminuye, cuando SS aumenta y PT disminuye, AI disminuye y SAA aumenta. La razón de movilidad, es decir, cuando el dSS medido de un paciente no es de 25 grados sino que en vez de eso es cualquier otro número, por cada grado divergente con respecto a 25, tanto la AI en bipedestación como el SAA cambian 0,5 grados en sentido opuesto, aumentando la rigidez la AI en bipedestación y el SAA al tiempo que reduce la AI en sedestación y el PAA. Por ejemplo, cuando el dSS es de 20 grados, el SAA aumenta 2,5 grados, la AI aumenta 2,5 grados, el PAA disminuye 2,5 grados. Si el dSS pasa a 10 grados, el SAA y la AI en bipedestación aumentan cada uno 7,5 grados, mientras que la AI en sedestación y el PAA disminuyen cada uno 7,5 grados. La relación inherente del cotilo acetabular con la posición pélvica y con la movilidad de la pelvis son todas ellas relaciones lineales que aprovechan los métodos de la presente invención para personalizar la posición de cotilo acetabular. La AI es el único parámetro determinado de manera quirúrgica en todo el sistema para o bien para coincidir con la pelvis o bien para divergir de manera segura de la maquinaria pélvica usando los límites clínicos definidos en el trabajo de Stefl.

A partir de lo anterior, se observa una segunda relación de tal manera que, cuando $dSS = 25$ grados y SAA y PAA cada uno = $(90 + PI)/2$, entonces para $SAA = (90 + PI)/2 = AI + SS$, y para $PAA = (90 + PI)/2 = (90-AI) + PT$. Además, $PAA + (AI-PT) = 90$ ó $90-(AI-PT) = PAA$. Entonces pueden usarse datos normativos conocidos para $PI:SS:PT$ a dSS de 25 grados para crear "valores maestros" para la AI y el SAA del cotilo acetabular que se asemejan a esto: PI de 60, SS de 45, PT de 15, AI en bipedestación/sedestación de 30/55, SAA/PAA de 75, (AI-PT) de 15. Para PI de 45, SS de 35, PT de 10, AI en bipedestación/sedestación de 32,5/57,5, SAA/PAA de 67,5, (AI-PT) de 22,5. Esto puede realizarse para cualquier PI en la presentación. El último parámetro, (AI-PT), es el cociente dependiente de la posición y movilidad que se usa en la relación derivada; $PI + (AI-PT) = SAA$, que se define como la relación dominante unificadora que conecta los parámetros acetabulares y pélvicos. (AI-PT) cambia en la misma razón que SAA/PAA, es decir, cuando PI aumenta 3°, (AI-PT) disminuye 1,5°, al igual que PAA y de manera recíproca a SAA en cualquier cálculo de cotilo. Pueden emplearse ambas soluciones, el triángulo de Bodner que usa datos de SS en bipedestación en la presentación con una única corrección de la movilidad y la relación de AI-PT que requiere dos correcciones, una con respecto a la posición pélvica normativa y la segunda para la alteración en la movilidad de dSS desde 25 grados para llegar a AI, SAA, y PAA de cotilo geoméricamente óptimos. Los siguientes métodos de la presente invención aprovechan el comportamiento mecánico de la pelvis y el cotilo acetabular en el plano lateral permitiendo la determinación de coordenadas en el plano sagital para el cotilo acetabular de un paciente dado y también permiten una determinación de cuándo no debe colocarse el cotilo acetabular en sintonía con comportamiento espinopélvico aberrante. Por ejemplo, la enfermedad y degeneración dentro del sistema de columna vertebral-pelvis-cadera puede no ser compatible con métodos conocidos para colocación de cotilo acetabular. El cuerpo usa de manera involuntaria mecanismos de compensación para mantener la gravedad equilibrada en bipedestación y permitir que se produzca una acción de sentarse. Estos mecanismos pueden conducir a la pelvis a una posición espacial desfavorable y/o movilidad aberrante entre posturas que están más allá de una posición segura para el implante de cotilo acetabular. Los métodos de la presente invención incluyen posiciones de cotilo ajustadas para tales situaciones mecánicas en el plano sagital. Las coordenadas resultantes derivadas de la posición (inclinación), y de la movilidad pueden usarse (i) para aconsejar o guiar a cirujanos en la selección de la ubicación y orientación para la colocación del cotilo acetabular, (ii) para realizar un seguimiento de estos parámetros en el espacio para cirujanos en tiempo real, (iii) para realizar una conversión de biplano al plano

coronal que entienden de manera inherente los cirujanos, y (iv) vincular estas coordenadas con dispositivos de ejecución robóticos para hacer navegar el cotilo acetabular.

Métodos ejemplificativos

5 En una evaluación de paciente preoperatoria, se obtienen radiografías para observar vistas laterales en bipedestación y en sedestación desde la vértebra lumbar L1 hasta la quinta parte superior del fémur, una vista de pelvis anteroposterior ("AP") en bipedestación, tanto una vista AP como una lateral de la cadera y una vista de Budin modificada para la estimación de la versión de vástago femoral. Adicional o alternativamente, pueden obtenerse exploraciones de TAC transversales o imágenes de IRM para observar una o más de estas vistas. También se evalúa al paciente para evaluar la amplitud de movimiento de la cadera, incluyendo flexión, extensión, contracturas, rotación interna y rotación externa. Los valores biomecánicos a partir de mediciones derivadas de estas radiografías incluyen incidencia pélvica (PI), pendiente sacra (SS), inclinación pélvica (PT), delta (dSS) de la pendiente sacra (SS), ángulo femoral pélvico (PFA), longitud de pierna, desviación de cadera y centro de rotación, y versión femoral.

15 Haciendo ahora referencia a la figura 12, se ilustra un método 300 que usa el aparato 105 de determinación de plantillas preoperatorias o el dispositivo 110 de navegación y dispositivo informático de las figuras 1-2. El método 300 incluye, en el bloque 305, determinar un procesador una posición de cotilo acetabular sagital en forma de una anteinclinación (AI) en bipedestación, una AI en sedestación y un ángulo sacroacetabular (SAA) basándose en al menos uno de (i) una pendiente sacra (SS) en bipedestación de un primer paciente con respecto a una SS normativa, (ii) un delta de la pendiente sacra (dSS) del primer paciente entre una posición en bipedestación del primer paciente y una posición en sedestación erguida del primer paciente, (iii) una versión femoral del primer paciente, cuando la versión femoral corresponde a una posición atípica de versión femoral, y (iv) un ángulo femoral pélvico (PFA) del primer paciente que corresponde a una posición atípica de PFA en al menos una de una posición en bipedestación, una posición en sedestación erguida, o un delta entre la posición en bipedestación y la posición en sedestación erguida. Entonces, en el bloque 310, el procesador determina una posición de cotilo acetabular coronal en forma de una anteversión coronal en decúbito supino y al menos una de una anteversión e inclinación coronal en decúbito supino o en bipedestación basándose en la posición de cotilo acetabular sagital. A continuación, en el bloque 315, el procesador determina una AI en bipedestación posoperatoria y una AI en sedestación posoperatoria basándose al menos en la posición de cotilo acetabular coronal.

35 La AI en bipedestación posoperatoria y la AI en sedestación posoperatoria determinadas usando los métodos de la presente invención pueden usarse para colocar manualmente el cotilo acetabular en el primer paciente. Por ejemplo, un cirujano puede preparar y colocar el cotilo acetabular y el vástago con un dispositivo manual y confirmar la posición de cotilo acetabular basándose en realimentación informática. Alternativamente, un dispositivo robótico puede usar la AI en bipedestación posoperatoria y la AI en sedestación posoperatoria para la colocación del cotilo acetabular. Por ejemplo, un dispositivo de navegación con un sensor de seguimiento puede conectarse a un brazo mecánico que se mueve basándose en una trayectoria previamente planificada y posición coronal o sagital deseada del cotilo acetabular. También puede usarse la AI en bipedestación posoperatoria y la AI en sedestación posoperatoria, una vez convertidas a anteversión coronal, para la preparación acetabular y de fémur, mediante inclusión de consideraciones femorales para la planificación de una anteversión y movilidad combinadas apropiadas.

45 En una realización opcional, el método 300 incluye enviar el procesador al menos una de la posición de cotilo acetabular sagital y la posición de cotilo acetabular coronal a un procesador remoto eléctricamente acoplado a al menos uno de un aparato de determinación de plantillas preoperatorias o un dispositivo de navegación. En una realización, el procesador está eléctricamente acoplado a al menos uno de un aparato de determinación de plantillas preoperatorias o un dispositivo de navegación.

50 En otra realización, el método 300 incluye recibir el procesador una pluralidad de valores biomecánicos que incluyen una incidencia pélvica (PI), la pendiente sacra (SS), una inclinación pélvica (PT), el delta de la pendiente sacra (dSS), el ángulo femoral pélvico (PFA), una longitud de pierna, una desviación de cadera, un centro de rotación de la cadera, y la versión femoral basada en imágenes del primer paciente. En una realización adicional, recibir el procesador la pluralidad de valores biomecánicos que comprenden la incidencia pélvica (PI), la pendiente sacra (SS), la inclinación pélvica (PT), el delta de la pendiente sacra (dSS), el ángulo femoral pélvico (PFA), la longitud de pierna, la desviación de cadera, el centro de rotación de la cadera, y la versión femoral basándose en las imágenes del primer paciente, incluye recibir el procesador uno o más comandos de voz digitalizados que incluyen uno o más de la pluralidad de valores biomecánicos. En otra realización, el procesador está eléctricamente acoplado a un convertidor de audio digital configurado para digitalizar el uno o más comandos de voz.

60 En una realización alternativa, el método 300 incluye recibir el procesador la pluralidad de valores biomecánicos que comprenden la incidencia pélvica (PI), la pendiente sacra (SS), la inclinación pélvica (PT), el delta de la pendiente sacra (dSS), el ángulo femoral pélvico (PFA), la longitud de pierna, la desviación de cadera, el centro de rotación de la cadera, y la versión femoral basándose en las imágenes del primer paciente que incluye recibir el procesador una o más señales a partir de un módulo de entrada de usuario. Y la una o más señales incluyen uno o más de la pluralidad de valores biomecánicos.

- 5 En otra realización opcional, el método 300 incluye determinar o recibir el procesador una pluralidad de valores biomecánicos que comprenden una incidencia pélvica (PI), la pendiente sacra (SS) en bipedestación, una inclinación pélvica (PT), el delta de la pendiente sacra (dSS), el ángulo femoral pélvico (PFA), una longitud de pierna, una desviación de cadera, un centro de rotación de la cadera, y la versión femoral basándose en una o más imágenes que incluyen el primer paciente que muestran una vista lateral en bipedestación desde una vértebra lumbar L1 hasta una quinta parte superior de a fémur, una vista lateral en sedestación desde la vértebra lumbar L1 hasta la quinta parte superior del fémur, una vista de pelvis anteroposterior (AP) en bipedestación, una vista AP de una cadera, una vista lateral de la cadera y una vista de Budin modificada.
- 10 En todavía otra realización opcional, el método 300 incluye proporcionar, mediante al menos uno de un elemento de visualización o un convertidor de audio digital, guiado o control intraoperatorio de un dispositivo de navegación basándose en al menos una de la posición de cotilo acetabular sagital y la posición de cotilo acetabular coronal. En una realización adicional, determinar la AI en bipedestación posoperatoria y la AI en sedestación posoperatoria basándose al menos en la posición de cotilo acetabular coronal incluye realizar un seguimiento el procesador de la anatomía del primer paciente y el cotilo acetabular en tiempo real. Y una pluralidad de sensores están acoplados a uno o más del cotilo acetabular, la anatomía del primer paciente y el dispositivo de navegación y la pluralidad de sensores están eléctricamente acoplados al procesador. En otra realización opcional, el convertidor de audio digital está configurado para permitir la comunicación bidireccional entre un cirujano y el procesador.
- 15 En otra realización, el método 300 incluye proporcionar el elemento de visualización imágenes que muestran una posición espacial y una orientación del cotilo acetabular en tiempo real. En una realización adicional, el método incluye determinar el procesador una orientación de un componente femoral.
- 20 En todavía otra realización opcional, el método 300 incluye alinear el procesador la anatomía del primer paciente con una mesa de operaciones. En una realización adicional, el procesador sincroniza la anatomía alineada del primer paciente con una trayectoria de tratamiento de un brazo robótico de un dispositivo de navegación y con al menos una de la posición de cotilo acetabular sagital y la posición de cotilo acetabular coronal.
- 25 En otra realización, el método 300 incluye confirmar un dispositivo de localización una pluralidad de parámetros de colocación en una pluralidad de planos después de implantar un cotilo acetabular en el primer paciente. En una realización adicional, el método 300 incluye medir un dispositivo de localización cambios en un estado posoperatorio con respecto a un estado preoperatorio después de implantar un cotilo acetabular en el primer paciente.
- 30 En aún otra realización, el método 300 incluye determinar el procesador al menos una recomendación para un tipo de implante, un plan de tratamiento o un consejo quirúrgico basándose en datos históricos a partir de una pluralidad de pacientes. Los datos históricos incluyen una pluralidad de posiciones de cotilo acetabular coroneales, una pluralidad de valores biomecánicos coroneales o sagitales y cambios medidos en un estado posoperatorio con respecto a un estado preoperatorio. El método también incluye proporcionar al menos uno de un elemento de visualización o convertidor de audio digital la al menos una recomendación determinada a un cirujano.
- 35 En una realización opcional, el método incluye almacenar el procesador datos asociados con el primer paciente. Los datos incluyen la posición de cotilo acetabular coronal, una pluralidad de valores biomecánicos coroneales o sagitales y cambios medidos en un estado posoperatorio con respecto a un estado preoperatorio.
- 40 Tal como se comentó anteriormente, un medio legible por ordenador no transitorio que tiene almacenadas en el mismo instrucciones de programa que, al ejecutarse por un procesador, pueden usarse para provocar la realización de cualquiera de las funciones de los métodos anteriores de la presente invención.
- 45 Como ejemplo, un medio legible por ordenador no transitorio que tiene almacenadas en el mismo instrucciones de programa que, al ejecutarse por un procesador, provocan la realización de métodos que incluyen determinar el procesador una posición en bipedestación y la posición en sedestación erguida. Entonces, el procesador determina una posición de cotilo acetabular coronal en forma de una anteversión coronal en decúbito supino y al menos una de una inclinación coronal en decúbito supino o en bipedestación basándose en la posición de cotilo acetabular sagital. A continuación, el procesador determina una AI en bipedestación posoperatoria y una AI en sedestación posoperatoria basándose al menos en la posición de cotilo acetabular coronal.
- 50
- 55
- 60

Ejemplo 1

- 65 Un hombre de 57 años de edad con una altura de 1,65 m (5'5") y un peso de 77 kg (170 lbs) acude con artritis de

cadera izquierda. El paciente tiene movimiento normal con una pequeña contractura de articulación en flexión. Sus datos de radiografía son los siguientes; la incidencia pélvica PI es de 54, la pendiente sacra SS en bipedestación/sedestación es de 27/9 de tal manera que su dSS es de 18 grados, el PFA en bipedestación/sedestación es de 200/139 de tal manera que su dPFA es de 61, la lordosis lumbar en bipedestación/sedestación es de 43/21 de tal manera que el dLL es de 22. En este ejemplo, no se dispone de una evaluación de radiografía preoperatoria de su anteversión femoral. Obsérvese que, en situaciones alternativas, pueden usarse exploraciones de TAC transversales o imágenes de IRM para obtener datos sagitales y/o coronales. Se usa la lordosis lumbar y dLL para evaluar la rigidez de la columna pero en última instancia no se usan para determinar la posición de cotilo acetabular.

Para determinar la posición de cotilo acetabular en el plano sagital, métodos ejemplificativos de la presente invención determinan tres valores. La primera determinación es la posición de cotilo normal o posición de cotilo estructural para cualquier paciente con una incidencia pélvica PI de 54. La segunda determinación es el ajuste de la inclinación pélvica PT (es decir, el ajuste para la desviación en bipedestación de este paciente con respecto a la de la norma en bipedestación). La tercera determinación es el dSS (es decir, el ajuste para esa posición de cotilo basándose en el valor de movilidad pélvica del paciente).

Los métodos para derivar estos valores se describieron anteriormente en la invención. Además, las relaciones $PI = SS + PT$ y $SAA = SS + AI$ pueden reescribirse como $PI + (AI - PT) = SAA$, donde la incidencia pélvica PI y el ángulo sacroacetabular SAA son valores constantes. El ajuste de la inclinación pélvica PT y el ajuste de la movilidad pélvica dSS determinan valores para AI (y, por tanto, para SAA). Para cualquier paciente dado, la incidencia pélvica PI medida está fijada, pero en el momento de la presentación quirúrgica el valor de inclinación pélvica PT puede ser significativamente diferente o no con respecto al valor de inclinación pélvica PT normativo asociado con esa incidencia pélvica PI. Para determinar la anteinclinación AI de un paciente basándose en las relaciones anteriores, debe realizarse una determinación de la SS o PT del paciente con respecto al valor normativo para su incidencia pélvica PI para obtener la anteinclinación AI ajustada para la inclinación (y valor de SAA). Entonces, debe ajustarse adicionalmente la anteinclinación AI ajustada para la inclinación para tener en cuenta la diferencia de movilidad dSS con respecto a los 25 grados normativos. Por cada grado que diverge la inclinación pélvica PT con respecto al valor de inclinación pélvica PT normativo, se ajusta la anteinclinación AI 0,25 grados en el mismo sentido positivo o negativo. Por tanto, si la PT aumenta, entonces la AI aumenta y viceversa. Entonces, la anteinclinación AI ajustada resultante se ajusta una segunda vez para tener en cuenta la diferencia de la movilidad con respecto a 25 grados, de tal manera que la AI se aumenta 0,5 grados por cada grado de divergencia de dSS menor que los 25 grados normativos y se reduce 0,5 grados por cada grado de divergencia de dSS mayor de 25 grados. Usar esta AI ajustada dos veces y restar la PT y después sumar la PI dará como resultado el valor de SAA para determinar la posición mecánica óptima del cotilo acetabular.

Los métodos de la presente invención se usaron para determinar las relaciones estructurales entre incidencia pélvica PI, pendiente sacra SS, e inclinación pélvica PT. Por ejemplo, se determinó una razón de tal manera que, empezando en la ordenada en el origen o punto 0 de la PT, y la incidencia pélvica PI a 15 grados, cada aumento de 3 grados en la incidencia pélvica PI crea un aumento de 2 grados en la pendiente sacra SS y un aumento de 1 grado en la inclinación pélvica PT. En otro ejemplo, por cada aumento de 10 grados en la incidencia pélvica PI, la pendiente sacra SS aumenta 6,67 grados y la inclinación pélvica PT aumenta 3,33 grados, una razón de 3:2:1 para PI:SS:PT. Esta determinación permite determinar un valor normativo para la incidencia pélvica PI de un paciente dado. Estas relaciones son $SS = 5 + 0,666PI$ y $PT = -5 + 0,333PI$.

Además, normalmente se considera que la incidencia pélvica PI media es de aproximadamente 53 grados, lo que corresponde a una pendiente sacra SS de aproximadamente 40 grados y una inclinación pélvica PT de 13 grados. Usando la razón determinada usando los métodos de la presente invención, una incidencia pélvica PI de 53 grados tiene una pendiente sacra SS de 40,33 grados y una inclinación pélvica PT de 12,67 grados. El resultado es una tabla de valores normativos para la incidencia pélvica PI, pendiente sacra SS e inclinación pélvica PT basándose en esta razón de 3:2:1 proporcionada en la figura 11. La PI parece describir una relación de pendiente sinusoidal entre la distancia entre el centro de la cadera y el centro de S1, en la que la hipotenusa de un ángulo rectángulo construido puede describirse como $1/\tan(90-PT)$. A medida que aumenta PI, la razón de la desviación horizontal entre los centros de cadera y sacro aumenta con respecto a la distancia vertical entre los dos puntos. Todos estos cambios físicos se producen para proporcionar una razón fija de 3:2:1 entre PI, SS, y PT de tal manera que por cada 3 grados que cambia la PI, el ángulo de SS cambia 2 grados y la PT cambia 1 grado. Con una ordenada en el origen para la PT a 15 grados de PI y SS, puede realizarse una determinación de los valores normativos geométricos absolutos para cualquier pelvis, dando la razón de SS/PT una razón de eficiencia postural relativa entre diferentes ángulos de PI.

Entonces se usaron los métodos de la presente invención para determinar cómo afectaba esta razón a la colocación de un cotilo acetabular implantado cuyos valores sagitales se conocen como AI y SAA. Específicamente, el triángulo de Bodner permite esta determinación.

Por ejemplo, la correlación entre la posición de la pelvis y la cadera se reflejan por las relaciones: $PI = PT + SS$ y $SS + AI = SAA$. Estas dos relaciones comparten un valor común, concretamente la pendiente sacra SS. Además, el

ángulo sacroacetabular SAA vincula la posición del cotilo acetabular a la pelvis. La presente invención reconoce por primera vez un ángulo acetabular pélvico PAA que crea una nueva relación entre la posición del cotilo acetabular y la pelvis para crear el triángulo de Bodner. El triángulo de Bodner tiene tres ángulos que corresponden al ángulo sacroacetabular SAA, al ángulo acetabular pélvico PAA y al vértice sacro de noventa grados menos la incidencia pélvica (90-PI). Los ángulos de triángulo de Bodner vinculan la posición del cotilo acetabular a la pendiente sacra SS, a la inclinación pélvica PT, y a la incidencia pélvica PI. La anteinclinación AI describe un ángulo con una extremidad midiendo por encima de la línea de referencia horizontal, esta misma línea se comparte tanto con el ángulo sacroacetabular SAA como con el ángulo acetabular pélvico PAA. Estas líneas son espacialmente idénticas y las tres líneas se crean por el cirujano en el momento de la colocación del cotilo acetabular (es decir, impacto) en el acetábulo de la pelvis. Una vez establecidos el ángulo sacroacetabular SAA y el ángulo acetabular pélvico PAA, pasan a ser constantes fijas y no cambian. Sólo la anteinclinación AI cambia en el mismo número de grados que rota la pelvis entre posiciones, la misma cantidad que la inclinación de la pelvis, PT, y de manera recíproca con respecto a la cantidad de SS, razones de 1:1. Como tal, la posición del cotilo acetabular se correlaciona con la posición de la cadera mediante la relación demostrada en el triángulo de Bodner.

Existe una condición en la que el triángulo de Bodner pasa a ser isósceles, lo que significa que $SAA = PAA$. Dado que este triángulo consiste en 3 constantes, esto significa que estos valores seguirán siendo los mismos en las posiciones tanto en bipedestación como en sedestación para un paciente dado. El triángulo de Bodner adopta esta forma isósceles cuando dSS es de 25 grados, y el ángulo sacroacetabular SAA, que siempre es igual a $SS + AI$, pasa a ser igual a $(PI + 90)/2$. Sustituyendo $(PI + 90)/2$ para $SS + AI$, el resultado es que la AI es el único valor restante por determinar. Esta determinación puede realizarse basándose en valores de incidencia pélvica PI para cualquier pendiente sacra SS asociada con la incidencia pélvica PI, lo cual proporcionará el ángulo sacroacetabular SAA y, por tanto, la anteinclinación AI.

Pasando al paciente en el presente ejemplo, el paciente tiene una incidencia pélvica PI de 54 grados. Como resultado, en una situación sana el paciente tendrá normalmente una pendiente sacra SS de 41 grados y una inclinación pélvica PT de 13 grados. Entonces, suponiendo que tenía 25 grados de movilidad, su ángulo sacroacetabular SAA será de $(54 + 90)/2 = 72$, haciendo que su anteinclinación AI en bipedestación sea de $72 - 41 = 31$. Y si el paciente tenía un dSS de 25 grados, su anteinclinación AI en sedestación será de $31 + 25 = 56$. Lo anterior serán los valores de nivel inicial convencionales para el paciente.

Sin embargo, el paciente acudió con una pendiente sacra de 27 grados, en vez de 41 grados, y su dSS es de 18 grados, no de 25 grados. Con el fin de determinar el ángulo de cotilo acetabular a la vista de la presente pendiente sacra SS y permitir 25 grados de movilidad pélvica, puede usarse la razón para PI:SS:PT determinada mediante los métodos de la presente invención. En este caso, una incidencia pélvica PI de 33 grados tiene una pendiente sacra de norma SS de 27 grados, un ángulo sacroacetabular SAA de 61,5 grados y una anteinclinación AI de 34,5 grados. La pendiente sacra SS en bipedestación proporciona una anteinclinación en bipedestación ajustada para la AI, independientemente de la incidencia pélvica PI, en este caso de 34,5 grados.

El triángulo de Bodner, una vez establecido mediante colocación del cotilo acetabular (es decir, impacto), se desplaza en el espacio entre las posiciones en bipedestación y en sedestación, y el cotilo acetabular se desplaza exactamente en la misma cantidad angular y sentido. Sin embargo, la cantidad de movilidad pélvica, tal como se mide mediante dSS, tiene un efecto sobre la determinación del ángulo del cotilo acetabular preferido. Un cambio de 25 grados entre las posiciones en bipedestación y en sedestación no requiere ninguna alteración en la posición ajustada para la inclinación del cotilo acetabular. Pero, por cada grado que se desvía el dSS con respecto a los 25 grados normativos de movilidad pélvica, tanto la anteinclinación AI como el ángulo sacroacetabular SAA se desplazan 0,5 grados. Por ejemplo, cuando el dSS es menor de 25 grados, el ángulo sacroacetabular SAA y la anteinclinación AI aumentan en 0,5, y cuando el dSS es mayor 25 grados, el ángulo sacroacetabular SAA y la anteinclinación AI disminuyen en 0,5.

Teniendo en cuenta la movilidad pélvica dSS del paciente de 18 grados, $25 - 18 = 7$, de tal manera que el paciente tiene una rigidez 7 grados mayor que la norma. Aplicando los métodos de la presente invención, la anteinclinación AI y el ángulo sacroacetabular SAA del paciente se aumentan 3,5 grados. Además, basándose en los valores medidos reales del paciente tal como se presentaron anteriormente, su posición de cotilo acetabular mecánica final se basa en una anteinclinación AI en bipedestación de $34,5 + 3,5 = 38$ y su anteinclinación AI en sedestación es de $38 + 18 = 56$. Se determina que su valor de ángulo sacroacetabular SAA es de $61,5 + 3,5 = 65$. Por tanto, por cada grado que disminuye la pendiente sacra SS o aumenta la inclinación pélvica PT con respecto al valor normativo de incidencia pélvica PI, la anteinclinación AI aumenta 0,25 grados y el ángulo sacroacetabular SAA disminuye 0,75 grados. El cambio en el ángulo sacroacetabular SAA se determina mediante $PI + (AI - PT) = SAA$. Y el parámetro (AI-PT) disminuirá 0,75 grados a medida que la anteinclinación AI aumenta 0,25 grados, porque se resta la inclinación pélvica PT y la PT se mueve en el mismo sentido que se mueve la anteinclinación AI. Una vez más, cuando la pelvis vuelve 1 grado, la inclinación pélvica PT aumentará 1 grado con respecto al valor normativo, la anteinclinación AI (es decir, la anteversión de cotilo acetabular) aumenta 0,25 grados y el parámetro (AI-PT) pasa a ser $(0,25 - 1) = -0,75$ lo cual refleja el cambio en el valor de ángulo sacroacetabular SAA.

Basándose en lo anterior, el paciente tiene un plan mecánico para la colocación de su cotilo acetabular, con un

ángulo sacroacetabular SAA de 65 grados y una anteinclinación AI en bipedestación/sedestación de 38/56. La mayoría de los pacientes no cambian su pendiente sacra SS en bipedestación de manera posoperatoria. Como tal, el enfoque durante la cirugía es colocar un cotilo acetabular usando guiado por fluoroscopia de plano lateral creando un ángulo sacroacetabular SAA de 65 grados sobre la mesa de operaciones. Entonces se determinan los valores coronales del paciente con el fin de usar un control fluoroscópico para ver la inclinación coronal que se mide como un ángulo. Los métodos de la presente invención se usan para seleccionar como diana la anteversión del cotilo acetabular basándose en el ángulo sacroacetabular SAA y la inclinación coronal convirtiendo valores sagitales en valores coronales.

La conversión de sagital a coronal se lleva a cabo superponiendo las coordenadas sagitales sobre las coordenadas coronales dependientes de la movilidad publicadas por el Dr. Dorr. Dependiendo del paciente, estas coordenadas coronales dependientes de la movilidad están en forma de un intervalo de 10x10 grados para la movilidad normal, un intervalo de 5x5 grados para movilidad rígida y un intervalo de 5x8 grados para hipermovilidad. Esta conversión representa 35-50 grados de inclinación coronal y 12-25 grados de anteversión. La conversión superó una anteversión en decúbito supino de 25 grados para tener en cuenta casos de incidencia pélvica PI muy alta, muy rígida, y alta pendiente sacra SS en bipedestación de tal manera que la anteversión coronal necesitará aproximarse más a 30 grados. El ángulo al que se superponen las coordenadas sagitales con respecto al plano coronal tendrá algún efecto sobre el ángulo de conversión, pero puede usarse una estimación razonable de este valor. Métodos de aprendizaje automático de la presente invención permiten que un procesador en el sistema aprenda a partir de resultados de colocación de cotilo acetabular para mejorar la conversión de sagital a coronal a lo largo del tiempo. Los métodos de la presente invención se han confirmado clínicamente con aproximadamente 50 procedimientos.

Con los valores de conversión sagital, en principio puede determinarse la anteversión AI sin recurrir al triángulo de Bodner, proporcionando de ese modo un valor de ángulo sacroacetabular SAA óptimo. Por ejemplo, puede usarse la relación $PI + (AI-PT) = SAA$ basándose en el valor de movilidad de la pelvis dSS a partir de los valores sagitales determinados y medidos anteriormente. Con respecto al paciente del presente ejemplo, su incidencia pélvica PI es de 54 grados y su PT medida es 14 grados más que su valor de PT normativo. Su anteinclinación AI ajustada para la inclinación suma $0,25 \times 14 = 3,5$ grados a este valor de anteinclinación AI normativo de 31 grados, dando como resultado una AI ajustada para la inclinación final de $31 + 3,5 = 34,5$ grados. Y su ajuste de movilidad pélvica tanto para AI como para SAA es de $0,5 \times (25-18) = 3,5$, dando una anteinclinación AI en bipedestación final de $34,5 + 3,5 = 38$ y SAA de $38 + 27$ (su SS en bipedestación preoperatoria medida) = 65. Los valores anteriores se basan en razones de conversión, en vez del triángulo de Bodner, como implementación alternativa de los métodos de la presente invención.

Pasando al triángulo de Bodner, $SAA-(AI-PT) = PI$ y el complemento es $PAA + (AI-PT) = 90$. Pueden usarse las mismas razones de conversión dadas a conocer anteriormente para determinar la anteinclinación AI y el ángulo acetabular pélvico PAA. Además, el ángulo sacroacetabular SAA puede determinarse mediante $(90 + PI)-PAA = SAA$.

A la vista de lo anterior, hay seis parámetros que deben considerarse cuando se determinan los valores normativos basándose en la incidencia pélvica PI, y después ajustarse para determinar la posición de cotilo acetabular individual cuando la posición y movilidad pélvica del paciente se han desviado con respecto a valores estructurales de bipedestación a sedestación. El primer conjunto son las razones morfológicas a medida que la PI cambia de un valor a otro, estas razones son $PI:SS:PT:AI:SAA = 3:2:1:0,5:1,5$, siendo el sexto parámetro la corrección de movilidad dSS de 0,5. Con las razones anteriores, puede presentarse en tablas un conjunto completo de valores normativos. Cuando un paciente individual presenta valores alterados para reemplazo de cadera, la posición de cotilo ajustada para la inclinación puede determinarse a partir de los datos normativos mediante estas razones de conversión individuales, $SS:PT:AI:SAA:dSS = 1:1:0,25:0,75:0,5$. El conjunto anterior puede usarse para ilustrar el cambio en los valores de cotilo entre pacientes cuando la incidencia pélvica PI aumenta 1 grado, entonces $PI(+1) + [AI(-0,17) - PT(0,33)] = SAA$ o $1 + (-0,5) = +0,5$, lo cual significa que a medida que la incidencia pélvica PI aumenta un grado, el cociente $(AI-PT)$ disminuye 0,5 grados, dando como resultado un aumento de ángulo sacroacetabular SAA de 0,5 grados, concretamente el efecto de un cambio en la incidencia pélvica PI sobre la posición de cotilo acetabular y el ángulo sacroacetabular SAA. Para un paciente individual con una incidencia pélvica PI fijada y una pendiente sacra SS e inclinación pélvica PT variables, la misma relación tiene una solución diferente, pasa a ser $PI(+0) + [AI(0,25) - PT(1)] = SAA$. Dicho de otro modo, por cada grado que aumenta la inclinación pélvica PT, la anteinclinación AI aumenta 0,25 grados y el ángulo sacroacetabular SAA disminuye 0,75 grados. Esto representa las razones de ajuste de la inclinación antes de aplicarse la corrección de la movilidad de 0,5 grados (es decir, desviación con respecto a la norma de 25 grados) a los valores de anteinclinación AI y de ángulo sacroacetabular SAA.

El equilibrio espinopélvico global de la posición de cotilo acetabular del reemplazo de cadera puede describirse mediante la relación del ángulo sacroacetabular SAA con respecto al ángulo acetabular pélvico PAA, $SAA:PAA$. Cuando la relación del cotilo acetabular con respecto tanto a la SS (SAA) como a la PT (PAA) es igual, el sistema está equilibrado. Es decir, $SAA = PAA$, y eso se produce cuando SAA y PAA son ambos iguales a $(PI + 90)/2$. No siempre puede lograrse un sistema perfectamente equilibrado para un paciente dado y el mejor resultado posible puede estar desviado hacia el SAA cuando un paciente tiene movilidad rígida o una posición pélvica rotada hacia

delante persistente. Para un paciente de raza blanca típico con una incidencia pélvica PI de 54 grados, el SAA y el PAA equilibrados son ambos de 72 grados, es decir, $(54 + 90)/2$. Por tanto 72:72 describe una razón de SAA:PAA equilibrada (un equilibrio espinopélvico armonioso) para un reemplazo de cadera en un paciente normal con una incidencia pélvica PI de 54. A partir de las razones anteriores, esto sucede cuando dSS = 25 grados o cuando el efecto de una alteración en la posición pélvica se contrarresta mediante una alteración debida a la movilidad. Se encuentra rigidez mediante una pendiente sacra SS reducida, mientras que se encuentra una movilidad dSS aumentada mediante una pendiente sacra SS aumentada. La movilidad pélvica clínicamente normal en pacientes que presentan THA es de 20 grados de bipedestación a sedestación de tal manera que la razón de SAA:PAA para un paciente típico con una PI de 54 y 20 grados de movilidad pasa a ser de 74,5:69,5. Estos son los valores para SAA y PAA derivados a partir de relaciones y determinaciones basándose en triángulo de Bodner, cuando la incidencia pélvica PI es de 54 y el dSS es de 20. El paciente en el presente ejemplo con una incidencia pélvica PI de 54 tiene una razón de SAA:PAA de 65:79. Como tal, está significativamente desviado de la razón de SAA:PAA equilibrada de 72/72, porque está más rígido pero hay un efecto mucho mayor a partir de su pendiente sacra SS en bipedestación reducida que reduce eficazmente el SAA y aumenta el PAA.

En resumen, las condiciones que aumentan el SAA y reducen el PAA reducen la movilidad dSS (rigidez pélvica), y aumentan la posición de inclinación pélvica hacia delante (es decir, aumentan la pendiente sacra SS y reducen la inclinación pélvica PT). Las condiciones que reducen el SAA y aumentan el PAA aumentan la movilidad dSS y aumentan la posición espacial pélvica hacia atrás (es decir, reducen la pendiente sacra SS y aumentan la inclinación pélvica PT). Las condiciones que aumentan tanto el SAA como el PAA aumentan por tanto la incidencia pélvica PI, mientras que las condiciones que reducen tanto el SAA como el PAA reducen por tanto la incidencia pélvica PI. Dicho de otro modo, el ángulo sacroacetabular SAA aumenta y ángulo acetabular pélvico PAA disminuye, cuando disminuye la movilidad pélvica y la pelvis se inclina hacia delante. El ángulo sacroacetabular SAA disminuye y el ángulo acetabular pélvico PAA aumenta, cuando aumenta la movilidad pélvica y la pelvis se inclina hacia atrás.

El paciente en el presente ejemplo tiene una postura en bipedestación comprometida. Específicamente, su pelvis está significativamente inclinada (rotada) en sentido posterior, impulsando su ángulo sacroacetabular SAA hacia abajo. Pero la movilidad pélvica reducida, que aumenta el ángulo sacroacetabular SAA, no compensa lo suficiente como para recuperar un equilibrio absoluto en el que SAA = PAA. Como resultado, su posición de cotilo acetabular óptima está desviada hacia el lado de inclinación pélvica PT, el lado de PAA que es mayor que su lado de pendiente sacra, el lado de SAA. Como resultado, la razón de SAA:PAA permite la determinación de una relación espacial del cotilo acetabular con respecto a la alineación de columna y cadera deteriorada del paciente individual.

A continuación, se determina que la relación de la posición del cotilo acetabular con respecto al fémur satisface el parámetro conocido como anteversión combinada. Se acepta la anteversión de cotilo coronal tal como se mide mediante una metodología de elipse en la radiografía AP y sumando la misma a la anteversión femoral tal como se estima visualmente en el momento de la cirugía o haciendo coincidir el fémur con una exploración de TAC preoperatoria y usando navegación para obtener un número. La versión femoral se basa en la relación de la posición del centro de la cabeza del componente femoral con respecto al eje longitudinal del fémur, se determina un ángulo a partir de la línea condilar posterior de la rodilla (creando esencialmente una línea de referencia horizontal interna) y la desviación del cuello del componente femoral con respecto a esta línea de referencia. Se suma este ángulo a la anteversión coronal del cotilo acetabular para obtener un intervalo de 25-45 grados entre la versión femoral y la versión coronal del cotilo (normalmente en los hombres oscila entre 25-37 y en las mujeres oscila entre 30-45). La versión femoral oscila normalmente entre 7-20 y normalmente el intervalo de anteversión coronal de cotilo es de desde 15-25. Si la versión femoral está por debajo de 5 grados o por encima de 25 grados, es mejor cambiar la versión femoral, lo cual es difícil con los componentes femorales ajustados a presión sin cemento preferidos. El resultado intraoperatorio es que los cirujanos que usan la anteversión combinada como guía pueden elegir modificar la versión de cotilo acetabular con respecto al plan mecánico descrito anteriormente y permitir que el implante de vástago femoral encuentre su asentamiento sin alterar.

Puede aplicarse una segunda corrección a la movilidad femoral atípica, una medida diferente de la versión de cotilo femoral. Esto se mide como otro parámetro sagital a medida que se mueve el fémur en el plano sagital. El valor es el ángulo femoral pélvico (PFA) del Dorr y el ángulo sacro-femoral (SFA) de cirujanos de columna. Los valores atípicos están normalmente asociados con; 1) rigidez de la pelvis dado que se ha encontrado que el PFA aumenta 0,9 grados por cada grado perdido de dSS conduciendo a un delta de PFA aumentado y 2) PT en bipedestación elevada, asociada con un alto PFA en bipedestación y una baja PT en sedestación, asociado con un bajo PFA en sedestación. El parámetro sagital definido como que predice una colocación de cotilo segura funcional se denomina índice sagital combinado (CSI) y se mide como la suma de $AI + PFA = CSI$. CSI es un valor dependiente de la posición y de la PI. El CSI tiene valores tanto en bipedestación como en sedestación que oscilan entre un límite superior para evitar un valor de CSI en bipedestación alto que puede dar como resultado una dislocación anterior y un límite inferior para evitar un valor de CSI en sedestación bajo que puede dar como resultado una dislocación posterior. Los pacientes con incidencia pélvica PI baja son particularmente propensos a un valor de CSI en sedestación bajo. Para tener esto en cuenta, los métodos de la presente invención ajustan la anteinclinación AI hacia arriba en una escala deslizante, dependiendo de lo bajo que sea el PFA por debajo del valor normal de 120 grados. Asimismo, si un paciente tiene un valor de CSI en bipedestación por encima de 197, los métodos de la presente invención ajustan la anteinclinación AI hacia abajo en una escala deslizante. Este ajuste es opcional, pero

no se requiere, para la colocación de cotilo acetabular. Los valores atípicos de PFA están asociados con frecuencia con rigidez y las correcciones dirigidas para la rigidez pueden resolver la mayoría de los problemas. Garantizar una desviación coronal y longitud de pierna apropiada o aumentada puede resolver el resto.

5 Finalmente, los valores correspondientes a los valores de cotilo acetabular determinados pueden modificarse adicionalmente basándose en la profundidad anatómica natural y versión del acetábulo del paciente. Por ejemplo, un paciente puede presentar una coincidencia errónea entre la posición determinada para el cotilo acetabular y la profundidad del cotilo que el acetábulo puede aceptar sin que el cotilo se salga de la cavidad del acetábulo.

10 Además, en una realización opcional, las relaciones descritas en el presente documento, incluyendo la conversión de sagital a coronal, se proporcionarán en unos medios legibles por ordenador tangibles con instrucciones para la ejecución en uno o más procesadores para un aparato de determinación de plantillas preoperatorias y/o un sistema de navegación intraoperatorio. En total, toda esta información de direccionamiento puede confirmarse entonces en una simulación informática que define una secuencia de "amplitud de movimiento hasta interferencia" usando
15 simultáneamente posiciones de biplano sagital y coronal.

Ejemplo 2

20 Sólo hay una posición de cotilo acetabular ajustada para la inclinación para cualquier pendiente sacra SS en bipedestación en la presentación independientemente de la incidencia pélvica PI. Dicho de otro modo, la posición de cotilo acetabular no depende de la construcción de la pelvis con respecto a la incidencia pélvica PI. En vez de eso, la posición de cotilo acetabular depende de la posición pélvica en la presentación tal como se mide mediante la pendiente sacra SS tal como se describe en este caso o mediante la inclinación pélvica PT basándose en la relación
25 $PAA + (AI-PT) = 90$. El resultado es que el paciente del ejemplo 1 anterior y el paciente en el presente ejemplo 2 tienen ambos un cotilo acetabular posicionado en la misma orientación, pero el equilibrio entre el cotilo acetabular y la pelvis tal como se determina mediante los valores de pendiente sacra SS y de inclinación pélvica PT con respecto a su incidencia pélvica PI respectiva será diferente.

30 Por ejemplo, una mujer que tiene una incidencia pélvica PI de 45 grados, cuando tenía 20 años de edad, también tenía una pendiente sacra SS en bipedestación de 35 con una inclinación pélvica PT de 10 grados, lo cual es una distribución normal. A los 65 años de edad, la misma mujer tiene ahora una pendiente sacra SS en bipedestación de 30 grados y una inclinación pélvica PT de 15 grados, y su posición de cotilo interoperatoria ajustada para la inclinación se basará en su pendiente sacra SS actual de 30. Un segundo paciente presenta una incidencia pélvica PI de 35 grados pero también tiene una pendiente sacra SS en bipedestación en la presentación de 30 grados y una
35 inclinación pélvica PT de 5 grados. Las posiciones de cotilo en bipedestación ajustadas para la inclinación de ambos de estos paciente serán las mismas, dado que la posición de cotilo se basa en su pendiente sacra SS en bipedestación en la presentación de 30 grados. Ambos pacientes tendrán una anteinclinación de cotilo AI ajustada para la inclinación de 33,75 grados en bipedestación y su ángulo sacroacetabular SAA será de 63,75 grados. Cuando se determina el dSS de un paciente, puede aplicarse un ajuste a esta posición de anteinclinación AI en
40 bipedestación para determinar la anteinclinación AI en sedestación, y para ajustar de manera similar el ángulo sacroacetabular SAA para obtener la posición de cotilo de lado acetabular mecánica dependiente de la inclinación y de la movilidad. En este ejemplo, si el paciente 1 tiene un dSS de 15 grados, su AI en bipedestación se cambia a 38,75 y en sedestación pasa a ser de 53,75 con un SAA de 68,75, si el paciente 2 tiene un dSS de 35 grados, su AI en bipedestación disminuye hasta 28,75 y en sedestación pasa a ser de 63,75 con un SAA de 58,75.

45 La descripción de diferentes disposiciones ventajosas se ha presentado con fines de ilustración y descripción, y no se pretende que sea exhaustiva o se limite a los ejemplos en la forma dada a conocer. Muchas modificaciones y variaciones resultarán evidentes para los expertos habituales en la técnica. Además, diferentes ejemplos ventajosos pueden describir diferentes ventajas en comparación con otros ejemplos ventajosos. El ejemplo o ejemplos
50 seleccionados se eligen y se describen con el fin de explicar de la mejor manera los principios de los ejemplos, la aplicación práctica, y permitir que otros expertos habituales en la técnica entiendan la invención para diversos ejemplos con diversas modificaciones tal como resultan adecuados para el uso particular contemplado.

REIVINDICACIONES

1. Método, que comprende:

5 recibir, mediante un procesador, una pluralidad de valores biomecánicos que comprenden una incidencia pélvica, PI, una pendiente sacra, SS, una inclinación pélvica, PT, un delta de la pendiente sacra, dSS, un ángulo femoral pélvico, PFA, una longitud de pierna, una desviación de cadera, un centro de rotación de la cadera, y una versión femoral basada en imágenes de un primer paciente;

10 determinar (305), mediante un procesador, una posición de cotilo acetabular sagital en forma de una anteinclinación, AI, en bipedestación, una AI en sedestación y un ángulo sacroacetabular, SAA, basándose en al menos uno de (i) la pendiente sacra en bipedestación del primer paciente con respecto a una SS normativa, (ii) el delta de la pendiente sacra del primer paciente entre una posición en bipedestación del primer paciente y una posición en sedestación erguida del primer paciente, (iii) la versión femoral del primer paciente, cuando la versión femoral corresponde a una posición atípica de versión femoral, y (iv) el ángulo femoral pélvico del primer paciente que corresponde a una posición atípica de PFA en al menos una de la posición en bipedestación, la posición en sedestación erguida, o un delta entre la posición en bipedestación y la posición en sedestación erguida, en el que el ángulo acetabular pélvico, PAA, se refiere a un ángulo que corresponde a $(90-AI) + PT$, en el que se usa una o más de las siguientes relaciones para determinar la AI en bipedestación, la AI en sedestación, y el SAA

(i) $SAA + PAA = PI + 90$;

25 (ii) una razón maestra de $(3:2:1:-0,5:1,5)/(1,5:0,5)$ para $(PI:SS:PT:AI:SAA)/(PAA:dSS)$; y

(iii) $PI + (AI-PT) = SAA$;

30 determinar (310), mediante el procesador, una posición de cotilo acetabular coronal en forma de una anteversión coronal en decúbito supino y al menos una de una anteversión e inclinación coronal en decúbito supino o en bipedestación basándose en la posición de cotilo acetabular sagital; y

determinar (315), mediante un procesador, una AI en bipedestación posoperatoria y una AI en sedestación posoperatoria basándose al menos en la posición de cotilo acetabular coronal.

35 2. Medio legible por ordenador no transitorio que tiene almacenadas en el mismo instrucciones de programa que, al ejecutarse por un procesador, provocan la realización de un método que comprende:

40 recibir, mediante un procesador, una pluralidad de valores biomecánicos que comprenden una incidencia pélvica, PI, una pendiente sacra, SS, una inclinación pélvica, PT, un delta de la pendiente sacra, dSS, un ángulo femoral pélvico, PFA, una longitud de pierna, una desviación de cadera, un centro de rotación de la cadera, y una versión femoral basada en imágenes de un primer paciente;

45 determinar (305) el procesador una posición de cotilo acetabular sagital en forma de una anteinclinación, AI, en bipedestación, una AI en sedestación y un ángulo sacroacetabular, SAA, basándose en al menos uno de (i) la pendiente sacra en bipedestación del primer paciente con respecto a una SS normativa, (ii) el delta de la pendiente sacra del primer paciente entre una posición en bipedestación del primer paciente y una posición en sedestación erguida del primer paciente, (iii) la versión femoral del primer paciente, cuando la versión femoral corresponde a una posición atípica de versión femoral, y (iv) un ángulo femoral pélvico del primer paciente que corresponde a una posición atípica de PFA en al menos una de la posición en bipedestación, la posición en sedestación erguida, o un delta entre la posición en bipedestación y la posición en sedestación erguida en el que el ángulo acetabular pélvico, PAA, se refiere a un ángulo que corresponde a $(90-AI) + PT$, en el que se usa una o más de las siguientes relaciones para determinar la AI en bipedestación, la AI en sedestación, y el SAA

55 (iv) $SAA + PAA = PI + 90$;

(v) una razón maestra de $(3:2:1:-0,5:1,5)/(1,5:0,5)$ para $(PI:SS:PT:AI:SAA)/(PAA:dSS)$; y

60 (vi) $PI + (AI-PT) = SAA$;

determinar (310) el procesador una posición de cotilo acetabular coronal en forma de una anteversión coronal en decúbito supino y al menos una de una anteversión e inclinación coronal en decúbito supino o en bipedestación basándose en la posición de cotilo acetabular sagital; y

65 determinar (315) el procesador una AI en bipedestación posoperatoria y una AI en sedestación posoperatoria basándose al menos en la posición de cotilo acetabular coronal.

3. Medio legible por ordenador no transitorio según la reivindicación 2, en el que el método comprende además:
- 5 enviar el procesador al menos una de la posición de cotilo acetabular sagital y la posición de cotilo acetabular coronal a un procesador remoto eléctricamente acoplado a al menos uno de un aparato de determinación de plantillas preoperatorias o un dispositivo de navegación.
- 10 4. Medio legible por ordenador no transitorio según la reivindicación 2 ó 3, en el que el método comprende además:
- 15 recibir el procesador una pluralidad de valores biomecánicos que comprenden una incidencia pélvica, PI, la pendiente sacra, SS, una inclinación pélvica, PT, el delta de la pendiente sacra, dSS, el ángulo femoral pélvico, PFA, una longitud de pierna, una desviación de cadera, un centro de rotación de la cadera, y la versión femoral basada en imágenes del primer paciente
- 20 especialmente recibir el procesador uno o más comandos de voz digitalizados que incluyen uno o más de la pluralidad de valores biomecánicos, en particular en el que el procesador está eléctricamente acoplado a un convertidor de audio digital configurado para digitalizar el uno o más comandos de voz.
- 25 5. Medio legible por ordenador no transitorio según la reivindicación 4, en el que recibir el procesador la pluralidad de valores biomecánicos que comprenden la incidencia pélvica, PI, la pendiente sacra, SS, la inclinación pélvica, PT, el delta de la pendiente sacra, dSS, el ángulo femoral pélvico, PFA, la longitud de pierna, la desviación de cadera, el centro de rotación de la cadera, y la versión femoral basándose en las imágenes del primer paciente comprende:
- 30 recibir el procesador una o más señales a partir de un módulo de entrada de usuario, en el que la una o más señales incluyen uno o más de la pluralidad de valores biomecánicos.
- 35 6. Medio legible por ordenador no transitorio según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que el método comprende además:
- 40 determinar o recibir el procesador una pluralidad de valores biomecánicos que comprenden una incidencia pélvica, PI, la pendiente sacra, SS, en bipedestación, una inclinación pélvica, PT, el delta de la pendiente sacra, dSS, el ángulo femoral pélvico, PFA, una longitud de pierna, una desviación de cadera, un centro de rotación de la cadera, y la versión femoral basándose en una o más imágenes que comprenden el primer paciente que muestran una vista lateral en bipedestación desde la vértebra lumbar L1 hasta la quinta parte superior de un fémur, una vista lateral en sedestación desde la vértebra lumbar L1 hasta la quinta parte superior del fémur, una vista de pelvis anteroposterior, AP, en bipedestación, una vista AP de la cadera, una vista lateral de la cadera y una vista de Budin modificada.
- 45 7. Medio legible por ordenador no transitorio según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6, en el que el método comprende además:
- 50 proporcionar al menos uno de un elemento de visualización o un convertidor de audio digital guiado o control intraoperatorio de un dispositivo de navegación basándose en al menos una de la posición de cotilo acetabular sagital y la posición de cotilo acetabular coronal,
- 55 especialmente en el que determinar el procesador la AI en bipedestación posoperatoria y la AI en sedestación posoperatoria basándose al menos en la posición de cotilo acetabular coronal comprende realizar el procesador un seguimiento de la anatomía del primer paciente y el cotilo acetabular en tiempo real, en el que una pluralidad de sensores están acoplados a uno o más del cotilo acetabular, la anatomía del primer paciente y el dispositivo de navegación y la pluralidad de sensores están eléctricamente acoplados al procesador.
- 60 8. Medio legible por ordenador no transitorio según la reivindicación 7, en el que el convertidor de audio digital está configurado para permitir la comunicación bidireccional entre un cirujano y el procesador.
- 65 9. Medio legible por ordenador no transitorio según la reivindicación 7 u 8, en el que el método comprende además:
- proporcionar el elemento de visualización imágenes que muestran una posición espacial y una orientación del cotilo acetabular en tiempo real,
- especialmente en el que el procesador determina una orientación de un componente femoral.

10. Medio legible por ordenador no transitorio según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9, en el que el método comprende además:
- 5 alinear el procesador la anatomía del primer paciente con una mesa de operaciones.
11. Medio legible por ordenador no transitorio según la reivindicación 10, en el que el método comprende además:
- 10 sincronizar el procesador la anatomía alineada del primer paciente con una trayectoria de tratamiento de un brazo robótico de un dispositivo de navegación y con al menos una de la posición de cotilo acetabular sagital y la posición de cotilo acetabular coronal.
12. Medio legible por ordenador no transitorio según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 11, en el que el método comprende además:
- 15 tras implantar un cotilo acetabular en el primer paciente, confirmar un dispositivo de localización una pluralidad de parámetros de colocación en una pluralidad de planos.
13. Medio legible por ordenador no transitorio según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 12, en el que el método comprende además:
- 20 tras implantar un cotilo acetabular en el primer paciente, medir un dispositivo de localización cambios en un estado posoperatorio con respecto a un estado preoperatorio.
14. Medio legible por ordenador no transitorio según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 13, en el que el método comprende además:
- 25 determinar el procesador al menos una recomendación para un tipo de implante, un plan de tratamiento o un consejo quirúrgico basándose en datos históricos a partir de una pluralidad de pacientes, en el que los datos históricos comprenden una pluralidad de posiciones de cotilo acetabular coronales, una pluralidad de valores biomecánicos coronales o sagitales y cambios medidos en un estado posoperatorio con respecto a un estado preoperatorio; y
- 30 proporcionar, al menos uno de un elemento de visualización o convertidor de audio digital, la al menos una recomendación determinada a un cirujano.
15. Medio legible por ordenador no transitorio según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 14, en el que el método comprende además:
- 35 almacenar el procesador datos asociados con el primer paciente, comprendiendo los datos la posición de cotilo acetabular coronal, una pluralidad de valores biomecánicos coronales o sagitales y cambios medidos en un estado posoperatorio con respecto a un estado preoperatorio.
- 40

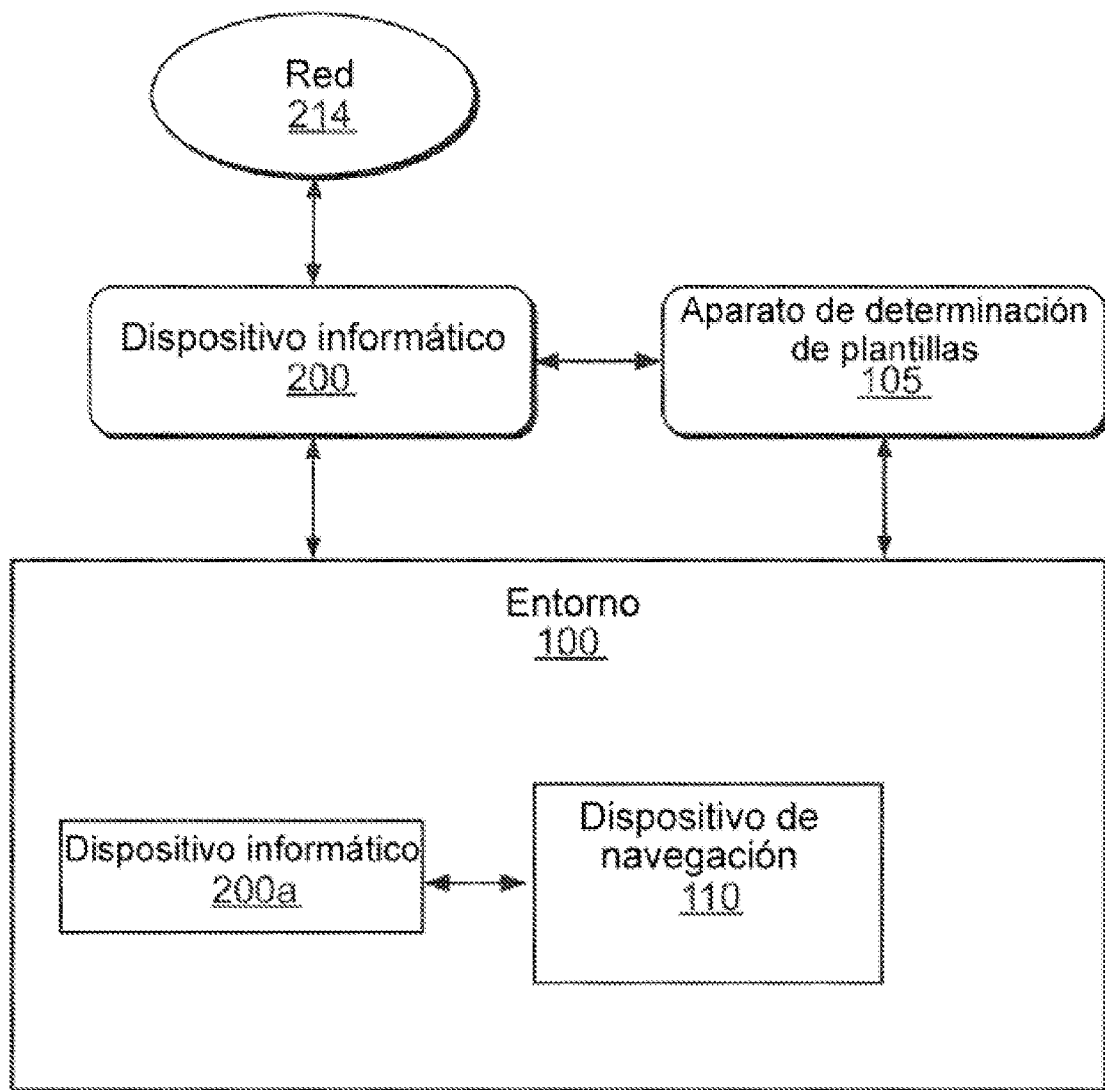


FIG. 1

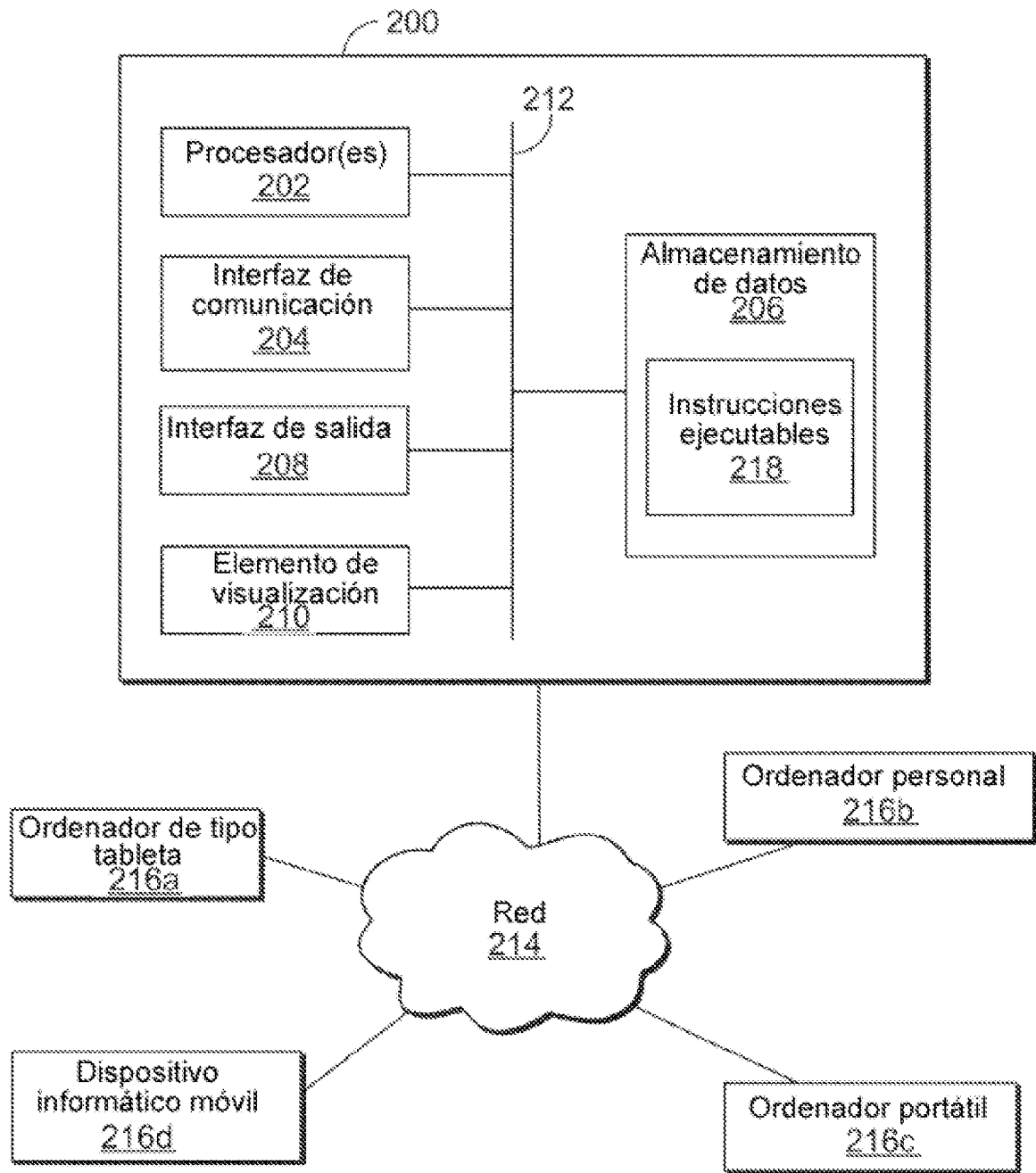


FIG. 2

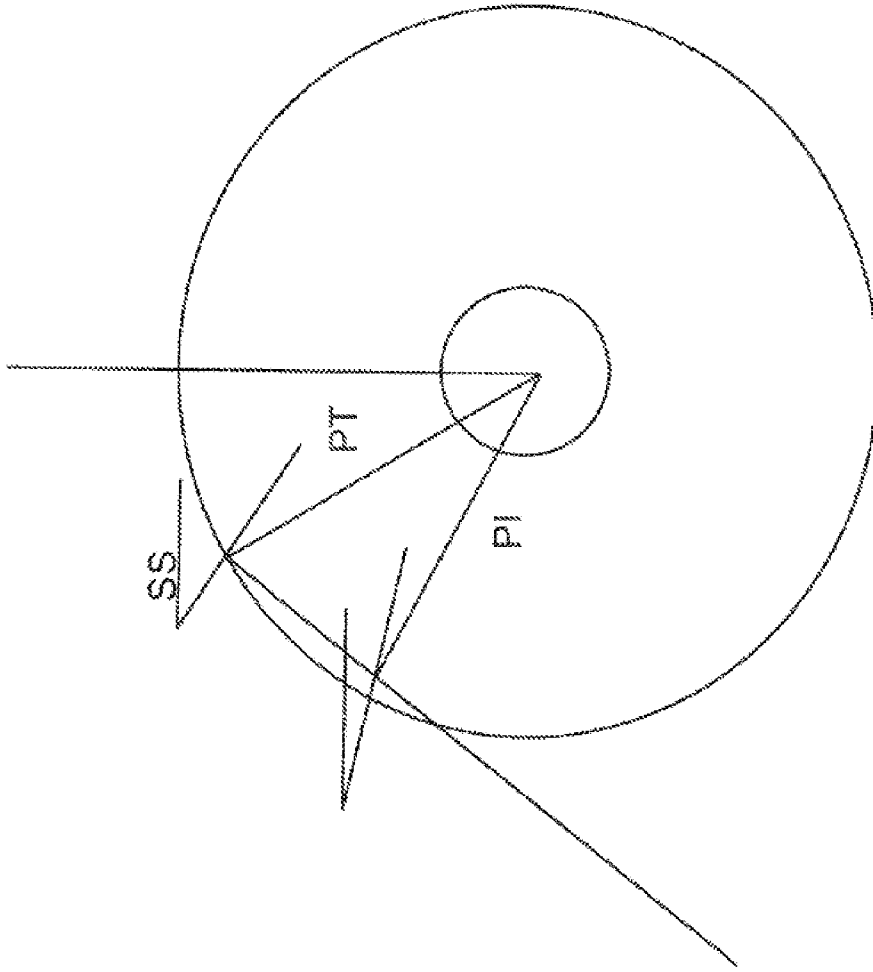


FIG. 3A

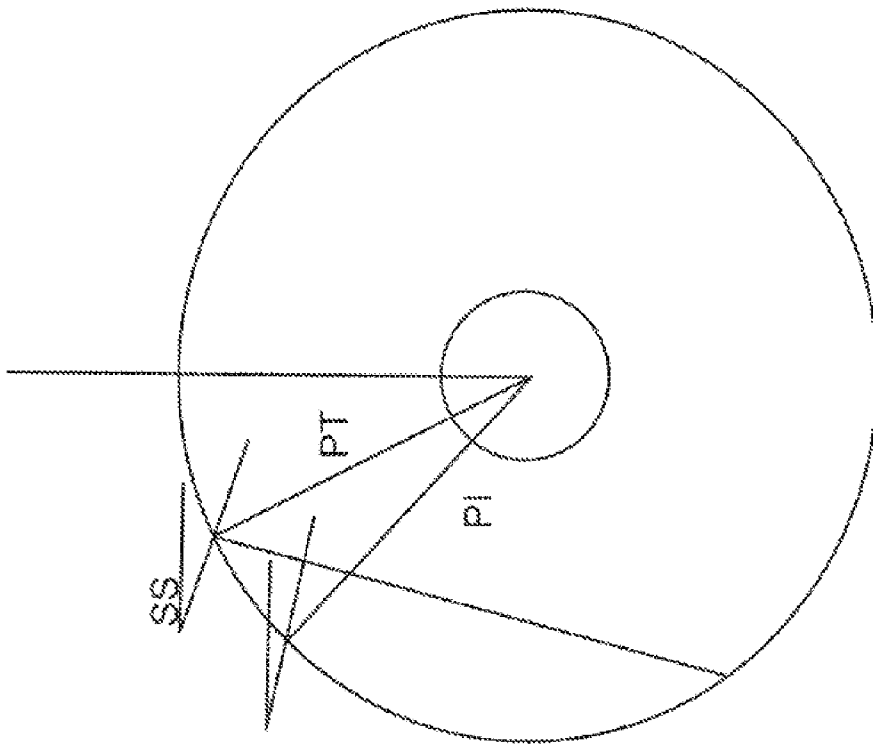


FIG. 3B

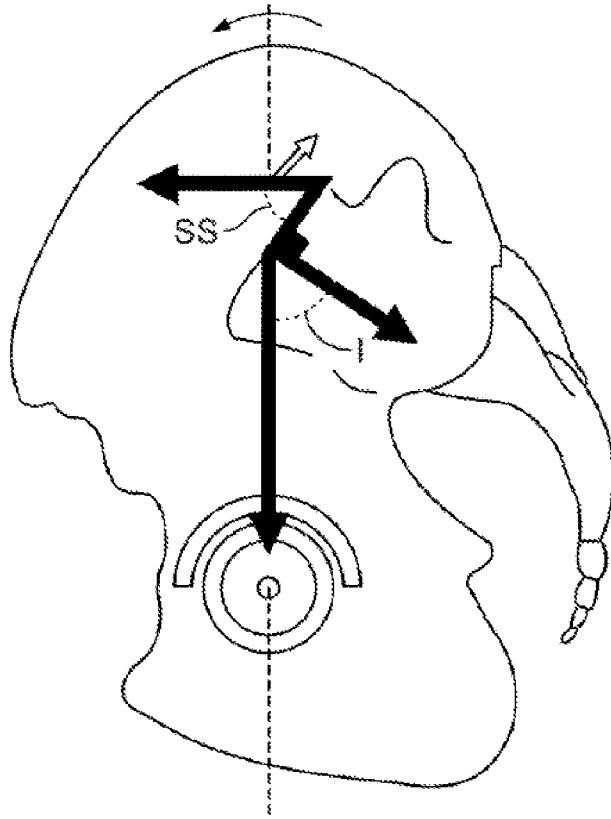


FIG. 4

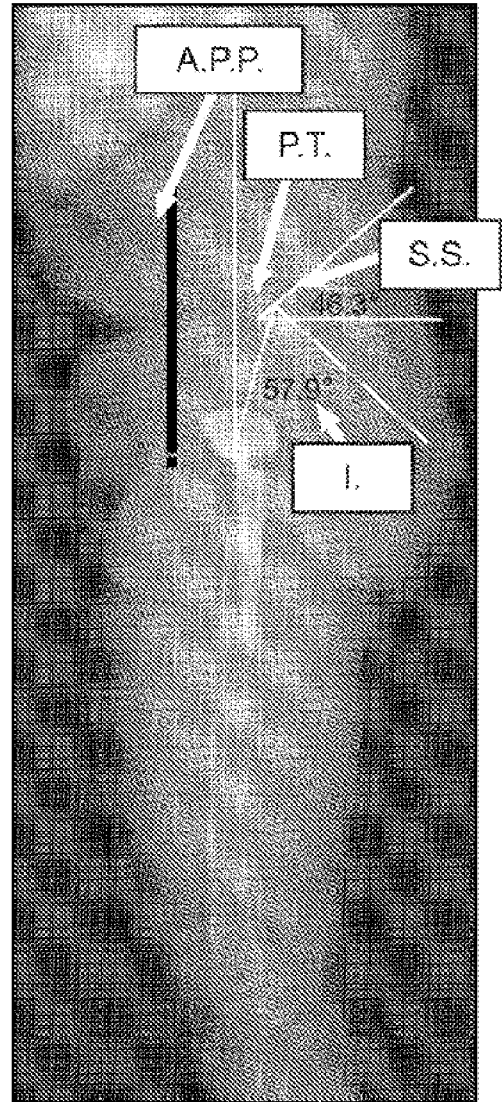


FIG. 5

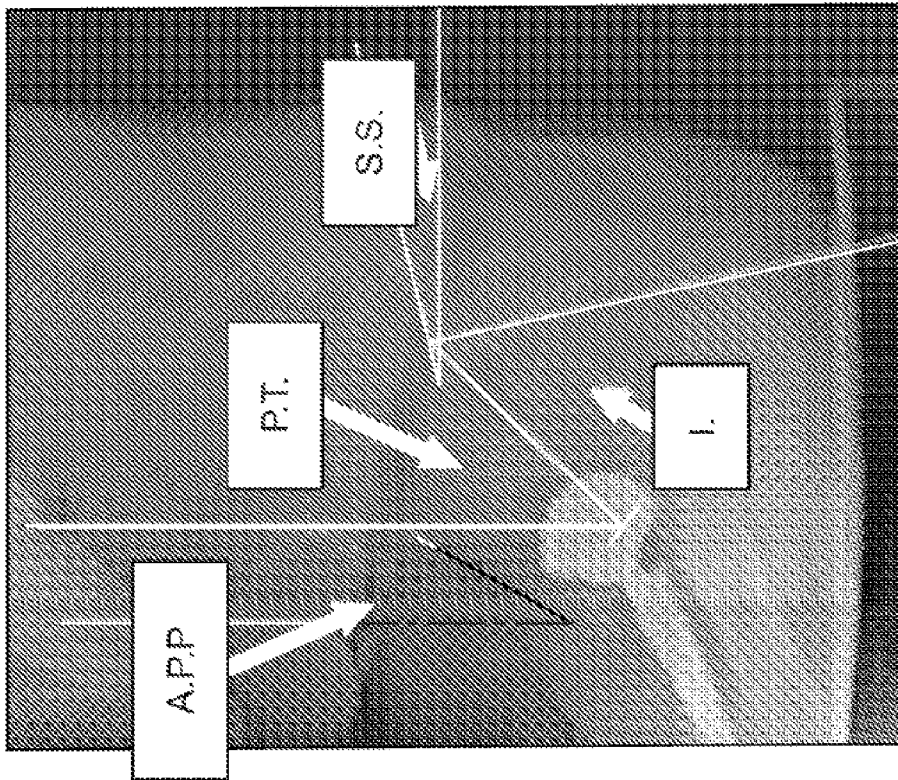


FIG. 7

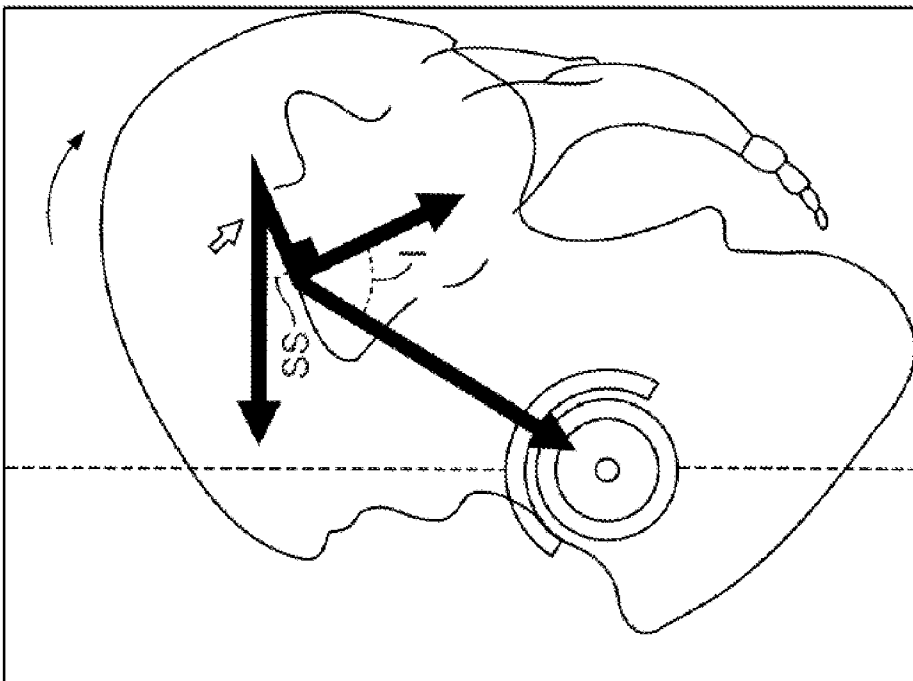


FIG. 6

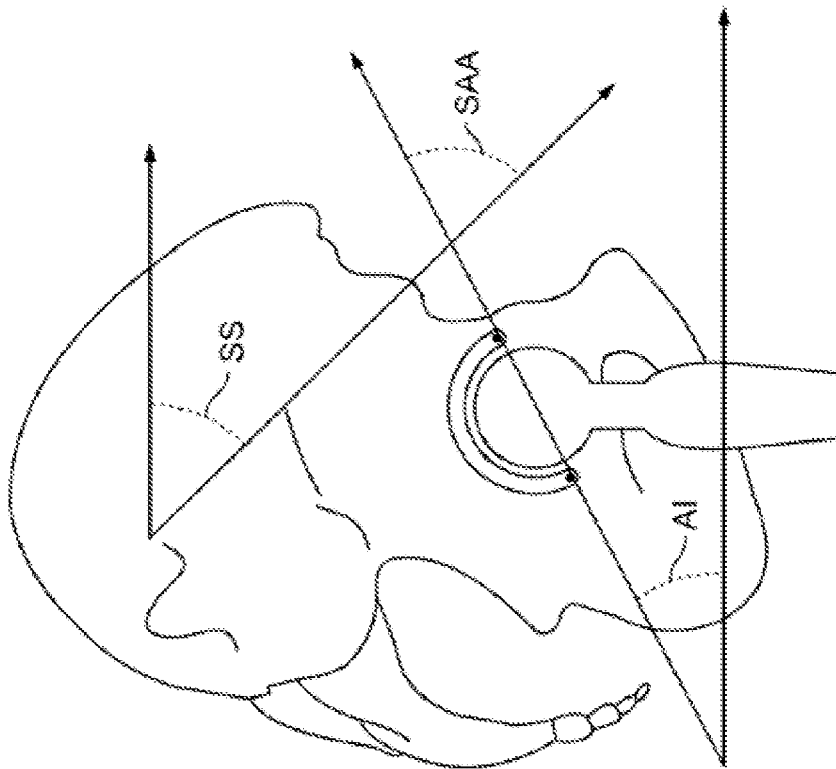


FIG. 8

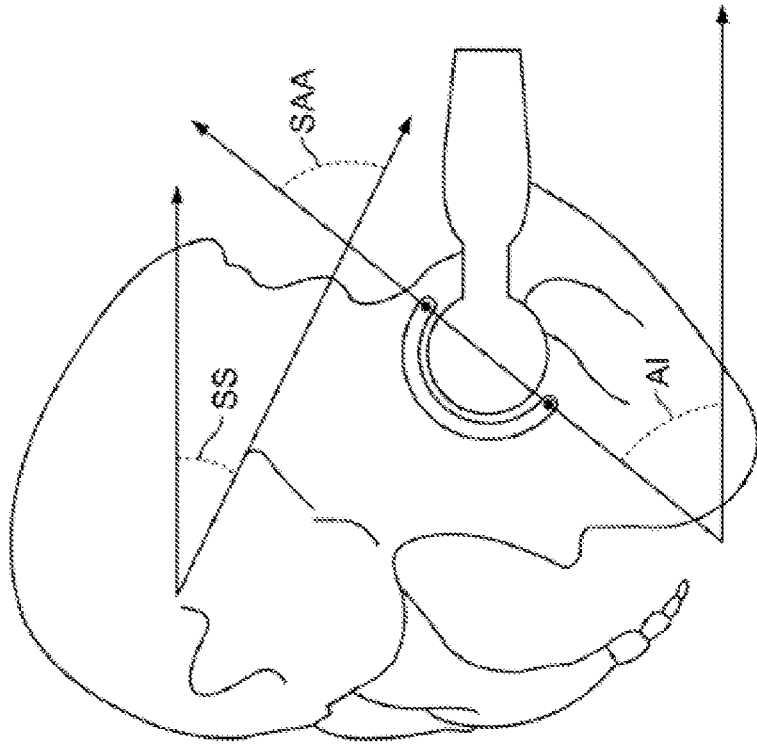


FIG. 9

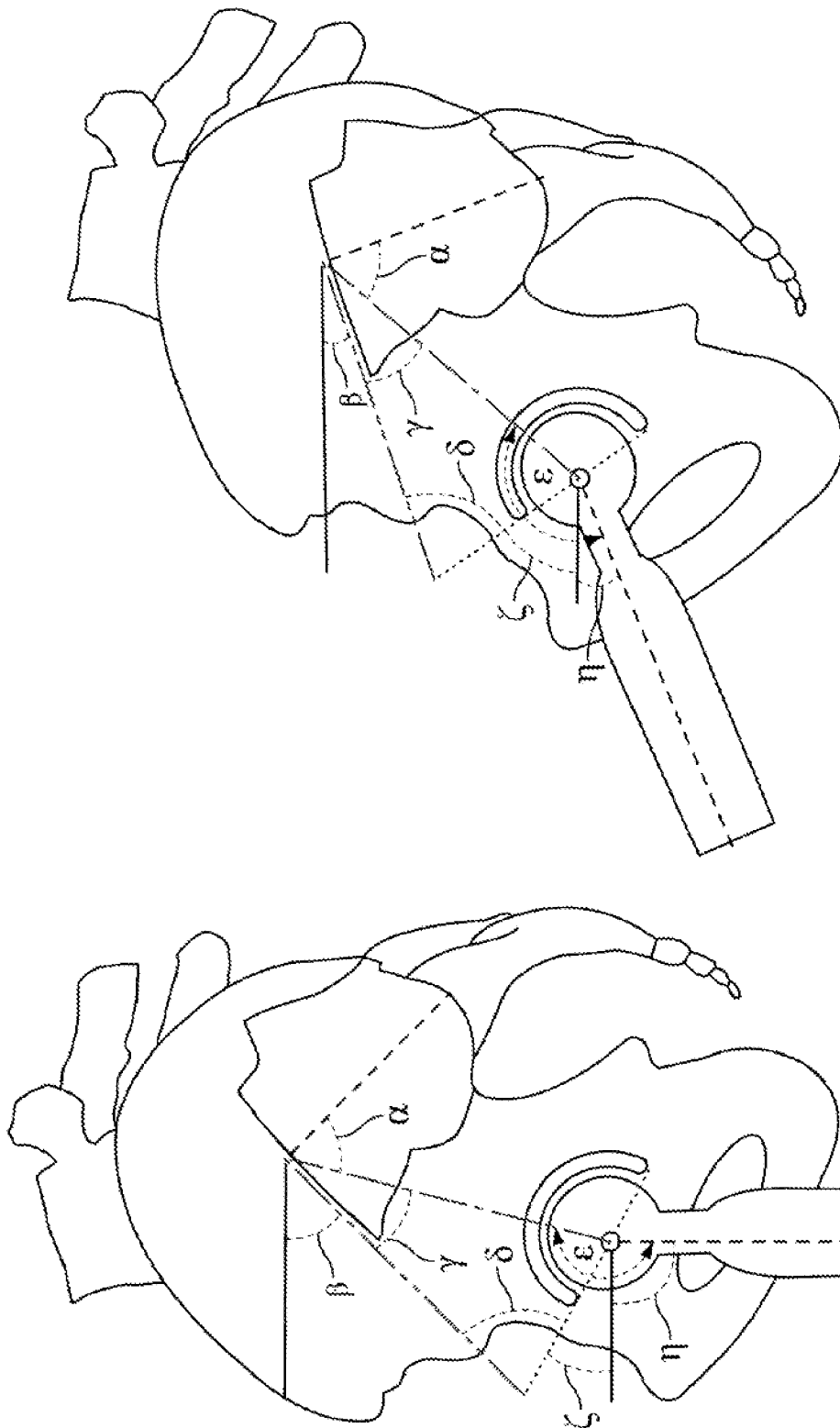


FIG. 11

FIG. 10

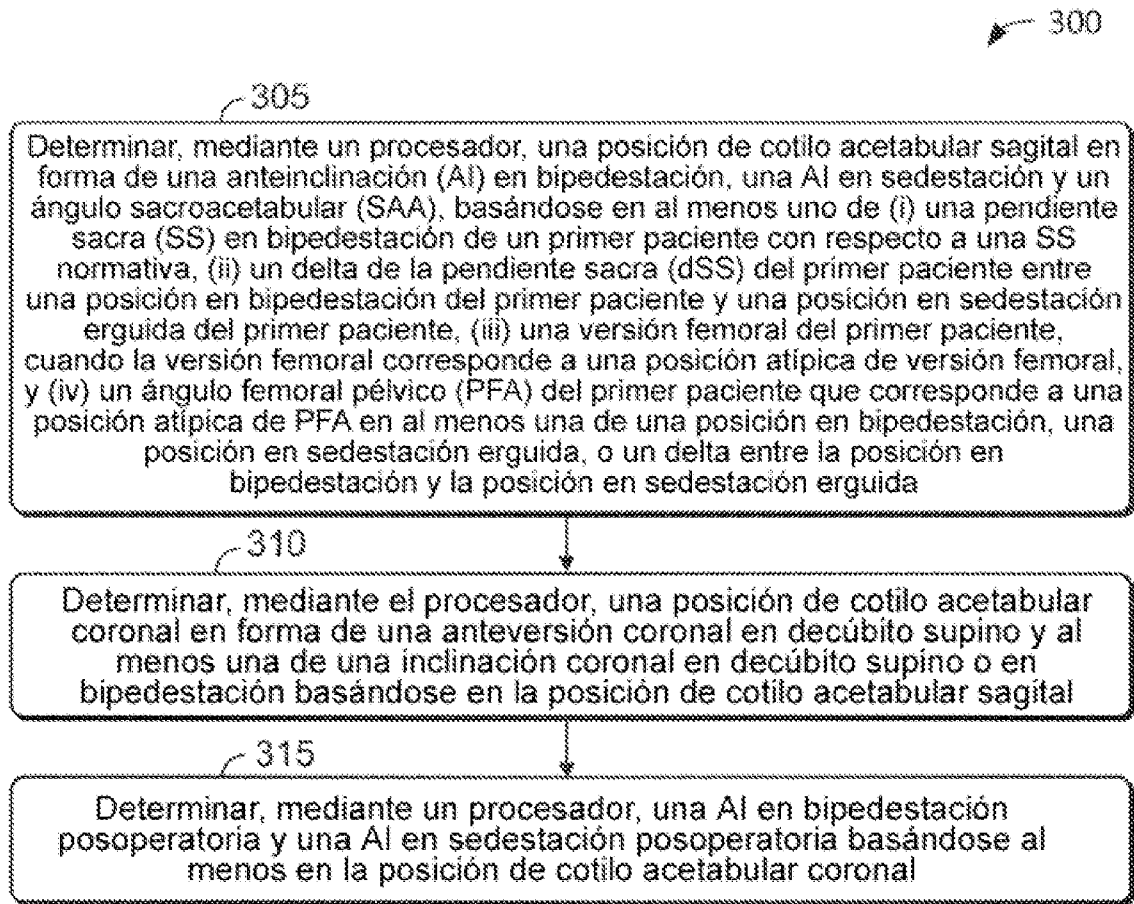


FIG. 12

COORDENADAS EN DECÚBITO SUPINO CORONALES: normas de
 Pl y SS frente a d55
 SAA DE INCLINACIÓN Y ANTEVERSIÓN RADIOGRÁFICO

SS	Pl	Al en bipedestación y Al en sedestación																
		5	10	15	20	25	30	35	40									
5833	80	44/28	42/27	40/25	37/235	36/22	355/20	35/19	35/17									
		95	925	90	875	85	875	80	775									
		37/42	345/445	32/47	295/495	27/52	245/545	22/57	195/595									
5167	70	44/27	43/26	41/24	38/225	37/21	36/19	355/18	33/15									
		90	875	85	825	80	775	75	725									
		38/43	355/455	33/48	305/505	28/53	255/555	23/58	205/605									
45	60	45/26	44/24	42/225	39/21	38/19	37/18	36/17	36/14									
		85	825	80	775	75	725	70	675									
		40/45	375/475	35/50	325/525	30/55	275/575	25/60	225/625									
3833	50	46/245	445/23	425/215	40/20	39/18	38/17	375/16	37/135									
		80	775	75	725	70	675	65	625									
		42/47	395/495	37/52	345/545	32/57	295/595	27/62	245/645									
3167	40	47/23	47/22	435/20	42/18	41/17	40/155	395/14	39/125									
		75	725	70	675	65	625	60	575									
		43/48	405/505	38/53	335/535	33/58	305/605	28/63	255/655									
25	30	48/22	46/21	45/19	44/17	43/15	42/14	41/13	40/12									
		70	675	65	625	60	575	55	525									
		45/50	425/525	40/55	375/575	35/60	325/625	30/65	275/675									

FIG. 13