

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 935 857**

51 Int. Cl.:

G16H 30/40 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.04.2017 PCT/EP2017/059547**

87 Fecha y número de publicación internacional: **26.10.2017 WO17182648**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.04.2017 E 17718909 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.10.2022 EP 3445271**

54 Título: **Procedimiento de predicción de una situación dental**

30 Prioridad:

22.04.2016 FR 1653589

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

13.03.2023

73 Titular/es:

**DENTAL MONITORING (100.0%)
75, rue de Tocqueville
75017 Paris, FR**

72 Inventor/es:

**SALAH, PHILIPPE;
AYACHE, WILLIAM;
GHYSELINCK, GUILLAUME;
DEBRAUX, LAURENT;
ROISIN, LOUIS CHARLES y
PELLISSARD, THOMAS**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 935 857 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

Procedimiento de predicción de una situación dental

Campo técnico

La presente invención se refiere a un sistema de predicción de una situación dental de un paciente.

5 Estado de la técnica

Clásicamente, al inicio de un tratamiento de ortodoncia, el ortodontista determina el posicionamiento de los dientes que desea obtener al final del tratamiento, denominado "configuración final". La configuración final se puede definir por medio de una impresión o de un escaneo tridimensional de los dientes del paciente. El ortodontista fabrica entonces, en consecuencia, un aparato de ortodoncia adaptado a este tratamiento.

10 El aparato de ortodoncia puede ser clásicamente un aparato con soportes que comprende un arco metálico de ortodoncia soportado en los dientes.

15 Alternativamente, el dispositivo de ortodoncia puede ser una férula ("aligner" en inglés). Una férula de ortodoncia tiene clásicamente la forma de un dispositivo extraíble de una sola pieza, clásicamente de un material polímero transparente, que incluye una férula conformada para que varios dientes de una arcada, generalmente todos los dientes de una arcada, pueden alojarse en ella. La forma de la férula está adaptada para mantener la férula en posición sobre los dientes, mientras ejerce una acción correctora de la posición de ciertos dientes.

Ventajosamente, el tratamiento por medio de férulas es menos restrictivo para el paciente. En particular, el número de citas con el ortodontista es limitado. Además, el dolor es menor que con un arco metálico de ortodoncia soportado en los dientes.

Por lo tanto, el mercado de las férulas de ortodoncia está creciendo.

20 En el caso de que el aparato de ortodoncia sea una férula, se determina clásicamente, al inicio del tratamiento, las formas que deben adoptar las diferentes férulas en los distintos momentos del tratamiento. El posicionamiento deseado de los dientes en cada uno de estos instantes se denomina "configuración intermedia".

El ortodontista hace entonces fabricar todas las férulas correspondientes. El número de férulas es convencionalmente de una veintena. En los instantes predeterminados, el paciente cambia de férula.

25 Cualquiera que sea el aparato de ortodoncia implementado, a intervalos regulares, el paciente acude al ortodontista para un control visual. En función de su diagnóstico, el ortodontista modifica eventualmente el aparato de ortodoncia.

Por ejemplo, en el caso de que el aparato de ortodoncia es un aparato que incluye un arco metálico de ortodoncia soportado en los dientes, el ortodontista puede modificar la tensión ejercida por el arco de ortodoncia. Si es necesario, también puede hacer fabricar un nuevo aparato de ortodoncia mejor ajustado.

30 En el caso de que el dispositivo de ortodoncia sea una férula, el ortodontista puede hacer una nueva impresión de los dientes o, de manera equivalente, un nuevo escaneo tridimensional de los dientes, y luego ordenar una nueva serie de férulas. Se considera que, de media, el número de férulas finalmente fabricadas es de aproximadamente 45, en lugar de las 20 férulas previstas convencionalmente al inicio del tratamiento.

35 El documento US2010 151 404 describe un sistema de predicción de la evolución de un tratamiento de ortodoncia y en función de la predicción, una posible revisión del tratamiento.

La necesidad de tener que acudir al ortodontista para un control es una restricción para el paciente. La multiplicación de controles también puede minar la confianza del paciente en su ortodontista. Finalmente, resulta de ello un coste suplementario.

Por lo tanto, existe la necesidad de limitar el número de controles en el ortodontista.

40 Además, existe una necesidad permanente de acelerar los tratamientos de ortodoncia. Por otra parte, además de cualquier tratamiento de ortodoncia, existe la necesidad de anticipar mejor la evolución de la posición de los dientes de los pacientes, en particular durante el crecimiento de los dientes de los niños o el envejecimiento de los ancianos. En estos últimos, el envejecimiento conduce en particular a un avance hacia delante de los dientes.

Un objeto de la invención es satisfacer, al menos parcialmente, estas necesidades.

45 Resumen de la invención

La invención proporciona un sistema según la reivindicación 1. Los procedimientos de predicción de una situación dental y de determinación, en función de dicha predicción, no forman parte de la presente invención.

Se denomina a continuación "procedimiento de predicción" un procedimiento de predicción de una situación dental futura para un paciente, denominado "paciente actual", en particular para un paciente actual que lleva un aparato de ortodoncia, denominado "aparato de ortodoncia actual", destinado a corregir una mala posición de sus dientes, incluyendo dicho procedimiento de predicción las siguientes etapas:

- 5 1) adquisición de datos, denominados "datos históricos", relativos a situaciones dentales pasadas, denominadas "situaciones dentales históricas", cada una experimentada, en un instante denominado "instante histórico", por un paciente, denominado "paciente histórico", siendo el paciente histórico capaz, en particular, de seguir un tratamiento de ortodoncia denominado "tratamiento de ortodoncia histórico", durante el cual se le provee de un aparato de ortodoncia, denominado "aparato de ortodoncia histórico",
- 10 Incluyendo al menos el conjunto de los datos históricos relativos a una situación dental histórica:
- o dicho instante histórico;
 - o valores de parámetros de contexto en dicho instante histórico, incluyendo los parámetros de contexto:
 - preferiblemente, si el paciente histórico está provisto de un aparato de ortodoncia histórico,
 - parámetros de dicho aparato de ortodoncia histórico, en particular relativos a la clase y/o a la conformación del aparato de ortodoncia histórico;
 - preferiblemente, parámetros sobre el entorno del tratamiento de ortodoncia histórico al que pertenece la situación dental histórica, como un coeficiente de dolor y/o un coste y/o una duración y/o un número de citas con el ortodontista y/o una probabilidad de éxito asociados con dicho tratamiento de ortodoncia histórico;
 - parámetros de posicionamiento de los dientes de dicho paciente histórico;
 - preferiblemente otros parámetros anatómicos además de los parámetros de posicionamiento de los dientes, tales como la disposición y/o la estructura de los tejidos óseos (en particular de las mandíbulas) y/o de los tejidos alveo-dentales y/o de los tejidos blandos (en particular las encías y/o los frenillos y/o la lengua y/o las mejillas), del paciente histórico;
- 15
- 20
- 25
- preferiblemente, parámetros funcionales del paciente histórico, en particular parámetros neuro-funcionales, como la facilidad para respirar, tragar o cerrar la boca;
 - preferiblemente, la edad y/o sexo y/o un identificador de dicho paciente histórico;
- 2) adquisición, en un instante, denominado "instante actual", de datos relativos a una situación dental experimentada por dicho paciente actual, denominada "situación dental actual", incluyendo al menos el conjunto de los datos relativos a dicha situación dental actual, denominados "datos actuales":
- 30
- o preferiblemente, dicho instante actual;
 - o valores de parámetros de contexto en dicho instante actual, incluyendo los parámetros de contexto:
 - preferiblemente, si el paciente actual está provisto de un aparato de ortodoncia actual,
 - parámetros de dicho aparato de ortodoncia actual, en particular relativos a la clase y/o la conformación del aparato de ortodoncia actual;
 - preferiblemente, parámetros sobre el entorno del tratamiento de ortodoncia actual al que pertenece la situación dental actual, denominado "tratamiento de ortodoncia actual", tales como un coeficiente de dolor y/o un coste y/o una duración y/o un número de visitas al ortodontista y/o una probabilidad de éxito asociados con dicho tratamiento de ortodoncia actual;
 - parámetros de posicionamiento de los dientes de dicho paciente actual;
 - preferiblemente otros parámetros anatómicos además de los parámetros de posicionamiento de los dientes, tales como la disposición y/o la estructura de los tejidos óseos (en particular de las mandíbulas) y/o de los tejidos alveo-dentales y/o de los tejidos blandos (en particular las encías y/o los frenillos y/o la lengua y/o las mejillas), del paciente actual;
- 35
- 40
- 45
- preferiblemente, parámetros funcionales del paciente actual, en particular parámetros neuro-funcionales, como la facilidad para respirar, tragar o cerrar la boca;
 - preferiblemente, la edad y/o el sexo y/o un identificador de dicho paciente actual;

3) análisis estadístico de dichos datos históricos y de dichos datos actuales, para predecir, al menos en un instante futuro, al menos una situación dental futura para el paciente actual;

5 4) en función de dicha situación dental futura, evaluación del interés de un tratamiento de ortodoncia para el paciente actual o, si el paciente actual está provisto de aparatos de ortodoncia actuales, reevaluación del tratamiento de ortodoncia actual, preferiblemente por un ortodontista, y, en función de dicha reevaluación, posible modificación del tratamiento de ortodoncia del paciente actual, por ejemplo modificación o cambio del aparato de ortodoncia actual y/o modificación de una planificación de citas con un ortodontista.

La capacidad de predicción de situaciones dentales futuras es una ventaja considerable con respecto a la situación anterior a la invención.

10 En general, resulta en efecto posible predecir una evolución de la posición de los dientes, en el marco de un tratamiento de ortodoncia o no. Por ejemplo, resulta posible prever cómo se van a desplazar los dientes de un niño a medida que crece, lo que permite actuar muy pronto para corregir una situación desfavorable.

Del mismo modo, los dientes tienden a desplazarse, especialmente cuando el paciente envejece. Gracias a la invención, resulta posible prever este desplazamiento, lo que permite actuar muy pronto para corregir una situación desfavorable.

15 La capacidad de predicción de situaciones dentales futuras es particularmente una ventaja considerable cuando el paciente actual sigue un tratamiento de ortodoncia.

20 En efecto, hasta la presente invención, durante un control, el ortodontista sólo podía percibir las anomalías más visibles, por ejemplo un despegue importante de la férula llevada en determinadas zonas. Por lo tanto, su capacidad de anticipación era limitada. Además, el ortodontista podía malinterpretar una situación. Por ejemplo, podía considerar que un despegue de una férula correspondía a una anomalía, mientras que este despegue era sólo provisional, o iba a quedar limitado.

Ventajosamente, la predicción realizada por el sistema según la invención le permite aprehender una situación futura que la sola observación visual no permite concebir. Por lo tanto, puede, por ejemplo, optar por no modificar el aparato de ortodoncia actual aunque perciba incluso un despegue. Recíprocamente, puede modificar el aparato de ortodoncia actual incluso aunque no perciba despegue, o perciba un despegue muy leve.

25 Como se verá con más detalle en el resto de la descripción, la eficacia del tratamiento de ortodoncia se mejora considerablemente de este modo.

El aparato de ortodoncia actual puede ser una férula. Un sistema según la invención está particularmente bien adaptado para determinar los instantes más apropiados para cambiar la férula que lleva un paciente actual.

En la etapa 3), preferiblemente, se determina,

- 30
- para al menos una, preferiblemente para cada dicha situación dental futura, y/o
 - para al menos uno, preferiblemente para cada dicho instante futuro,
 - si el paciente actual está provisto de un aparato de ortodoncia actual, valores, en dicho instante futuro, de parámetros de dicho aparato de ortodoncia actual; y/o
- 35
- valores de parámetros de posicionamiento de los dientes del paciente actual en dicho instante futuro (en particular en un instante futuro objetivo); y/o
 - preferiblemente, una desviación del valor de uno o más parámetros de posicionamiento de los dientes del paciente actual con el valor de dicho o de dichos parámetros de posicionamiento en una situación dental que constituye un objetivo en dicho instante futuro; y/o
 - un coste para que se produzca dicha situación dental futura; y/o
- 40
- un coeficiente de dolor para que se produzca dicha situación dental; y/o
 - una probabilidad de que las predicciones relativas a los parámetros del dispositivo dental actual si el paciente actual está provisto de dicho dispositivo y/o a los parámetros de posicionamiento de dichos dientes de dicho paciente actual, y/o a dicho costo y/o a dicho coeficiente de dolor sean conformes a la realidad.

45 Preferiblemente, en la etapa 3), se determinan varias situaciones dentales futuras, para un mismo instante futuro, y/o al menos una situación dental futura, para varios instantes futuros diferentes.

Preferiblemente, se efectúan varios de dichos análisis estadísticos, modificando cada vez dicho instante futuro, para predecir situaciones dentales futuras hasta en un instante futuro objetivo, por ejemplo hasta una configuración intermedia o final. Este ciclo permite predecir una evolución de la posición de los dientes y/o un "tratamiento de ortodoncia potencial"

hasta el futuro instante objetivo.

Preferiblemente, se determinan uno o varios tratamientos de ortodoncia potenciales que permitan obtener, en un instante futuro objetivo, una determinada situación dental futura objetiva o una situación dental futura objetiva que entra en una zona de situaciones dentales determinada.

5 Preferiblemente, se determinan un primer y segundo tratamientos de ortodoncia potenciales que conducen, en dicho instante futuro objetivo, para al menos un parámetro de posicionamiento de los dientes del paciente actual, a situaciones dentales extremas. Las situaciones "extremas" corresponden a límites mínimo y máximo para dicho parámetro de posicionamiento, es decir, a límites por debajo y más allá de los cuales, respectivamente, la situación dental en dicho instante objetivo futuro se considera inaceptable.

10 Representadas en el mismo gráfico, las curvas que representan la evolución temporal del valor de dicho parámetro de posicionamiento para estos primer y segundo tratamientos de ortodoncia potenciales delimitan una superficie, denominada "biozona" que, ventajosamente, permite identificar fácilmente una deriva anormal de posicionamiento de los dientes. Basta en efecto, en cualquier instante, con medir el valor de dicho parámetro de posicionamiento y verificar si, en ese instante, entra en la biozona.

15 El instante de comienzo del o de los tratamientos de ortodoncia potenciales puede ser, en particular, el instante actual o un instante inicial correspondiente al inicio de un tratamiento de ortodoncia actual con un aparato de ortodoncia llevado por el paciente actual.

Preferiblemente, se determinan varios tratamientos de ortodoncia potenciales modificando cada vez al menos una restricción.

20 Ventajosamente, el ortodoncista puede así evaluar el impacto de una modificación de una restricción. Por ejemplo, puede modificar la restricción del diámetro del arco de metal y observar el efecto de esta modificación en el tratamiento de ortodoncia potencial.

25 Preferiblemente, el procedimiento comprende una operación de optimización de las restricciones en función de al menos un criterio de optimización, operación en la que se implementa una sucesión de análisis estadísticos modificando cada vez una o más de dichas restricciones para un mismo instante futuro, hasta encontrar una situación dental óptima con respecto al criterio de optimización, según al menos una regla de optimización.

Preferiblemente, se establecen, por la implementación de una sucesión de análisis estadísticos, varios tratamientos de ortodoncia potenciales correspondientes a la aplicación de diferentes restricciones, hasta encontrar un tratamiento de ortodoncia potencial óptimo con respecto al criterio de optimización siguiendo al menos una regla de optimización.

30 Preferiblemente, el criterio de optimización se elige del grupo formado por un coeficiente de dolor, un coste, una desviación con un valor deseado para un parámetro de posicionamiento, una duración, un número de citas con el ortodoncista, un número de férulas, una probabilidad de éxito o una combinación de estos criterios, pudiendo asociarse cada criterio con el tratamiento de ortodoncia actual o con una situación dental de dicho tratamiento de ortodoncia actual, por ejemplo dicha situación dental actual o en un instante futuro objetivo.

35 Definiciones

Un "paciente actual" es una persona para la que se utiliza el sistema según la invención para predecir una situación dental futura, independientemente de si esta persona presenta una mala posición de los dientes o no. Se dice que el paciente es "actual" en aras de la claridad, para distinguirlo de un paciente "histórico".

Por "situación dental" se entiende una situación relativa a una posición de los dientes.

40 Una "categoría" de pacientes reagrupa a todos los pacientes según datos fisiológicos, por ejemplo reagrupa a todos los pacientes de un tramo de edad particular y/o del mismo sexo.

Una "clase" de aparatos de ortodoncia define un conjunto de aparatos de ortodoncia comparables. Por ejemplo, una clase de aparatos de ortodoncia puede reagrupar a todos los aparatos de ortodoncia que son férulas activas del mismo material, o todos los aparatos de ortodoncia con soportes provistos de un mismo arco metálico.

45 Los "parámetros de contexto" son los parámetros útiles para evaluar una situación dental. Incluyen en particular los parámetros de posicionamiento de los dientes del paciente en cuestión y, en su caso, los parámetros del aparato de ortodoncia en cuestión.

50 Los "parámetros del aparato de ortodoncia" comprenden parámetros intrínsecos, como el o los materiales que constituyen dicho aparato de ortodoncia o los parámetros de forma en reposo, por ejemplo, la forma de una férula o el diámetro de un arco de ortodoncia. También comprenden parámetros de aplicación.

En un modo de realización, los parámetros del aparato de ortodoncia son parámetros generales que identifican la clase

del aparato de ortodoncia.

5 Un "parámetro de forma" es un parámetro útil para determinar la forma de un aparato de ortodoncia. Por ejemplo, x , y , y z son parámetros de forma en un sistema de referencia cartesiano $Oxyz$. Los valores de estos parámetros de forma permiten definir la posición de un punto del aparato de ortodoncia en el espacio, de preferencia un punto sobre la superficie del aparato de ortodoncia. Un parámetro de forma también puede ser un diámetro de un arco de ortodoncia, un grosor de material o una dimensión, por ejemplo.

10 Un "parámetro de aplicación" es un parámetro útil para determinar cómo funciona el aparato de ortodoncia en la situación dental considerada. La posición de los puntos de soporte del arco de ortodoncia sobre los dientes o la tensión del arco de ortodoncia son ejemplos de parámetros de aplicación. El tiempo durante el cual ya se ha llevado el aparato de ortodoncia en el instante en cuestión es también un parámetro de aplicación.

15 Un "parámetro de posicionamiento" es un parámetro útil para determinar la posición de un diente. Por ejemplo, la abscisa, a menudo denominada x , la ordenada, a menudo denominada y , y la cota, a menudo denominada z , son parámetros de posicionamiento en un sistema de referencia cartesiano $Oxyz$. La coordenada radial, a menudo denominada r o ρ , y denominada radio, la coordenada angular, también denominada ángulo polar o acimut, y a menudo denominada t o θ , y la altura, a menudo denominada h , son parámetros de posicionamiento en un sistema de referencia cilíndrico. Los valores de estos parámetros de posicionamiento permiten definir la posición de un punto en el espacio.

Los parámetros usados para determinar la forma de un aparato de ortodoncia pueden ser iguales o diferentes de los parámetros usados para determinar la posición de los dientes. En aras de la claridad, estos parámetros se han designado de forma diferente, por "parámetros de forma" y "parámetros de posicionamiento", respectivamente.

20 Las "restricciones" son parámetros cuyos valores no son libres. Se distinguen:

- las restricciones "no ajustables", en particular los parámetros de posicionamiento de los dientes del paciente actual en el instante actual o los parámetros relativos al paciente actual, como su edad o su sexo,
- las restricciones "ajustables", para las cuales el ortodontista o el paciente actual pueden fijar zonas de variación, en el instante actual y/o en uno o más instantes futuros.

25 Una zona de posiciones aceptables para los dientes del paciente actual en un instante futuro, un coste máximo de tratamiento, un coeficiente de dolor máximo durante el tratamiento o un coeficiente de dolor promedio durante el tratamiento de ortodoncia actual son ejemplos de restricciones ajustables.

30 En particular, cuando se busca un aparato de ortodoncia más adecuado para el tratamiento de ortodoncia, modificando o reemplazando el aparato de ortodoncia actual, los parámetros del aparato de ortodoncia actual, por ejemplo, la forma de una férula, también pueden ser restricciones ajustables.

35 Las "condiciones de adquisición" de una imagen precisan la posición y orientación en el espacio de un aparato de adquisición de imágenes con respecto a los dientes del paciente o a un modelo de los dientes del paciente, y preferiblemente la calibración de este aparato de adquisición de imágenes. Se dice que las condiciones de adquisición son "virtuales" cuando corresponden a una simulación en la que el aparato de adquisición estaría en dichas condiciones de adquisición (posicionamiento y preferiblemente calibración teórico del aparato de adquisición).

Una "configuración" corresponde convencionalmente a un posicionamiento de los dientes que el tratamiento tiene como objetivo alcanzar en un instante dado del tratamiento, en particular al final del tratamiento ("configuración final") o en una etapa intermedia predeterminada del tratamiento ("configuración intermedia"), por ejemplo en un instante previsto para cambiar la férula o modificar la tensión del arco de ortodoncia.

40 La "calibración" de un aparato de adquisición está constituida por el conjunto de los valores de los parámetros de calibración. Un "parámetro de calibración" es un parámetro intrínseco al aparato de adquisición (a diferencia de su posición y su orientación) cuyo valor influye en la imagen adquirida. Preferiblemente, los parámetros de calibración se eligen del grupo formado por la apertura del diafragma, el tiempo de exposición, la distancia focal y la sensibilidad.

Por "imagen" se entiende una imagen bidimensional, tal como una fotografía. Una imagen está formada por píxeles.

45 Una imagen "adquirible" ("vista previa") es la imagen que el aparato de adquisición puede registrar en un instante dado. Para una cámara de fotos o un teléfono, es la imagen que aparece en la pantalla cuando la aplicación de adquisición de fotos o videos está en funcionamiento.

Una "información discriminatoria" es una información característica que se puede extraer de una imagen ("característica de la imagen"), clásicamente mediante el tratamiento informático de esta imagen.

50 Una información discriminatoria puede presentar un número variable de valores. Por ejemplo, una información de contorno puede ser igual a 1 o 0 dependiendo de si un píxel pertenece o no a un contorno. La información de brillo puede tomar un gran número de valores. El tratamiento de imágenes permite extraer y cuantificar la información discriminatoria.

Los métodos "metaheurísticos" son métodos de optimización conocidos. Se eligen preferiblemente del grupo formado por

- 5
 - los algoritmos evolutivos, preferiblemente elegidos entre: las estrategias de evolución, los algoritmos genéticos, los algoritmos de evolución diferencial, los algoritmos de estimación de distribución, los sistemas inmunológicos artificiales, la recomposición de camino Shuffled Complex Evolution ("Evolución Compleja Aleatoria"), el recocido simulado, los algoritmos de colonias de hormigas, los algoritmos de optimización por enjambres de partículas, la búsqueda con tabús y el método GRASP ;
 - el algoritmo del canguro,
 - el método de Fletcher y Powell,
 - el método del ruido,
 - 10
 - la tunelización estocástica,
 - la escalada de colinas con reinicios aleatorios,
 - el método de la entropía cruzada, y
 - los métodos híbridos entre los métodos metaheurísticos mencionados anteriormente.

15 Es preciso interpretar "que comprende" o "que incluye" o "que presenta" de manera no restrictiva, a menos que se indique lo contrario.

Breve descripción de las figuras.

Otras características y ventajas de la invención aparecerán aún con la lectura de la descripción detallada que sigue y con el examen del dibujo adjunto en el que:

La figura 1 representa un diagrama de flujo que ilustra la implementación de un procedimiento de predicción,

20 La figura 2 (2a a 2e) representa ejemplos de representaciones gráficas que proporcionan predicciones obtenidas mediante la implementación de un procedimiento para el valor de un parámetro de posicionamiento de un diente, en función del tiempo,

La figura 3 representa un diagrama de flujo que ilustra la implementación de un procedimiento que permite adquirir fácilmente datos históricos o actuales.

25 La figura 4 representa un ejemplo de modelo de referencia inicial,

La figura 5 (5a-5d) ilustra un tratamiento para determinar los modelos de dientes en un modelo de referencia,

La figura 6 (6a-6d) ilustra la adquisición de una imagen actualizada por medio de un separador, una operación de corte de esta imagen y el tratamiento de una imagen actualizada que permite determinar el contorno de los dientes,

30 La figura 7 ilustra esquemáticamente la posición relativa de las marcas de referencia 12 de un separador 10 en las imágenes actualizadas 14₁ y 14₂, según las direcciones de observación representadas en trazos discontinuos.

La figura 8 representa, sobre una imagen adquirida, un mapa de referencia establecido para la información de reflejo.

Descripción detallada

La etapa 1) es una etapa de adquisición de datos históricos. Debe comenzar antes de la etapa 3), pero preferiblemente prosigue durante y después de la etapa 3).

35 Cada situación histórica corresponde a una situación en la que se encontraba un paciente histórico y para la cual se han tomado datos históricos.

El número de situaciones históricas para las que se adquieren datos históricos es preferiblemente superior a 1.000, preferiblemente superior a 10.000, preferiblemente superior a 100.000, preferiblemente superior a 500.000.

Con ello se mejora la precisión del análisis estadístico.

40 Las situaciones históricas pueden relacionarse con diferentes clases de aparatos de ortodoncia. El número de situaciones históricas relativas a la misma clase de aparatos de ortodoncia es preferiblemente superior a 1.000, preferiblemente superior a 10.000, preferiblemente superior a 100.000, preferiblemente superior a 500.000.

El número de situaciones históricas relativas a una misma categoría de pacientes es preferiblemente superior a 1.000,

preferiblemente superior a 10.000, preferiblemente superior a 100.000, preferiblemente superior a 500.000.

Las situaciones históricas se refieren preferiblemente a más de 100, a más de 1000, a más de 10.000, a más de 50.000 pacientes diferentes.

Todos los datos históricos se almacenan en una base de datos informática.

- 5 Por supuesto, el paciente actual puede haber experimentado situaciones históricas y, por lo tanto, haber sido él mismo un "paciente histórico".

La etapa 2) es una etapa de recopilación de datos actuales relativos a la situación actual experimentada por el paciente actual y que son pertinentes para el análisis estadístico de la etapa 3).

Los datos actuales permiten preferiblemente determinar la categoría a la que pertenece el paciente actual.

- 10 Si el paciente actual lleva un dispositivo de ortodoncia actual, los datos actuales permiten determinar los parámetros de este aparato, pero también, preferiblemente, la clase de este aparato.

En la etapa 1) y/o en la etapa 2), la adquisición de datos históricos o actuales, respectivamente, puede realizarse por cualquier medio. En particular, puede resultar de la implementación de un procedimiento de adquisición de datos que incluye las siguientes etapas:

- 15 a) realización de un modelo de referencia tridimensional digital de al menos una parte de una arcada, preferiblemente de al menos una arcada de un paciente (actual o histórico), o "modelo de referencia inicial" y, preferiblemente, para cada diente, definición, a partir del modelo de referencia inicial, de un modelo de referencia tridimensional digital de dicho diente, o "modelo de diente";
- 20 b) adquisición de al menos una imagen bidimensional de las arcadas del paciente, denominada "imagen actualizada", en condiciones reales de adquisición;
- c) análisis de cada imagen actualizada y realización, para cada imagen actualizada, de un mapa actualizado relativo a una información discriminatória;
- d) opcionalmente, determinación, para cada imagen actualizada, de condiciones de adquisición virtuales groseras que se aproximen a dichas condiciones de adquisición reales;
- 25 e) búsqueda, para cada imagen actualizada, por medio del mapa actualizado, por deformación del modelo de referencia inicial, de un modelo de referencia actualizado correspondiente al posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada, efectuándose preferiblemente la búsqueda por medio de un método metaheurístico, preferiblemente evolucionista, preferiblemente por recocido simulado, y
- 30 f) recogida de datos relativos al modelo de referencia actualizado y preferiblemente, si el paciente lleva un aparato de ortodoncia, relativos a dicho aparato de ortodoncia.

Según que este procedimiento se implementa en la etapa 1) o en la etapa 2), estos datos recogidos serán datos históricos o actuales, respectivamente.

- 35 La fabricación del modelo de referencia actualizado es ventajosamente posible sin precaución particular, en especial porque el posicionamiento real de los dientes se mide con un modelo de referencia actualizado que resulta de una deformación del modelo de referencia inicial para que corresponda a las observaciones proporcionadas por las imágenes actualizadas, es decir, para que las imágenes actualizadas sean vistas del modelo de referencia inicial deformado.

- 40 Tal procedimiento de adquisición de datos, ilustrado en la figura 3, permite por lo tanto, a partir de una o más imágenes simples de los dientes, tomadas sin un posicionamiento previo preciso de los dientes con respecto al aparato de adquisición de imágenes, por ejemplo, a partir de una fotografía tomada por el paciente, evaluar con precisión la posición de los dientes en el momento de la etapa b). Esta evaluación también se puede realizar a distancia, a partir de simples fotografías tomadas con un teléfono móvil, sin que el paciente tenga que acudir al ortodoncista en particular.

Si el paciente lleva un aparato de ortodoncia, esta evaluación permite así ventajosamente adquirir numerosos datos que permiten establecer correlaciones entre parámetros del aparato de ortodoncia, su comportamiento y configuraciones de los dientes.

- 45 En la etapa a), se crea un modelo de referencia inicial de las arcadas, o de una parte de las arcadas del paciente, con un escáner 3D. Tal modelo, llamado "3D", ilustrado en la figura 4, puede observarse desde cualquier ángulo.

El modelo de referencia inicial se puede preparar a partir de mediciones efectuadas sobre los dientes del paciente o sobre un modelo físico de sus dientes, por ejemplo, un modelo de yeso.

En el modelo de referencia inicial, una parte que corresponde a un diente, o "modelo de diente", está delimitada por un

borde gingival que se puede descomponer en un borde gingival interior (por el lado del interior de la boca con respecto al diente), un borde gingival exterior (orientado hacia el exterior de la boca con respecto al diente) y dos bordes gingivales laterales.

5 En la etapa b), se toma una imagen actualizada de una parte de una arcada, de una arcada o de las arcadas mediante un aparato de adquisición de imágenes, preferiblemente un teléfono móvil.

Preferiblemente, se usa un separador dental durante la etapa b), como se muestra en la figura 6a. El separador incluye clásicamente un soporte provisto de un reborde que se extiende alrededor de una abertura y dispuesto de manera que los labios del paciente puedan descansar sobre el mismo, dejando que los dientes del paciente aparezcan a través de dicha abertura.

10 En la etapa c), cada imagen actualizada se analiza para realizar, para cada imagen actualizada, un mapa actualizado relativo al menos a una información discriminatoria.

Un mapa actualizado representa una información discriminatoria en el sistema de referencia de la imagen actualizada. Por ejemplo, la figura 5b es un mapa actualizado relativo al contorno de los dientes obtenido a partir de la imagen actualizada de la figura 5a.

15 La información discriminatoria se selecciona preferiblemente del grupo constituido por una información de contorno, una información de color, una información de densidad, una información de distancia, una información de brillo, una información de saturación, una información sobre los reflejos y combinaciones de estas informaciones.

Un experto en la técnica sabe cómo tratar una imagen actualizada para hacer aparecer la información discriminatoria.

20 En la etapa opcional d), se determinan aproximadamente las condiciones de adquisición reales durante la etapa b). En otras palabras, se determina al menos la posición relativa del dispositivo de adquisición de imágenes en el momento en que ha tomado la imagen actualizada (posición del aparato de adquisición en el espacio y orientación de este aparato). La etapa d) permite ventajosamente limitar el número de pruebas sobre condiciones de adquisición virtual durante la etapa e), y por lo tanto permite acelerar considerablemente la etapa e).

25 Preferiblemente, se utilizan una o más reglas heurísticas. Por ejemplo, preferiblemente, se excluyen condiciones de adquisición virtuales susceptibles de ser ensayadas en la etapa e), las condiciones que corresponden a una posición del aparato de adquisición de imágenes detrás de los dientes o a una distancia de los dientes superior a 1 m.

30 En un modo de realización preferido, como se ilustra en la Figura 7, se utilizan marcas de referencia que se muestran en la imagen actualizada y, en particular, marcas 12 de referencia del separador, para determinar una región sustancialmente cónica del espacio que delimita las condiciones de adquisición virtuales de ser ensayadas en la etapa e), o "cono de prueba".

Específicamente, se disponen preferiblemente al menos tres marcas 12 de referencia no alineadas sobre el espaciador 10, y se miden con precisión sus posiciones relativas sobre el espaciador.

35 A continuación, las marcas de referencia se referencian sobre la imagen actualizada, como se ha descrito anteriormente. Cálculos trigonométricos simples permiten determinar aproximadamente la dirección en la que se ha tomado la imagen actualizada.

La etapa d) solo permite una evaluación aproximada de las condiciones reales de adquisición. La etapa d) permite sin embargo determinar un conjunto restringido de condiciones de adquisición virtuales susceptibles de corresponder a las condiciones de adquisición reales y, en este conjunto, condiciones de adquisición virtuales que constituyen el mejor punto de partida para la etapa e) descrita a continuación.

40 El objetivo de la etapa e) es modificar el modelo de referencia inicial hasta obtener un modelo de referencia actualizado que corresponda a la imagen actualizada. Idealmente, el modelo de referencia actualizado es por tanto un modelo de referencia tridimensional digital a partir del cual se podría haber tomado la imagen actualizada si este modelo hubiera sido real.

45 Por lo tanto, se prueba una sucesión de modelos de referencia "a ensayar", dependiendo preferiblemente la elección de un modelo de referencia a ensayar del nivel de correspondencia de los modelos de referencia "a ensayar" previamente ensayados con la imagen actualizada. Esta elección se efectúa preferiblemente siguiendo un método de optimización conocido, en particular elegido entre métodos de optimización metaheurísticos, preferiblemente evolucionistas, en particular en los procedimientos de recocido simulado.

Preferiblemente, la etapa e) incluye

- 50
- una primera operación de optimización que permite buscar las condiciones de adquisición virtuales que mejor se correspondan con las condiciones de adquisición reales en un modelo de referencia a ensayar determinado a partir del modelo de referencia inicial, y

- una segunda operación de optimización que permite buscar, ensayando una pluralidad de dichos modelos de referencia a ensayar, el modelo de referencia que mejor se corresponde con el posicionamiento de los dientes del paciente durante la adquisición de la imagen actualizada en la etapa b).

5 Preferiblemente, se efectúa una primera operación de optimización para cada ensayo de un modelo de referencia a ensayar durante la segunda operación de optimización.

Preferiblemente, la primera operación de optimización y/o la segunda operación de optimización, preferiblemente la primera operación de optimización y la segunda operación de optimización implementan un método metaheurístico, preferiblemente evolucionista, de preferencia un recocido simulado.

Preferiblemente, la etapa e) incluye las siguientes etapas:

- 10 e1) definición de un modelo de referencia a ensayar como el modelo de referencia inicial, luego,
- e2) según las siguientes etapas, ensayo de condiciones de adquisición virtuales con el modelo de referencia a ensayar para aproximarse finamente a dichas condiciones de adquisición reales;
- e21) determinación de condiciones de adquisición virtuales a ensayar;
- 15 e22) realización de una imagen de referencia bidimensional del modelo de referencia a ensayar en dichas condiciones de adquisición virtuales a ensayar;
- e23) tratamiento de la imagen de referencia para realizar al menos un mapa de referencia que represente, al menos parcialmente, dicha información discriminativa;
- e24) comparación de los mapas actualizado y de referencia para determinar un valor para una primera función de evaluación, dependiendo dicho valor para la primera función de evaluación de las diferencias entre dichos mapas actualizado y de referencia y correspondiendo a una decisión de continuar o detener la búsqueda de condiciones de adquisición virtuales que se aproximan a dichas condiciones de adquisición reales con más exactitud que dichas condiciones de adquisición virtuales a ensayar determinadas en la última ocurrencia de la etapa e21);
- 20 e25) si dicho valor para la primera función de evaluación corresponde a una decisión de continuar dicha búsqueda, modificación de las condiciones de adquisición virtuales a ensayar, luego reanudación en la etapa e22);
- 25 e3) determinación de un valor para una segunda función de evaluación, dependiendo dicho valor para la segunda función de evaluación de las diferencias entre los mapas actualizado y de referencia en las condiciones de adquisición virtuales que mejor se aproximan a dichas condiciones de adquisición reales y resultantes de la última ocurrencia de la etapa e2), correspondiendo dicho valor para la segunda función de evaluación a una decisión de continuar o detener la búsqueda de un modelo de referencia que se aproxime al posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada con más exactitud que dicho modelo de referencia a ensayar utilizado en la última ocurrencia de la etapa e2), y si dicho valor para la segunda función de evaluación corresponde a una decisión de continuar dicha búsqueda, modificación del modelo de referencia a ensayar por desplazamiento de uno o más modelos de dientes, luego reanudación en la etapa e2).
- 30

35 En la etapa e1), se determina que el modelo de referencia a ensayar es el modelo de referencia inicial durante la primera ejecución de la etapa e2).

En la etapa e2), se comienza por determinar las condiciones de adquisición virtuales a ensayar, es decir, una posición y orientación virtuales susceptibles de corresponder a la posición y orientación reales del dispositivo de adquisición durante la captura de la imagen actualizada, pero también, preferiblemente, una calibración virtual susceptible de corresponder a la calibración real del aparato de adquisición durante la captura de la imagen actualizada.

40 A continuación, el aparato de adquisición de imágenes se configura virtualmente en las condiciones de adquisición virtuales a ensayar para adquirir una imagen de referencia del modelo de referencia a ensayar en estas condiciones de adquisición virtuales a ensayar. La imagen de referencia corresponde por tanto a la imagen que habría tomado el aparato de adquisición de imágenes si se hubiera colocado, con respecto al modelo de referencia a ensayar, y opcionalmente calibrado, en las condiciones de adquisición virtuales a ensayar (etapa e22)).

45 Si la imagen actualizada se tomó mientras la posición de los dientes era exactamente la del modelo de referencia a ensayar, y si las condiciones de adquisición virtuales son exactamente las condiciones de adquisición reales, la imagen de referencia se superpone exactamente a la imagen actualizada. Las diferencias entre la imagen actualizada y la imagen de referencia resultan de errores en la evaluación de las condiciones de adquisición virtuales (si no se corresponden exactamente con las condiciones de adquisición reales) y de desplazamientos de los dientes entre la etapa b) y el modelo de referencia a ensayar.

50

Para comparar las imágenes actualizada y de referencia, se compara la información discriminativa sobre estas dos imágenes. Más específicamente, se realiza, a partir de la imagen de referencia, un mapa de referencia que representa la

información discriminatoria (etapa e23)).

5 Los mapas actualizado y de referencia, ambos relacionados con la misma información discriminatoria, se comparan a continuación y se evalúa la diferencia entre estos dos mapas por medio de una puntuación. Por ejemplo, si la información discriminatoria es el contorno de los dientes, se puede comparar la distancia media entre los puntos del contorno de los dientes que aparece en la imagen de referencia y los puntos del contorno correspondiente que aparece en la imagen actualizada, siendo la puntuación tanto mayor cuanto menor sea esta distancia.

10 Preferiblemente, las condiciones de adquisición virtual comprenden los parámetros de calibración del aparato de adquisición. La puntuación es mayor, cuanto más cerca estén los valores de los parámetros de calibración ensayados de los valores de los parámetros de calibración del aparato de adquisición utilizado en la etapa b). Por ejemplo, si la apertura del diafragma ensayada está lejos de la del dispositivo de adquisición utilizado en la etapa b), la imagen de referencia tiene regiones borrosas y regiones nítidas que no se corresponden con las regiones borrosas y las regiones nítidas de la imagen actualizada. Si la información discriminatoria es el contorno de los dientes, los mapas actualizado y de referencia no representarán por tanto los mismos contornos y la puntuación será baja.

La puntuación puede ser, por ejemplo, un coeficiente de correlación.

15 A continuación, la puntuación se evalúa mediante una primera función de evaluación. La primera función de evaluación permite decidir si el ciclo en la etapa e2) debe continuar o detenerse. La primera función de evaluación puede, por ejemplo, ser igual a 0 si el ciclo debe detenerse o ser igual a 1 si el ciclo se debe continuar.

20 El valor de la primera función de evaluación puede depender de la puntuación alcanzada. Por ejemplo, se puede decidir continuar el ciclo en la etapa e2) si la puntuación no supera un primer umbral. Por ejemplo, si una correspondencia exacta entre las imágenes actualizada y de referencia conduce a una puntuación de 100 %, el primer umbral puede ser, por ejemplo, de 95 %.

Por supuesto, cuanto mayor sea el primer umbral, mejor será la precisión de la evaluación de las condiciones de adquisición virtuales si la puntuación logra superar este primer umbral.

25 El valor de la primera función de evaluación también puede depender de puntuaciones obtenidas con condiciones de adquisición virtuales previamente ensayadas.

El valor de la primera función de evaluación también puede depender de parámetros aleatorios y/o del número de ciclos de la etapa e2) ya realizados.

30 En particular, es posible que a pesar de la repetición de los ciclos, no sea posible encontrar condiciones de adquisición virtuales lo suficientemente próximas a las condiciones de adquisición reales para que la puntuación alcance dicho primer umbral. La primera función de evaluación puede conducir entonces a la decisión de abandonar el ciclo aunque la mejor puntuación obtenida no haya alcanzado dicho primer umbral. Esta decisión puede resultar, por ejemplo, de un número de ciclos superior a un número máximo predeterminado.

Un parámetro aleatorio en la primera función de evaluación también puede autorizar la continuación de pruebas de nuevas condiciones de adquisición virtuales, aunque la puntuación parezca satisfactoria.

35 Las funciones de evaluación utilizadas clásicamente en los procedimientos de optimización metaheurísticos, preferiblemente evolucionistas, en particular en los procedimientos de recocido simulado, pueden usarse para la segunda función de evaluación.

40 Si el valor de la primera función de evaluación indica que se decide continuar el ciclo en la etapa e2), se modifican las condiciones de adquisición virtuales ensayadas (etapa e25)) y se reinicia un ciclo (etapa e2)) consistente en realizar una imagen de referencia y un mapa de referencia, luego comparar este mapa de referencia con el mapa actualizado para determinar una puntuación.

45 La modificación de las condiciones de adquisición virtuales corresponde a un desplazamiento virtual en el espacio y/o a una modificación de la orientación y/o, preferiblemente, a una modificación de la calibración del aparato de adquisición. Esta modificación puede ser aleatoria, siempre que las nuevas condiciones de adquisición virtuales a ensayar todavía pertenezcan al conjunto determinado en la etapa d). La modificación se guía preferiblemente por reglas heurísticas, por ejemplo favoreciendo las modificaciones que, según un análisis de las puntuaciones anteriores obtenidas, aparecen como las más favorables para aumentar la puntuación.

El ciclo en e2) continúa hasta que el valor de la primera función de evaluación indica que se ha decidido salir de este ciclo y continuar en el la etapa e3), por ejemplo si la puntuación alcanza o supera dicho primer umbral.

50 La optimización de las condiciones de adquisición virtuales en la etapa e2) se efectúa preferiblemente utilizando un método metaheurístico, preferiblemente evolucionista, preferiblemente un algoritmo de recocido simulado. Tal algoritmo es bien conocido para la optimización no lineal.

- 5 Si se ha dejado el ciclo en la etapa e2), sin que se haya podido obtener una puntuación satisfactoria, por ejemplo sin que la puntuación haya podido alcanzar dicho primer umbral, el procedimiento puede ser detenido (situación de fallo) o reanudarlo en la etapa c) con una nueva información discriminadora y/o con una nueva imagen actualizada. El procedimiento también se puede continuar con las condiciones de adquisición virtuales correspondientes a la mejor puntuación obtenida. Se puede emitir una advertencia para informar al usuario del error en el resultado.
- 10 Si se ha dejado el ciclo en la etapa e2) cuando se ha podido obtener una puntuación satisfactoria, por ejemplo porque la puntuación ha alcanzado, o incluso superado dicho primer umbral, las condiciones de adquisición virtuales corresponden sustancialmente a las condiciones de adquisición reales.
- 15 Preferiblemente, las condiciones de adquisición virtuales comprenden los parámetros de calibración del aparato de adquisición. El procedimiento efectuado permite así evaluar los valores de estos parámetros sin que sea necesario conocer la naturaleza del aparato de adquisición o su ajuste. Por lo tanto, la etapa b) puede ser realizada sin ninguna precaución particular, por ejemplo, por el propio paciente por medio de su teléfono móvil.
- Además, la búsqueda de la calibración real se efectúa comparando una imagen actualizada con vistas de un modelo de referencia inicial en condiciones de adquisición virtuales que se ensayan. Ventajosamente, no requiere que la imagen actualizada haga aparecer un medidor patrón de calibración, es decir un medidor cuyas características se conocen con precisión que permiten determinar la calibración del aparato de adquisición.
- 20 Las imágenes actualizadas no sirven para crear un modelo tridimensional actualizado completamente nuevo, sino solo para modificar el modelo de referencia inicial, muy preciso. Un modelo tridimensional actualizado completamente nuevo creado a partir de simples fotografías tomadas sin precauciones especiales sería, en particular, demasiado impreciso para que una comparación con el modelo de referencia inicial pueda conducir a conclusiones sobre el desplazamiento de los dientes.
- 25 Pueden subsistir diferencias entre las condiciones de adquisición virtuales determinadas y las condiciones de adquisición reales, en particular si se han desplazado dientes entre las etapas a) y b). La correlación entre las imágenes actualizada y de referencia se puede mejorar aún más reanudando la etapa e2), siendo entonces modificado el modelo de referencia a ensayar por desplazamiento de uno o más modelos dentales (etapa e3)).
- La búsqueda del modelo de referencia que mejor se aproxime al posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada se puede efectuar como la búsqueda de las condiciones de adquisición virtuales que mejor se aproximen a las condiciones de adquisición reales (etapa e2)).
- 30 En particular, la puntuación se evalúa por medio de una segunda función de evaluación. La segunda función de evaluación permite decidir si el ciclo sobre las etapas e2) y e3) debe continuar o detenerse. La segunda función de evaluación puede, por ejemplo, ser igual a 0 si el ciclo debe detenerse o ser igual a 1 si el ciclo debe continuar.
- El valor de la segunda función de evaluación depende preferiblemente de la mejor puntuación obtenida con el modelo de referencia a ensayar, es decir de las diferencias entre los mapas actualizado y de referencia, en las condiciones de adquisición virtuales que mejor se aproximan a dichas condiciones reales de adquisición.
- 35 El valor de la segunda función de evaluación también puede depender de la mejor puntuación obtenida con uno o más modelos de referencia ensayados previamente.
- Por ejemplo, se puede decidir continuar con el ciclo si la puntuación no supera un segundo umbral mínimo. El valor de la segunda función de evaluación también puede depender de parámetros aleatorios y/o del número de ciclos de las etapas e2) y e3) ya efectuadas.
- 40 Las funciones de evaluación utilizadas clásicamente en los procedimientos de optimización metaheurísticos, preferiblemente evolucionistas, en particular en los procedimientos de recocido simulado, pueden usarse para la segunda función de evaluación.
- Si el valor de la segunda función de evaluación indica que se ha decidido seguir el ciclo en las etapas e2) y e3), se modifica el modelo de referencia a ensayar y se vuelve a iniciar un ciclo (etapas e2) y e3)) con el nuevo modelo de referencia a ensayar.
- 45 La modificación del modelo de referencia a ensayar corresponde a un desplazamiento de uno o más modelos de dientes. Esta modificación puede ser aleatoria. La modificación se guía preferiblemente por reglas heurísticas, por ejemplo favoreciendo las modificaciones que, de acuerdo con un análisis de las puntuaciones anteriores obtenidas, aparecen como las más favorables para aumentar la puntuación.
- 50 Preferiblemente se busca el desplazamiento de un modelo de diente que tenga mayor impacto en la puntuación, se modifica el modelo de referencia a ensayar desplazando este modelo de diente, luego se continúa el ciclo en las etapas e2) y e3) con el fin de optimizar la puntuación. A continuación se puede buscar, entre los otros modelos de diente, el que tiene el mayor impacto sobre la mejora de la puntuación, y nuevamente buscar el desplazamiento óptimo de este otro

modelo de diente sobre la puntuación. Se puede continuar así con cada modelo de diente.

A continuación es posible reanudar un ciclo sobre el conjunto de los modelos de diente y continuar de esta manera hasta obtener una puntuación superior al segundo umbral. Por supuesto, se pueden usar otras estrategias para desplazar uno o más modelos de diente en el modelo de referencia para ensayar y buscar la puntuación máxima.

- 5 Se continúa el ciclo en las etapas e2) y e3) hasta que el valor de la segunda función de evaluación indica que se decide salir de este ciclo y continuar en la etapa f), por ejemplo si la puntuación alcanza o supera dicho segundo umbral.

10 La búsqueda de un modelo de referencia con un ciclo en las etapas e2) y e3) para buscar las posiciones de los modelos de diente que optimicen la puntuación se efectúa preferiblemente utilizando un método metaheurístico, preferiblemente evolucionista, preferiblemente un algoritmo de recocido simulado. Tal algoritmo es bien conocido para la optimización no lineal.

Si se ha dejado el ciclo en las etapas e2) y e3) sin que se haya podido obtener una puntuación satisfactoria, por ejemplo sin que la puntuación haya podido alcanzar dicho segundo umbral, se puede detener el procedimiento (situación de fallo) o reanudarlo en la etapa c) con una nueva información discriminatoria y/o con una nueva imagen actualizada.

15 Si se decide volver a lanzar el procedimiento en la etapa c) a partir de otra información discriminatoria y/o de otra imagen actualizada porque no se ha alcanzado el primer umbral o el segundo umbral, la elección de la nueva información discriminatoria y/o de la nueva imagen actualizada puede depender de las puntuaciones obtenidas previamente, con el fin de favorecer la información discriminatoria y/o la imagen actualizada que, respecto a dichas puntuaciones, aparecen las más prometedoras.

20 Se puede utilizar nueva información discriminatoria, obtenida por ejemplo combinando otras informaciones discriminatorias ya ensayadas. Si es necesario, también se puede solicitar la adquisición de una o más nuevas imágenes actualizadas. Preferiblemente, se proporcionan indicaciones que permiten guiar el posicionamiento del aparato de adquisición para la captura de esta nueva imagen actualizada. Por ejemplo, se puede indicar al paciente que debería tomar una fotografía de la parte derecha de su arcada inferior.

25 Si se ha dejado el ciclo en las etapas e2) y e3) sin haber podido obtener una puntuación satisfactoria, se puede emitir una advertencia para informar al usuario del error en el resultado.

30 Si se ha dejado el ciclo en las etapas e2) y e3) cuando se ha podido obtener una puntuación satisfactoria, por ejemplo porque la puntuación ha alcanzado, o incluso superado dicho segundo umbral, las condiciones de adquisición virtuales corresponden sustancialmente a las condiciones de adquisición reales y los modelos de los dientes en el modelo de referencia obtenido (llamado "modelo de referencia actualizado") están sustancialmente en la posición de los dientes del paciente en el momento de la etapa b).

El ciclo de las etapas e2) y e3) permite ventajosamente mejorar la evaluación de los parámetros de calibración del aparato de adquisición en la etapa b).

35 Al final de la etapa e), el modelo de referencia actualizado corresponde sustancialmente a la imagen actualizada. Entonces es posible realizar mediciones precisas sobre el posicionamiento de los dientes y/o sobre la forma del aparato de ortodoncia para adquirir datos históricos o actuales.

Las etapas a) a e) pueden incluir una o más características de las etapas correspondientes del procedimiento descrito en el documento PCT/EP2015/074896, incorporado por referencia, publicado con el número WO 2016 066651 (el "modelo de referencia final" mencionado en la etapa e) del documento WO 2016 066651 correspondiente al presente "modelo de referencia actualizado").

40 En la etapa 3), se pueden utilizar todos los métodos de análisis estadístico.

Ventajosamente, el análisis estadístico permite establecer correlaciones entre datos históricos, y en particular entre valores de parámetros del aparato de ortodoncia eventualmente llevado y su comportamiento, sin que sea necesario establecer analíticamente cada una de las correlaciones.

Según el sistema de la presente invención, el análisis estadístico se implementa mediante un programa informático.

45 El análisis estadístico incluye un análisis de los datos históricos para predecir el valor de uno o más parámetros de contexto en un tiempo futuro en función de un conjunto de restricciones impuestas para esta predicción, y en particular de los datos actuales.

50 El análisis estadístico permite predecir en un instante futuro, preferiblemente en cualquier instante futuro, el valor de al menos un parámetro de posicionamiento de dientes del paciente actual, por ejemplo la posición teórica de cualquier punto de un diente.

El análisis estadístico permite construir, a partir de los datos históricos, un modelo predictivo que permite prever cómo va

a evolucionar el valor de determinados parámetros en función de los "datos de entrada".

Preferiblemente, los datos históricos comprenden los valores de parámetros de contexto relativos a situaciones dentales históricas experimentadas por el paciente actual. Preferiblemente, el análisis estadístico asigna un peso a estos valores que es superior al de los valores de estos parámetros de contexto relativos a situaciones dentales históricas experimentadas por otros pacientes.

Así, por ejemplo, si el paciente actual sigue un tratamiento de ortodoncia, el análisis de los datos históricos de otros tratamientos de ortodoncia, por ejemplo de otros 1000 tratamientos de ortodoncia similares, puede llevar a estimar que el desplazamiento del baricentro de un diente del paciente a lo largo del eje Ox) en el mes siguiente al instante actual debería ser de 60 μm . Si el análisis de los datos históricos del paciente actual por sí solo conduce a estimar este desplazamiento en 50 μm , el análisis estadístico podría, por ejemplo, estimar este desplazamiento en 55 μm . En este ejemplo, el peso de los datos históricos del paciente es, por tanto, 1000 veces superior al de los datos históricos de los demás pacientes.

Los datos de entrada son valores que bloquean los valores de ciertos parámetros.

Los valores de algunos parámetros solo pueden ser datos de entrada. Estos parámetros constituyen así restricciones no ajustables.

Así, la predicción se efectúa necesariamente a partir de la posición de los dientes del paciente actual en el instante actual. Los valores de los parámetros de posicionamiento de los dientes del paciente actual en el instante actual son, por lo tanto, datos de entrada.

De manera similar, si el paciente actual sigue un tratamiento de ortodoncia, la predicción se efectúa a partir de una situación dental actual en la que se lleva un aparato de ortodoncia en los dientes en su posición actual. Por lo tanto, también se puede imponer el valor de ciertos parámetros del aparato de ortodoncia en el instante actual, por ejemplo, la posición de los puntos de soporte. La clase del aparato de ortodoncia actual o sus parámetros intrínsecos son otros ejemplos de restricciones no ajustables.

Los parámetros que no son restricciones no ajustables pueden ser bloqueados o solo permitir que varíen dentro de zonas bloqueadas. Constituyen restricciones ajustables, en particular por el ortodoncista y/o el paciente.

Por ejemplo, la duración total de un tratamiento de ortodoncia se puede fijar en 6 meses. También se puede fijar un coeficiente de dolor que mide el dolor máximo durante el tratamiento de ortodoncia.

En un modo de realización preferido, el instante futuro es un instante futuro "objetivo", es decir correspondiente a un instante predeterminado del tratamiento, en particular correspondiente a una configuración intermedia o final, y una zona para los valores posibles de un parámetro de posicionamiento de los dientes se impone en este instante futuro. Este parámetro de posicionamiento es entonces una restricción ajustable.

Un parámetro constituye una restricción ajustable sólo si, para el análisis estadístico, se decide limitar el dominio de sus posibles valores. Si no, se trata de un parámetro libre.

Por lo tanto, los parámetros que no son restricciones son libres de variar. Si los dominios de valores posibles para las restricciones ajustables son lo suficientemente amplios y si las restricciones ajustables no son demasiado numerosas, el análisis estadístico permitirá predecir al menos una situación dental futura respetando las restricciones. Si no, simples ensayos permitirán, relajando ciertas restricciones, obtener al menos una predicción.

Numerosos parámetros pueden ser restricciones ajustables. Por lo tanto, el análisis estadístico a menudo permite determinar varios "tratamientos de ortodoncia potenciales" para mejorar la situación dental del paciente actual. Simples ensayos permiten limitar las zonas de valores posibles para las restricciones ajustables para limitar el número de tratamientos de ortodoncia potenciales.

Preferiblemente, si el paciente actual sigue un tratamiento de ortodoncia, el análisis estadístico utiliza únicamente datos históricos de situaciones dentales relativas a aparatos de ortodoncia de la misma clase que el aparato de ortodoncia actual. Se mejora la precisión de la predicción.

Preferiblemente, el análisis estadístico usa solo datos históricos de situaciones dentales relacionadas con pacientes históricos de la misma categoría que el paciente actual. Se mejora la precisión de la predicción.

En particular, un instante futuro puede ser posterior al instante actual en más de una semana, más de 2 semanas, más de 3 semanas, más de 5 semanas, más de 8 semanas, más de 10 semanas. La predicción es tanto más precisa cuanto más próximo es el instante futuro considerado al instante actual.

Preferiblemente, se determina una situación dental futura para un instante futuro correspondiente a una configuración intermedia o final.

Cuando el análisis estadístico permite determinar varias situaciones dentales futuras para un mismo instante futuro,

selecciona preferiblemente al menos una, preferiblemente dos situaciones dentales futuras correspondientes a situaciones dentales extremas, es decir a situaciones correspondientes a valores límite aceptables, en este instante futuro, para una restricción ajustable. La restricción ajustable puede ser en particular un parámetro de posicionamiento de un diente para el que el ortodoncista y/o el paciente han establecido una zona de valores posibles.

5 Preferiblemente, se determina al menos una situación dental futura para varios instantes futuros diferentes.

Cuando se determina al menos una situación dental futura para varios instantes futuros diferentes, los diferentes instantes futuros pueden estar separados en particular por más de 3 días, más de una semana o más de 2 semanas, y/o menos de 2 meses, o menos de un mes.

Preferiblemente, al menos uno de los instantes futuros es un instante futuro "objetivo".

10 El análisis estadístico permite así predecir un tratamiento de ortodoncia potencial hasta el instante futuro objetivo. Al fijar las restricciones ajustables, es posible predecir varios tratamientos de ortodoncia potenciales y, por lo tanto, medir el impacto de una elección sobre las restricciones ajustables.

Los resultados del análisis estadístico se pueden presentar en cualquier forma.

15 El programa informático del sistema de la presente invención permite presentar una desviación entre una situación dental futura para un instante futuro y una predicción de la situación dental anticipada, para dicho instante futuro, en un instante anterior al instante actual, mediante ejemplo al inicio del tratamiento. Esta presentación de la desviación es particularmente útil cuando el tiempo futuro corresponde a una configuración intermedia o final.

20 Preferiblemente, se presenta la desviación entre un tratamiento de ortodoncia potencial y una predicción correspondiente del tratamiento de ortodoncia anticipado en un instante anterior al actual, por ejemplo, al comienzo del tratamiento. Esta presentación de la desviación permite visualizar si el tratamiento se ha desarrollado y se va a desarrollar conforme a la predicción inicial.

Preferiblemente, se presentan varias situaciones dentales futuras, en diferentes instantes futuros, sobre una misma representación gráfica.

25 Preferiblemente, a partir del resultado del análisis estadístico se establece una representación gráfica que presenta una predicción de la evolución temporal de al menos un parámetro de contexto.

La evolución temporal puede ser en particular la de:

- un parámetro del aparato de ortodoncia actual; y/o
- un parámetro de posicionamiento de los dientes del paciente actual, por ejemplo la evolución temporal del desplazamiento de un punto de un diente; y/o
- 30 • una probabilidad de que ocurra la situación dental futura, en un instante futuro considerado; y/o
- una desviación de una situación dental que constituye un objetivo en el instante futuro considerado; y/o
- un coste previsible para que ocurra la futura situación dental en un instante futuro considerado; y/o
- un coeficiente de dolor para que ocurra la situación dental en un instante futuro considerado.

35 La escala de tiempo es preferiblemente lineal. Una representación gráfica permite, por ejemplo, percibir inmediatamente la dinámica de la acción del aparato de ortodoncia. En particular, la constatación de que la curva de un parámetro de posicionamiento aumenta o disminuye más lentamente a medida que pasa el tiempo, puede interpretarse como que significa que el aparato de ortodoncia pierde su eficacia.

Tal curva es particularmente fácil de entender, lo que hace posible su utilización por el propio paciente actual.

40 En un modo de realización preferido, la representación gráfica incluye indicaciones sobre el carácter satisfactorio o insatisfactorio de dicha evolución. Por ejemplo, la curva puede cambiar de color si la pendiente se considera anormal. Así es posible determinar, por ejemplo, el momento a partir del cual cualquier retraso en la adaptación del tratamiento será perjudicial.

45 Preferiblemente, la representación gráfica se puede visualizar en un teléfono móvil. En particular, puede ser vista por el paciente. Ventajosamente, el paciente puede así decidir por sí mismo, en el momento más oportuno, tomar medidas para modificar o cambiar su aparato de ortodoncia, o concertar una cita con el ortodoncista.

En un modo de realización, el número de parámetros cuya evolución se representa gráficamente es inferior a 10, preferiblemente inferior a 5, preferiblemente inferior a 4, preferiblemente inferior a 3, preferiblemente inferior a 2. En un

modo de realización, el número de dientes para los que se representa gráficamente la evolución de uno o más parámetros es inferior a 10, preferiblemente inferior a 5, preferiblemente inferior a 4, preferiblemente inferior a 3, preferiblemente inferior a 2. Se facilita con ello la toma de decisiones.

Preferiblemente, en base al resultado del análisis estadístico, se establece un informe que proporciona

- 5
- informaciones de diagnóstico y/o recomendaciones para aplicar un nuevo tratamiento de ortodoncia al paciente actual o para modificar un tratamiento de ortodoncia aplicado al paciente actual y/o
 - una puntuación representativa de la eficacia de un tratamiento aplicado al paciente actual y/o de posibles tratamientos de ortodoncia alternativos.

10 En particular, el informe puede especificar cómo modificar la tensión del arco del aparato de ortodoncia actual o cómo fabricar una nueva férula.

Preferiblemente, se determinan varios tratamientos de ortodoncia potenciales que permitan, a partir de la situación dental actual, lograr un posicionamiento deseado de los dientes, luego se presentan dichos tratamientos potenciales al paciente y/o al ortodoncista de tal manera que el o ellos elijan uno de dichos tratamientos de ortodoncia potenciales.

15 Preferiblemente, la modificación de las restricciones ajustables se renueva en el marco de una optimización. En cada ciclo de optimización, se modifican una o más de dichas restricciones ajustables, luego

- se evalúa la situación dental futura obtenida hasta encontrar una situación dental óptima con respecto a un criterio de optimización, según al menos una regla de optimización, y/o
- preferiblemente, se evalúa el tratamiento de ortodoncia potencial obtenido hasta encontrar un tratamiento de ortodoncia óptimo con respecto a un criterio de optimización, según al menos una regla de optimización,

20 Por supuesto, se pueden implementar todos los métodos de optimización conocidos.

Más precisamente, para efectuar una optimización, ciertas restricciones ajustables son clásicamente bloqueadas, otras son variables dentro de una zona que se ha bloqueado.

Para la optimización de una situación dental futura, el criterio de optimización puede ser, por ejemplo, un coeficiente de dolor o un coste asociados a esta situación.

25 El objetivo de la optimización puede ser, por ejemplo, minimizar el coeficiente de dolor en un instante futuro. A continuación se efectúa un primer análisis estadístico con un primer coeficiente de dolor y se examina si el resultado es aceptable. Si el resultado es aceptable, se reduce el coeficiente de dolor y se examina si el nuevo resultado es aceptable. Las restricciones se modifican así hasta determinar el coeficiente de dolor más bajo que permite lograr un resultado aceptable.

30 Para la optimización de un tratamiento de ortodoncia, el criterio de optimización puede ser, por ejemplo, una desviación con un valor deseado para un parámetro de posicionamiento en un instante futuro objetivo, por ejemplo, al final del tratamiento. El criterio de optimización también puede ser un coeficiente de dolor promedio que evalúe, en promedio, el dolor hasta el final del tratamiento, o un coste total del tratamiento.

35 En cada ciclo de optimización, es necesario predecir un tratamiento de ortodoncia potencial, medir el criterio de optimización para este tratamiento de ortodoncia potencial, por ejemplo, promediando los coeficientes de dolor asociados con cada situación dental futura del tratamiento de ortodoncia potencial, luego modificar una o más restricciones ajustables respetando las zonas en las que estas restricciones variables pueden variar.

Al comparar los valores del criterio de optimización obtenidos para los diferentes ciclos, se puede así buscar el tratamiento de ortodoncia potencial óptimo.

La regla de optimización puede ser, por ejemplo, minimizar o maximizar el valor del criterio de optimización.

40 La optimización se efectúa preferiblemente por un ordenador, especificando el ortodoncista o el paciente únicamente restricciones ajustables, por ejemplo, un valor máximo o una zona aceptable para las restricciones ajustables.

45 Por ejemplo, el ortodoncista puede imponer un coste máximo, una duración máxima, un coeficiente de dolor máximo, un número máximo de citas o un número máximo de férulas. También puede especificar, en función del objetivo del tratamiento de ortodoncia, la zona de valores aceptables para uno o más parámetros de contexto y, en particular, parámetros de posicionamiento (zona P en la figura 2, descrita a continuación).

Mediante el análisis estadístico de los datos históricos, el ordenador y/o el ortodoncista y/o el paciente actual buscan entonces una o, preferiblemente, varias situaciones dentales futuras, preferiblemente una o, preferiblemente, varios tratamientos de ortodoncia potenciales que permitan responder a estas restricciones ajustables.

En un modo de realización, si las restricciones ajustables impuestas no permiten determinar un tratamiento de ortodoncia potencial respetando estas restricciones, el ortodoncista las modifica, luego renueva el análisis estadístico y la optimización. Repite estas operaciones hasta haber encontrado al menos un tratamiento de ortodoncia potencial.

5 Por ejemplo, si el paciente desea que su tratamiento dure menos de 3 meses, se podrá eliminar, al menos parcialmente, una restricción ajustable relacionada con el dolor o el coste.

10 Para explorar mejor los diferentes tratamientos posibles, también se puede eliminar la restricción relativa a uno o más parámetros de posicionamiento del diente en un instante futuro objetivo. Por ejemplo, en la figura 2a, descrita a continuación, la curva T3 solo podría realizarse porque se ha eliminado la restricción según la cual, en el instante futuro objetivo t_i , el valor del parámetro de posicionamiento x debe estar incluido en la zona P. Por el contrario, esta restricción no se ha eliminado en el ejemplo de la figura 2c.

La optimización también puede ser parcialmente manual.

En la etapa 4), el ortodoncista analiza los resultados obtenidos en la etapa 3) y eventualmente determina un tratamiento de ortodoncia o modifica un tratamiento de ortodoncia actual en función de estos resultados y, preferiblemente, en función de la elección del paciente actual.

15 La capacidad de predicción ofrecida por el sistema de la invención permite, en particular, determinar un tratamiento de ortodoncia en función de restricciones tales como el coste del tratamiento, el número de citas con el ortodoncista, la forma o el ajuste del aparato de ortodoncia, el dolor, la duración del tratamiento o la probabilidad de éxito.

20 El ortodoncista puede considerar que la situación es aceptable y decidir no implementar el tratamiento de ortodoncia para el paciente actual o no modificar un tratamiento de ortodoncia seguido por el paciente actual. Alternativamente, puede decidir fabricar un aparato de ortodoncia o modificar el aparato de ortodoncia actual eventualmente llevado por el paciente actual, o cambiarlo.

25 El ortodoncista puede en particular modificar la tensión de un arco de ortodoncia del aparato de ortodoncia actual y/o cambiar un arco de ortodoncia del aparato de ortodoncia actual y/o fabricar una férula de ortodoncia nueva para sustituir al aparato de ortodoncia actual. En un modo de realización, el aparato de ortodoncia actual es una férula, y al paciente se le envía una segunda férula fabricada según los resultados del análisis estadístico de la etapa 3).

El aparato de ortodoncia está así bien adaptado a la realidad del tratamiento.

El ortodoncista también puede decidir ventajosamente modificar el tratamiento inicialmente considerado, en particular modificando las configuraciones intermedias.

30 En el caso de un tratamiento de ortodoncia mediante férulas, el sistema permite limitar el número de férulas fabricadas. En particular, las férulas se pueden fabricar durante todo el tratamiento, lo que las permite ser adaptadas perfectamente a la situación real en el momento en que deben ser utilizadas.

Finalmente, se reducen el coste y la duración del tratamiento.

Ejemplos

35 En la figura 2a, se han representado tres tratamientos de ortodoncia potenciales T1, T2 y T3 correspondientes a tres conjuntos diferentes de restricciones. Para cada tratamiento de ortodoncia potencial, se ha evaluado una situación dental futura, mediante análisis estadístico, en instantes t_1 , t_2 y t_i .

El eje de abscisas proporciona el tiempo. El eje de ordenadas proporciona el valor de un parámetro de contexto x , por ejemplo la posición de un punto de un diente según un eje Ox).

40 La zona P es una restricción impuesta x en el instante t_i . Especifica de hecho la zona de las posiciones aceptables para este punto, en el instante futuro objetivo t_i correspondiente por ejemplo al final del tratamiento con el aparato de ortodoncia actual. Los límites de esta zona corresponden a situaciones dentales extremas aceptables para el valor de x en el instante t_i .

En un primer momento, el ortodoncista puede elegir no imponer la zona P.

45 Los tres tratamientos de ortodoncia potenciales T1, T2 y T3 pueden, por ejemplo, diferir en los valores del dolor sentido, correspondientes, por ejemplo, a tres posibles ajustes de la tensión del arco de ortodoncia. Por ejemplo, un coeficiente de dolor que mide el dolor sentido puede ser por ejemplo 200, 150 y 100 para los tratamientos de ortodoncia potenciales T1, T2 y T3, respectivamente.

50 A partir del instante actual t_a , el análisis estadístico, realizado para cada uno de los instantes futuros t_1 , t_2 y t_i y, en cada uno de estos instantes futuros, para los tres valores del coeficiente de dolor, permite predecir el tratamiento de ortodoncia en función del coeficiente de dolor. Se constata, por ejemplo, que si el paciente acepta un coeficiente de dolor de 200

(curva T1), el objetivo para el parámetro de contexto considerado se alcanzará a partir del instante t_3 . Se alcanzará en el instante t_4 con el coeficiente de dolor de T2. La figura 2a muestra que el objetivo del tratamiento no se logrará con el aparato de ortodoncia actual si el paciente actual desea aplicar el coeficiente de dolor de T3. De acuerdo con el paciente actual, el ortodoncista puede entonces elegir alargar la duración del tratamiento o ampliar la zona P o modificar el tratamiento de ortodoncia actual, por ejemplo, cambiando el aparato de ortodoncia actual, lo que eventualmente se traducirá en costes adicionales.

La curva T de la figura 2a representa el tratamiento inicialmente previsto, en el instante inicial t_0 . En el instante actual t_a , se puede constatar, observando los dientes del paciente, una diferencia significativa Δx entre la posición x_a real y la posición x^* inicialmente prevista en el instante t_a . Sin la predicción, el ortodoncista probablemente habría decidido modificar el tratamiento, por ejemplo, cambiando el aparato de ortodoncia. Si el aparato de ortodoncia actual es el correspondiente a la curva T2, puede ver ventajosamente que el retraso se recuperará sin que sea necesario modificar el tratamiento.

Por el contrario, como se representa en la figura 2b, en el instante actual t_a , el ortodoncista puede constatar, observando los dientes del paciente, una pequeña diferencia Δx entre la posición x_a real y la posición x^* inicialmente prevista en el instante t_a . Sin la predicción, el ortodoncista probablemente habría decidido no modificar el tratamiento. Si el aparato de ortodoncia actual es el correspondiente a la curva T2, puede constatar ventajosamente que la diferencia aumentará y que no conseguirá el objetivo si no modifica el tratamiento.

El análisis estadístico permite así anticipar con precisión el comportamiento de un aparato de ortodoncia en función del valor de sus parámetros y de la configuración de los dientes en la que está colocado, pero también simular tratamientos alternativos, por ejemplo modificando las limitaciones.

Las curvas correspondientes a los tratamientos de ortodoncia potenciales T1, T2 y T3 permiten también, en cada instante futuro, visualizar la desviación entre la situación dentaria futura prevista si se aplica uno de estos tratamientos de ortodoncia potenciales y la situación dentaria que constituye el objetivo en dicho instante futuro (curva T). En particular, en el instante t_i , la figura 2a permite visualizar la desviación entre el objetivo para el valor del parámetro de contexto considerado, x_i , y los valores correspondientes x_1 , x_2 y x_3 para las situaciones dentales futuras predichas con las restricciones asociadas a los tratamientos de ortodoncia potenciales T1, T2 y T3.

El ortodoncista también puede decidir imponer la zona P como restricción a respetar. La optimización conduce entonces a una representación gráfica como la de la figura 2c.

En un modo de realización, como se representa en la figura 2d, se determina, a partir del instante inicial t_0 , por ejemplo al comienzo del tratamiento, un tratamiento de ortodoncia potencial llamado "óptimo" para un parámetro, por ejemplo un parámetro de posicionamiento, y tratamientos de ortodoncia potenciales extremos correspondientes a límites mínimo y máximo considerados como aceptables para dicho parámetro de posicionamiento. Estos tratamientos de ortodoncia potenciales están representados por las curvas T_{opt} , T_{max} y T_{min} , respectivamente, en la figura 2d. Las curvas T_{max} y T_{min} definen así una envolvente que proporciona, en cualquier instante hasta el instante futuro objetivo t_i , una tolerancia con respecto a la curva T_{opt} relativa al tratamiento óptimo. En el instante final t_i , por ejemplo al final del tratamiento o en una configuración intermedia, esta tolerancia corresponde a la zona P de las posiciones finales aceptadas. Se denomina "biozona" la superficie, sombreada en las figuras 2d y 2e, que se extiende entre las dos curvas T_{max} y T_{min} .

En la figura 2d, la curva T_r representa la evolución real del valor del parámetro considerado, en este caso la posición x .

En cualquier instante, es posible, de forma muy sencilla, verificar si la posición x está en la biozona. Si es así, el tratamiento se desarrolla normalmente. Si no, es necesario corregir el tratamiento en consecuencia.

En el ejemplo de la figura 2d, la posición x ha salido de la biozona en el instante t_1 , la anomalía se ha detectado en el instante t_2 y el tratamiento se ha modificado en el instante t_3 . La modificación ha permitido devolver la curva T_r a la biozona, a partir del instante t_4 .

La biozona es una herramienta especialmente eficaz para verificar rápidamente si un tratamiento se desarrolla según lo previsto.

En el ejemplo de la figura 2e, el procedimiento de predicción se utiliza fuera del tratamiento de ortodoncia, estando normalmente posicionados los dientes del paciente actual. La curva óptima T_{opt} corresponde a una evolución "normal" del paciente actual, que es una persona de edad avanzada. Las curvas T_{max} y T_{min} definen la envolvente de la biozona.

Se supervisa la posición real x . Cada medición de la posición x se compara, en el instante correspondiente, con la biozona. La posición x abandonó la biozona en el instante t_1 , la anomalía se ha detectado en el instante t_2 y se ha aplicado un tratamiento a partir del instante t_3 . La modificación ha permitido devolver la curva T_r a la biozona, a partir del instante t_4 .

El sistema según la invención permite optimizar el tratamiento de ortodoncia, mejorando al mismo tiempo la información proporcionada al paciente.

Algunos modos de realización descritos anteriormente y representados no forman parte de la invención, pero permiten una

mejor comprensión de ésta.

El paciente al que se refiere la presente invención no se limita a un ser humano. En particular, un procedimiento de control del posicionamiento de los dientes por medio de un sistema según la invención puede usarse para otro animal.

- 5 El sistema de la invención no se limita al marco de un tratamiento de ortodoncia aplicado al paciente actual. También es posible una predicción de la evolución de la posición de los dientes mientras el paciente no está bajo ningún tratamiento, por ejemplo con fines de vigilancia.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de predicción de una situación dental futura para un paciente, denominado "paciente actual", que incluye:

- 5 - una base de datos informáticos, en la que se registran datos, denominados "datos históricos", siendo los datos históricos relativos a más de 1000 situaciones dentales pasadas, denominadas "situaciones dentales anteriores", cada una experimentada, en un instante, denominado "instante histórico", por un paciente denominado "paciente histórico", incluyendo el conjunto de los datos históricos relativos a una situación dental histórica al menos:
 - dicho instante histórico;
 - valores de parámetros de contexto en dicho instante histórico, incluyendo los parámetros de contexto parámetros de posicionamiento de dientes de dicho paciente histórico; y
 - 10 - medios de adquisición de datos para efectuar la etapa siguiente: adquisición, en un instante, denominado "instante actual" (t_a), de datos relativos a una situación dental experimentada por dicho paciente actual, denominada "situación dental actual", incluyendo al menos el conjunto de los datos relativos a dicha situación dental actual, denominados "datos actuales":
 - dicho instante actual (t_a);
 - 15 - valores de parámetros de contexto (x_a) en dicho instante actual (t_a), incluyendo los parámetros de contexto (x_a) parámetros de posicionamiento de dientes de dicho paciente actual;
 - un programa informático que comprende instrucciones que, cuando el programa es ejecutado por un ordenador, conducen a este último a implementar las siguientes etapas:
 - 20 i) construcción, por análisis estadístico, a partir de dichos datos históricos, de un modelo predictivo que permita prever cómo va a evolucionar el valor de parámetros (x) en función de los datos de entrada;
 - ii) predicción, en función de los datos actuales, de al menos una situación dental futura (x_f) en al menos un instante futuro (t_f), siendo los valores de los parámetros de posicionamiento (x_a) de dientes del paciente actual en el instante actual (t_a) dichos datos de entrada; y
 - 25 iii) presentación de una desviación (Δx) entre dicha situación dental futura (x_f) y una predicción de una situación dental, para dicho instante futuro (t_f), anticipada en un instante anterior (t_o) al instante actual (t_a)
- siendo una situación dental una situación relativa a la posición de los dientes, para permitir un análisis de los resultados obtenidos en dichas etapas anteriores y, en función de dicha situación dental futura, una evaluación del interés de un tratamiento de ortodoncia o, si el paciente actual está provisto de un aparato de ortodoncia, denominado "aparato de ortodoncia actual", una reevaluación del tratamiento de ortodoncia de dicho paciente actual y, en función de dicha reevaluación, una modificación del tratamiento de ortodoncia del paciente actual.

2. Sistema según la reivindicación inmediatamente anterior, en el que los parámetros de contexto en dicho instante histórico, incluyen:

- 35 - si el paciente histórico está provisto de un aparato de ortodoncia, denominado "aparato de ortodoncia histórico",
 - al menos un parámetro de dicho aparato de ortodoncia histórico relativo a la clase y/o a la conformación del aparato de ortodoncia histórico; y/o
 - al menos un parámetro sobre el entorno del tratamiento de ortodoncia al que pertenece la situación dental histórica, denominado "tratamiento de ortodoncia histórico", elegido entre un coeficiente de dolor, un coste, una duración, un número de citas con el ortodoncista y una probabilidad de éxito, asociados con dicho tratamiento de ortodoncia histórico; y/o
- 40 - al menos un parámetro funcional del paciente histórico; y/o
 - al menos un parámetro anatómico del paciente histórico distinto de los parámetros de posicionamiento de sus dientes; y/o
 - la edad y/o el sexo y/o un identificador de dicho paciente histórico.

3. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los parámetros de contexto en dicho instante actual incluyen:

- si el paciente actual está provisto de un aparato de ortodoncia actual,
- al menos un parámetro de dicho aparato de ortodoncia actual relativo a la clase y/o a la conformación del aparato

- de ortodoncia actual; y/o
- al menos un parámetro sobre el entorno de tratamiento de ortodoncia actual al que pertenece la situación dental actual, denominado "tratamiento de ortodoncia actual", elegido entre un coeficiente de dolor, un coste, una duración, un número de citas con el ortodontista y una probabilidad de éxito, asociados con dicho tratamiento de ortodoncia actual; y/o
 - al menos un parámetro funcional del paciente actual; y/o
 - al menos un parámetro anatómico del paciente actual distinto de los parámetros de posicionamiento de sus dientes; y/o
 - la edad y/o el sexo y/o un identificador de dicho paciente actual.
- 5
- 10 4. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el programa informático permite determinar varias situaciones dentales futuras, para un mismo instante futuro, y/o al menos una situación dental futura, para varios instantes futuros diferentes.
- 15 5. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el programa informático permite determinar, para al menos una, preferiblemente para cada una de dichas situaciones dentales futuras, y/o para al menos uno, preferiblemente para cada dicho instante futuro,
- si el paciente actual está provisto de un aparato de ortodoncia actual, los valores, en dicho instante futuro, de parámetros de dicho aparato de ortodoncia actual; y/o
 - valores de parámetros de posicionamiento de los dientes de dicho paciente actual en dicho instante futuro; y/o
 - una desviación con una situación dental que constituye un objetivo en dicho instante futuro; y/o
 - un coste para que se realice dicha situación dental futura; y/o
 - un coeficiente de dolor para que se realice dicha situación dental futura; y/o
 - una probabilidad de que las predicciones relativas a dichos parámetros de dicho aparato de ortodoncia actual y/o a los parámetros de posicionamiento de los dientes de dicho paciente actual, y/o a dicho coste y/o a dicho coeficiente de dolor se ajusten a la realidad.
- 20
- 25 6. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el programa informático permite efectuar varios de dichos análisis estadísticos, modificando cada vez dicho instante futuro, para predecir situaciones dentales futuras hasta un instante futuro objetivo, y constituir así un "tratamiento de ortodoncia potencial" hasta dicho instante futuro objetivo.
- 30 7. Sistema según la reivindicación inmediatamente anterior, en el que el programa informático permite determinar varios tratamientos de ortodoncia potenciales, modificando una restricción cada vez.
- 35 8. Sistema según la reivindicación inmediatamente anterior, en el que el programa informático permite determinar un primer y segundo tratamientos de ortodoncia potenciales que conducen, para al menos un parámetro de posicionamiento de los dientes del paciente actual, a situaciones dentales extremas para dicho instante futuro objetivo, correspondiendo una situación dental extrema a un límite mínimo o máximo para dicho parámetro de posicionamiento de los dientes del paciente actual.
- 40 9. Sistema según la reivindicación inmediatamente anterior, en el que se representa en un mismo gráfico la evolución temporal del valor de dicho parámetro de posicionamiento para el primer y segundo tratamientos de ortodoncia potenciales.
- 45 10. Sistema según una cualquiera de las cuatro reivindicaciones inmediatamente anteriores, en el que el instante de inicio del tratamiento o tratamientos de ortodoncia potenciales es el instante actual o un instante inicial correspondiente al inicio de un tratamiento de ortodoncia actual con un aparato de ortodoncia llevado por el paciente actual.
11. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que incluye una operación en la que el programa informático permite implementar una sucesión de las etapas i) a iii) imponiendo cada vez un valor diferente para uno o más parámetros de contexto, hasta encontrar una situación dental óptima para un criterio de optimización, siguiendo al menos una regla de optimización.
12. Sistema según la reivindicación inmediatamente anterior, en el que el criterio de optimización se elige del grupo formado por un coeficiente de dolor, un coste, una desviación respecto a un valor deseado para un parámetro de posicionamiento, una duración, un número de citas con el ortodontista, un número de férulas, una probabilidad de éxito, o una combinación de estos criterios, pudiendo asociarse cada criterio con el tratamiento de ortodoncia actual o con una situación dental de dicho tratamiento de ortodoncia actual.
13. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, para adquirir dichos datos actuales, los

medios de adquisición son adecuados para implementar las siguientes etapas:

- 5 a) realización de un modelo de referencia tridimensional digital de al menos una parte de una arcada, y preferiblemente de al menos una arcada, de un paciente, o "modelo de referencia inicial", y, para cada diente, definición, a partir del modelo de referencia inicial, de un modelo de referencia tridimensional digital de dicho diente, o "modelo de diente";
- b) adquisición de al menos una imagen bidimensional de las arcadas del paciente, denominada "imagen actualizada", en condiciones reales de adquisición;
- c) análisis de cada imagen actualizada y realización, para cada imagen actualizada, de un mapa actualizado relativo a la información discriminativa;
- 10 d) opcionalmente, determinación, para cada imagen actualizada, de condiciones de adquisición virtuales groseras que se aproximen a dichas condiciones de adquisición reales;
- e) búsqueda, para cada imagen actualizada, por deformación del modelo de referencia inicial, de un modelo de referencia actualizado correspondiente al posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada, efectuándose la búsqueda preferiblemente mediante un método metaheurístico, preferiblemente un método evolucionista, preferiblemente por recocido simulado, y
- 15 f) recogida de datos relativos al modelo de referencia actualizado y, si el paciente actual lleva un aparato de ortodoncia, relativos al aparato de ortodoncia de dicho paciente actual.

14. Sistema según la reivindicación inmediatamente anterior, en el que la etapa e) incluye las siguientes etapas:

- e1) definición de un modelo de referencia a ensayar como el modelo de referencia inicial, luego,
- 20 e2) según las siguientes etapas, ensayo de condiciones de adquisición virtuales con el modelo de referencia a ensayar para aproximarse finamente a dichas condiciones de adquisición reales;
- e21) determinación de condiciones de adquisición virtuales a ensayar;
- e22) realización de una imagen de referencia bidimensional del modelo de referencia a ensayar en dichas condiciones de adquisición virtuales a ensayar;
- 25 e23) tratamiento de la imagen de referencia para realizar al menos un mapa de referencia que represente, al menos parcialmente, dicha información discriminativa;
- e24) comparación de los mapas actualizado y de referencia para determinar un valor para una primera función de evaluación, dependiendo dicho valor para la primera función de evaluación de las diferencias entre dichos mapas actualizado y de referencia y correspondiendo a una decisión de continuar o detener la búsqueda de condiciones de adquisición virtuales que se aproximen a dichas condiciones de adquisición reales con más exactitud que dichas condiciones de adquisición virtuales a ensayar determinadas en la última ocurrencia de la etapa e21);
- 30 e25) si dicho valor para la primera función de evaluación corresponde a una decisión de continuar dicha búsqueda, modificación de las condiciones de adquisición virtuales a ensayar, luego reanudación en la etapa e22);
- e3) determinación de un valor para una segunda función de evaluación, dependiendo dicho valor para la segunda función de evaluación de las diferencias entre los mapas actualizado y de referencia en las condiciones de adquisición virtuales que mejor se aproximan a dichas condiciones de adquisición reales y resultantes de la última ocurrencia de la etapa e2), correspondiendo dicho valor para la segunda función de evaluación a una decisión de continuar o detener la búsqueda de un modelo de referencia que se aproxime al posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada con más exactitud que dicho modelo de referencia a ensayar utilizado en la última ocurrencia de la etapa e2), y si dicho valor para la segunda función de evaluación corresponde a una decisión de continuar dicha búsqueda, modificación del modelo de referencia a ensayar por desplazamiento de uno o más modelos de dientes, luego reanudación en la etapa e2).
- 35
- 40

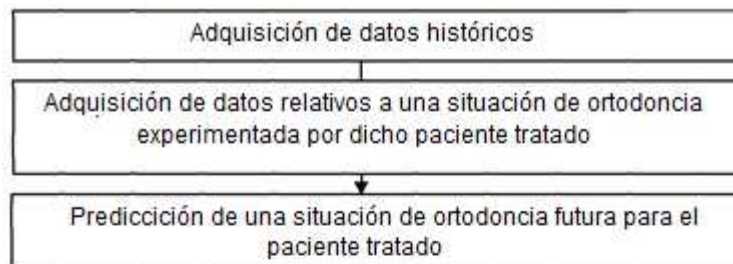


Fig. 1

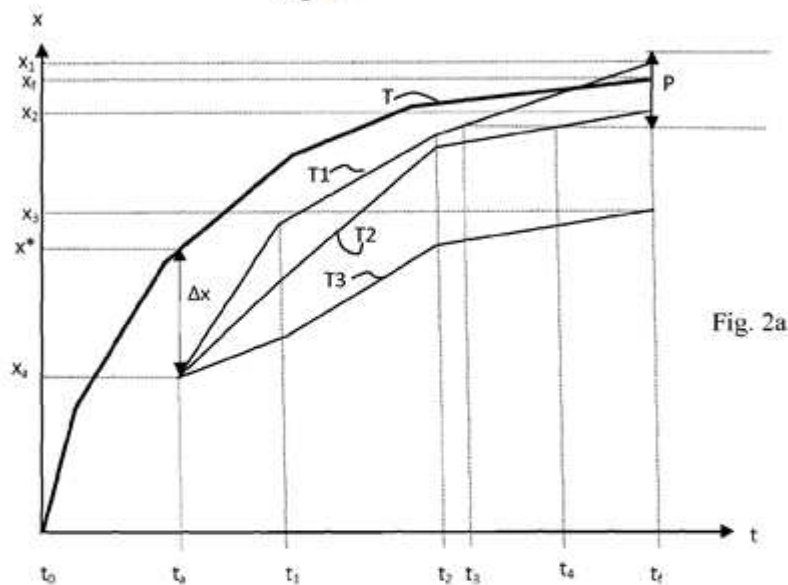


Fig. 2a

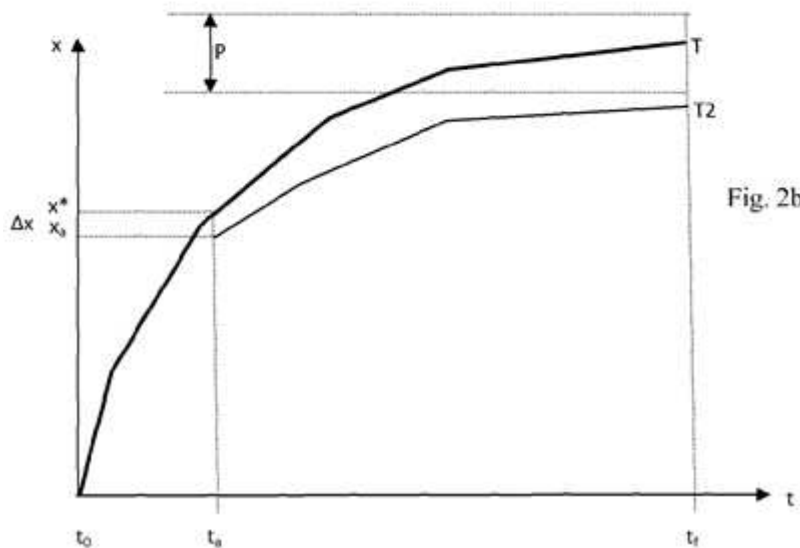
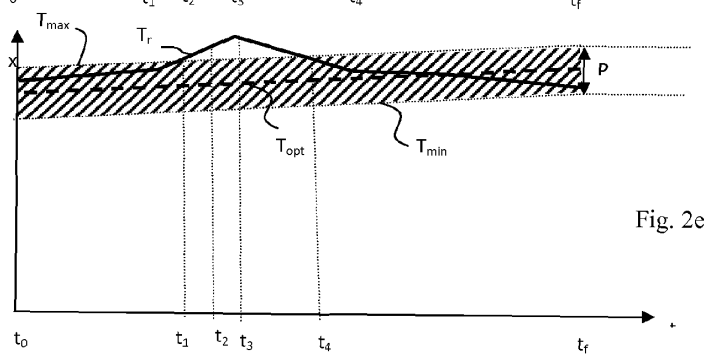
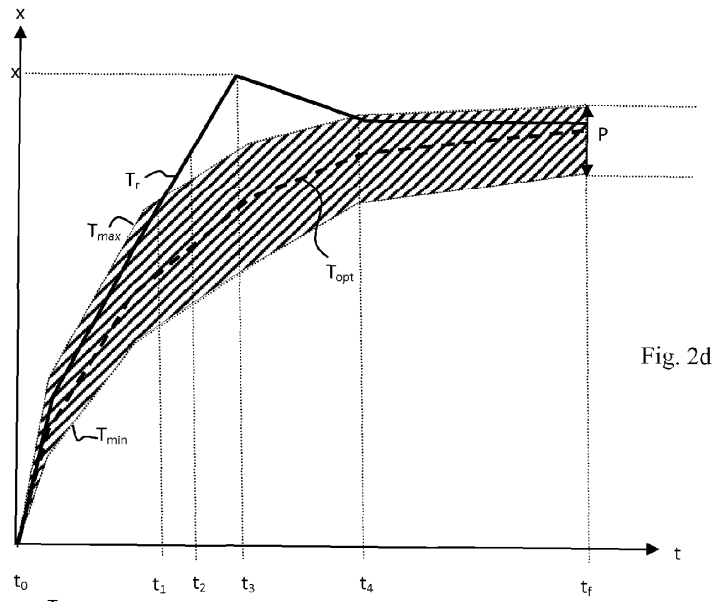
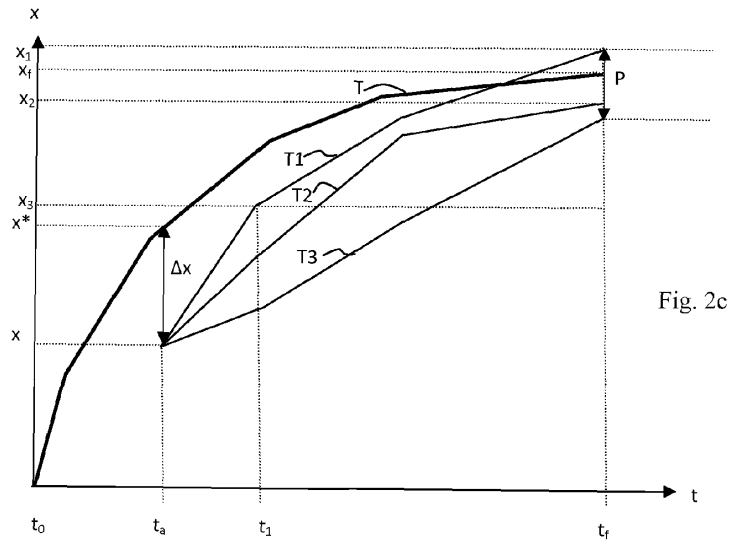


Fig. 2b



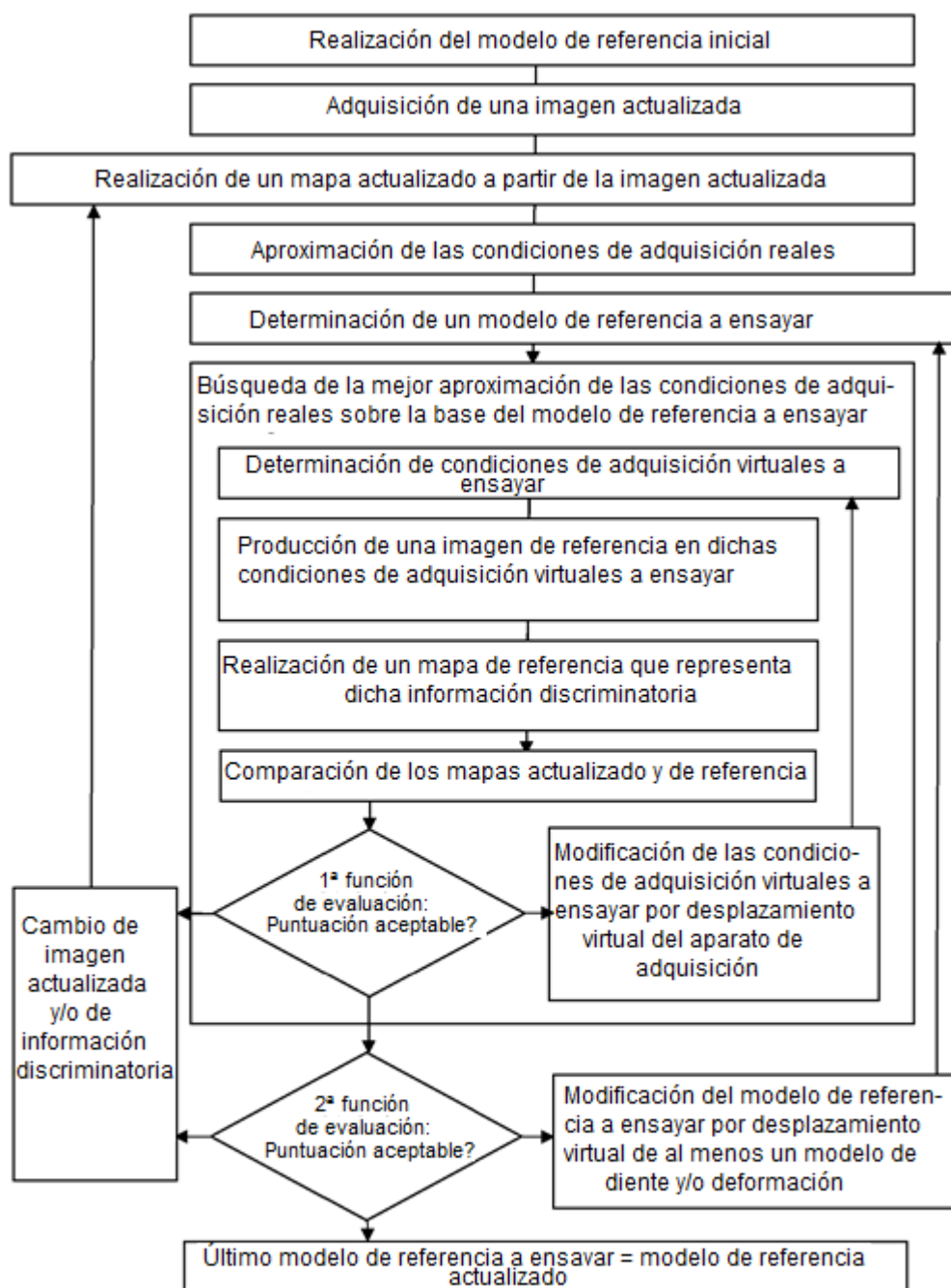


Fig. 3

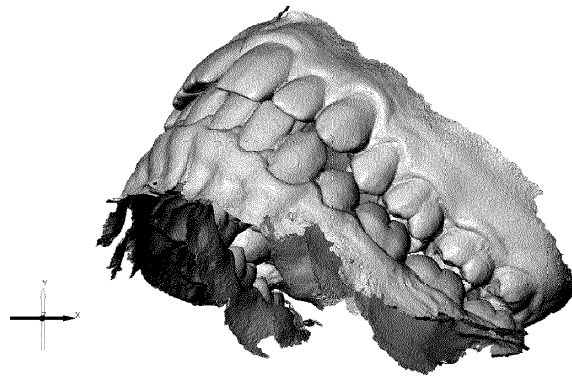


Fig.4

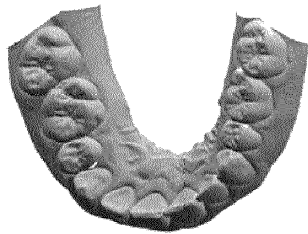


Fig. 5a



Fig. 5b



Fig. 5c

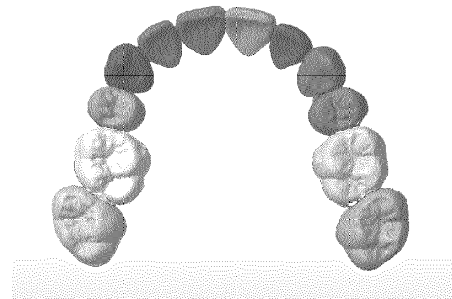


Fig. 5d

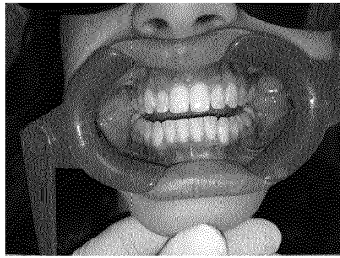


Fig. 6a

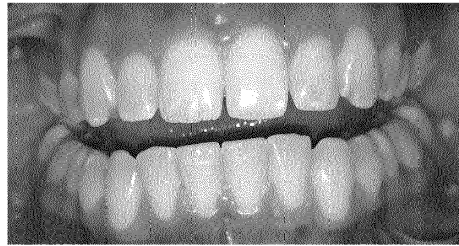


Fig. 6b

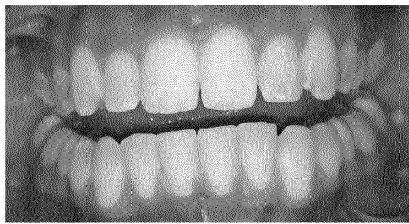


Fig. 6c

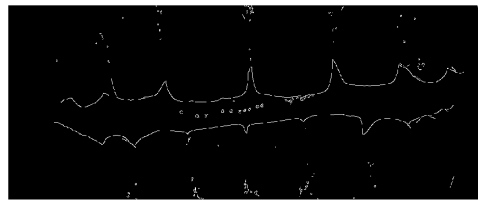


Fig. 6d

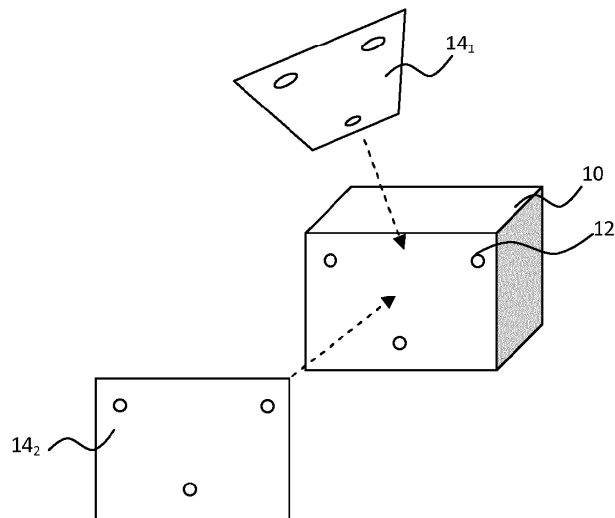


Fig. 7

Fig. 8

