

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 769 024**

51 Int. Cl.:

A61B 1/00	(2006.01) A61B 1/32	(2006.01)
A61C 7/12	(2006.01) A61C 19/06	(2006.01)
A61C 13/00	(2006.01) A61C 19/10	(2006.01)
A61C 19/04	(2006.01) A61B 5/00	(2006.01)
G06T 17/00	(2006.01) A61B 5/06	(2006.01)
G06T 7/33	(2007.01) G06K 9/00	(2006.01)
G06T 7/73	(2007.01)	
G16H 50/50	(2008.01)	
A61C 7/00	(2006.01)	
A61C 9/00	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.10.2015 PCT/EP2015/074859**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **06.05.2016 WO16066637**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.10.2015 E 15786928 (0)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.12.2019 EP 3212113**

54 Título: **Procedimiento de control de un tratamiento ortodóntico**

30 Prioridad:

27.10.2014 FR 1460310

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

24.06.2020

73 Titular/es:

**DENTAL MONITORING (100.0%)
47, avenue Hoche
75008 Paris, FR**

72 Inventor/es:

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

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 769 024 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 control de un tratamiento ortodóntico

Ámbito técnico

5 La presente invención se refiere a un procedimiento de control del posicionamiento de dientes de un paciente y a un programa informático para la realización del procedimiento.

Estado de la técnica

10 Es deseable que cada uno se haga controlar regularmente su dentición, particularmente con el fin de comprobar que la posición de sus dientes no evoluciona desfavorablemente. Durante un tratamiento ortodóntico, esta evolución desfavorable puede particularmente conducir a modificar el tratamiento. Después de un tratamiento ortodóntico, esta evolución desfavorable, llamada «reincidencia», puede conducir a una reanudación de un tratamiento. Por último, de forma más general e independientemente de cualquier tratamiento, cada persona puede desear seguir los desplazamientos eventuales de sus dientes.

Normalmente, los controles son realizados por un ortodoncista o un dentista que son los únicos que disponen de un equipamiento adecuado. Estos controles son por consiguiente costosos. Además, las visitas son restrictivas.

15 El documento US 2009/0291417 describe un procedimiento que permite crear, luego modificar modelos tridimensionales, particularmente para la fabricación de aparatos ortodónticos.

Otro documento en la técnica es ilustrado por WO 2006/065955 A2.

Un objetivo de la presente invención es responder, al menos parcialmente, a los problemas anteriormente mencionados.

20 Resumen de la invención

La invención proporciona un procedimiento de control del posicionamiento de dientes de un paciente, comprendiendo el indicado procedimiento las etapas siguientes:

- 25 a) realización de un modelo de referencia tridimensional digital de los arcos del 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 del indicado diente, o «modelo de diente»;
- b) adquisición de al menos una imagen bidimensional de los indicados arcos, llamada «imagen actualizada», en condiciones de adquisición reales;
- 30 c) análisis de cada imagen actualizada y realización, para cada imagen actualizada, de un mapa actualizado en relación con una información discriminante;
- a) opcionalmente, determinación, para cada imagen actualizada, de condiciones de adquisición virtuales generales que se asemejan a las mencionadas condiciones de adquisición reales;
- b) búsqueda, para cada imagen actualizada, de un modelo de referencia final correspondiente al posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada, siendo la búsqueda de preferencia realizada por medio de un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia por recocido simulado, y
- 35 c) para cada modelo de diente, comparación de los posicionamientos de dicho modelo de diente en el modelo de referencia inicial y en el modelo de referencia obtenido al término de las etapas precedentes, llamado «modelo de referencia final» con el fin de determinar el desplazamiento de los dientes entre las etapas a) y b).

40 Como se verá más en detalle en lo que sigue de la descripción, un procedimiento según la invención permite, a partir de una simple imagen de los dientes, tomada sin pre-posicionamiento preciso de los dientes con relación al aparato de adquisición de imágenes, por ejemplo, una fotografía tomada por el paciente, evaluar con precisión el desplazamiento de los dientes a partir de la realización del modelo de referencia inicial. Esta evaluación puede además ser realizada por un simple ordenador o un teléfono móvil.

45 Según la invención, la etapa e) comprende:

- una primera operación de optimización que permite buscar las condiciones de adquisición virtuales que mejor correspondan a las condiciones de adquisición reales en un modelo de referencia a ensayar determinado a partir del modelo de referencia inicial, y
- 50 - una segunda operación de optimización que permite buscar, comprobando una pluralidad de los indicados modelos de referencia a ensayar, correspondiendo el modelo de referencia al mejor en el posicionamiento de los dientes del paciente durante la adquisición de la imagen actualizada en la etapa b).

De preferencia, una primera operación de optimización se realiza para cada ensayo de un modelo de referencia a ensayar durante la segunda operación de optimización.

De preferencia, la primera operación de optimización y/o la segunda operación de optimización, de preferencia la primera operación de optimización y la segunda operación de optimización utilizan un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia un recocido simulado.

De preferencia, la etapa e) comprende las etapas siguientes:

- 5 e1) definición del modelo de referencia a ensayar como siendo el modelo de referencia inicial luego,
- e2) según las etapas siguientes, ensayo de condiciones de adquisición virtuales con el modelo de referencia a ensayar con el fin de aproximar con precisión las indicadas condiciones de adquisición reales;
- 10 e21) determinación de condiciones de adquisición virtuales a ensayar;
- e22) realización de una imagen de referencia bidimensional del modelo de referencia a ensayar en las indicadas condiciones de adquisición virtuales a ensayar;
- e23) tratamiento de la imagen de referencia para realizar al menos un mapa de referencia que representa la indicada información discriminante;
- 15 e24) comparación de los mapas actualizado y de referencia con el fin de determinar un valor para una primera función de evaluación, dependiendo el indicado valor para la primera función de evaluación de las diferencias entre los indicados mapas actualizado y de referencia y correspondiente a una decisión de continuar o de parar la búsqueda de condiciones de adquisición virtuales que aproximan las mencionadas condiciones de adquisición reales con más exactitud que las indicadas condiciones de adquisición virtuales a ensayar determinadas en el último caso de la etapa e21);
- 20 e25) si el indicado valor para la primera función de evaluación corresponde a una decisión de continuar con la indicada búsqueda, modificación de las condiciones de adquisición virtuales a ensayar, entonces volver a la etapa e22);
- e3) determinación de un valor para una segunda función de evaluación, dependiendo el indicado valor para la segunda función de evaluación de las diferencias entre los mapas actualizado y de referencia en las condiciones de adquisición virtuales que se aproximen mejor a las indicadas condiciones de adquisición reales y que resulten del último caso de la etapa e2), correspondiendo el indicado valor para la segunda función de evaluación a una decisión de continuar o de parar la búsqueda de un modelo de referencia que aproxime el posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada con más exactitud que el indicado modelo de referencia a ensayar utilizado en el último caso de la etapa e2), y si el indicado valor para la segunda función de evaluación corresponde a una decisión de continuar la indicada búsqueda, modificación del modelo de referencia a ensayar por desplazamiento de uno o varios modelos de dientes, entonces volver a la etapa e2).
- 25
- 30

Un procedimiento según la invención puede también comprender una o varias de las características opcionales siguientes:

- en la etapa a), se determina un plano de oclusión según las operaciones siguientes:

- 35 I. determinación de los puntos del modelo de referencia inicial que pertenecen a un arco y que se encuentran a una distancia del otro arco que es inferior a una distancia predeterminada, de preferencia a una distancia inferior a 3 mm del otro arco, llamados «puntos de contacto»;
- II. opcionalmente, filtrado de una parte de los puntos de contacto, de preferencia de forma que el número de puntos de contacto que pertenecen al arco superior sea idéntico al número de puntos de contacto que pertenecen al arco inferior, de preferencia eliminando los puntos de un arco los más alejados del otro arco;
- 40 III. regresión lineal, de preferencia por el método de los menos cuadrados, en el conjunto de los puntos de contacto que quedan con el fin de determinar el plano de oclusión;

- en la etapa a), se realizan las operaciones siguientes:

- 45 i. proyección, en un plano de oclusión, de los puntos de contacto entre los dientes de los arcos superior e inferior del paciente, determinándose los puntos de contacto y/o el plano de oclusión de preferencia, según las etapas I a III;
- ii. determinación del baricentro de las proyecciones de los indicados puntos de contacto y creación de un referencial, en el plano de oclusión, centrado sobre el indicado baricentro;
- iii. determinación, en el indicado referencial, de la función parabólica, presentando el mayor coeficiente de correlación con el conjunto de proyecciones de los puntos de contacto;

- iv. rotación del conjunto de proyecciones de los puntos de contacto alrededor del baricentro, y repetición de la operación precedente iii hasta que el conjunto de proyecciones de los puntos de contacto haya recorrido un sector determinado, de preferencia superior a 90°, superior a 180°, incluso de aproximadamente 360°;
- 5 v. identificación del coeficiente de correlación más elevado para el conjunto de posiciones angulares del conjunto de proyecciones de los puntos de contacto alrededor del baricentro, y del eje de la función parabólica correspondiente;
- vi. determinación de un plano longitudinal mediano del modelo de referencia inicial, pasando el indicado plano por el mencionado eje y siendo perpendicular al plano de oclusión;
- en la etapa a), se delimita al menos parcialmente un modelo de diente siguiendo las operaciones siguientes:
- 10 i'. determinación, al menos parcial, de los bordes gingivales interior y exterior del arco del diente en cuestión, de preferencia por análisis de las variaciones de la orientación superficial del modelo de referencia inicial;
- ii'. proyección, en el plano de oclusión, de los bordes gingivales interior y exterior;
- 15 iii'. identificación de las deformaciones de las proyecciones de los bordes gingivales interior y exterior que corresponden a las regiones interdentes, llamándose los picos de estas deformaciones «punto de aproximación» (en una región interdental, las dos proyecciones presentan cada una una punta, apuntando las dos puntas sustancialmente una hacia la otra, siendo el extremo de una punta un punto de aproximación);
- 20 iv'. determinación del camino más corto, en la superficie del modelo de referencia inicial, entre dos puntos de aproximación de bordes gingivales interior y exterior, respectivamente, de una región interdental, de preferencia por un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia por recocido simulado, delimitando el mencionado camino más corto al menos parcialmente un modelo de diente;
- una imagen actualizada es adquirida menos de 7 días después de la etapa a), luego las etapas c) a f) son puestas en práctica a partir de esta imagen actualizada;
- 25 - en la etapa b), se utiliza un aparato de adquisición manual (y en particular uno que no se fija, por ejemplo, por medio de un soporte que se apoya sobre el suelo) y/o la cabeza del paciente no se inmoviliza;
- en la etapa b), se utiliza un aparato individual seleccionado entre el grupo formado por un aparato fotográfico conectado, un reloj inteligente, una Tablet digital, un escáner 3D portátil y un ordenador acoplado con un sistema de adquisición de imágenes, tal como una webcam o un aparato fotográfico digital, para poner en práctica la etapa b) y,
- 30 de preferencia al menos una de las etapas, de preferencia todas las etapas c) a f);
- en la etapa b), se utiliza un aparato de adquisición de imágenes que proporciona una imagen actualizada infrarroja;
- en la etapa b) se utiliza un separador que comprende una, de preferencia más de dos marcas de señalizado, de preferencia no alineadas, y, de preferencia, se utiliza la representación de las marcas de señalizado en la imagen actualizada para
- 35 - en la etapa c), recortar la imagen y/o
- en la etapa d), evaluar en general las condiciones de adquisición reales;
- en la etapa c), la información discriminante es seleccionada entre el 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;
- 40 - en la etapa d), se utilizan los datos proporcionados por el aparato de adquisición y, de preferencia, respecto a su orientación;
- en la etapa e2), las condiciones de adquisición virtuales buscadas comprenden parámetros de calibración del aparato de adquisición utilizado en la etapa b);
- se utiliza una optimización mediante un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia por recocido simulado para:
- 45 - en la etapa a), determinar al menos parcialmente un borde gingival delimitando un modelo de diente y/o,
- en la etapa e2), buscar las condiciones de adquisición virtuales que corresponden a las condiciones de adquisición reales y/o,
- en la etapa e), buscar un modelo de referencia que corresponda a la imagen actualizada;

- el mencionado método metaheurístico es seleccionado entre el grupo formado por:

- los algoritmos evolucionistas, de preferencia elegidos entre: las estrategias de evolución, los algoritmos genéticos, los algoritmos de evolución diferencial, los algoritmos de estimación de distribución, los sistemas inmunitarios artificiales, la recomposición del camino Shuffled Complex Evolution, el recocido simulado, los algoritmos de colonias de hormigas, los algoritmos de optimización por enjambres particulares, la investigación con tabúes, y el método GRASP;
- el algoritmo del canguro.
- el método de Fletcher y Powell,
- el método de efecto sonoro,
- 10 - la tunelización estocástica.
- la escalada de colinas con nuevos comienzos aleatorios,
- el método de entropía cruzada, y
- los métodos híbridos entre los métodos metaheurísticos citados anteriormente.

De preferencia, la etapa b) es ejecutada por una persona sin formación universitaria en la ortodoncia y/o fuera de cualquier clínica médica, de dentista o de ortodoncia, y/o sin recurrir a un dispositivo de estabilización mecánica del aparato de adquisición y/o sin recurrir a otros aparatos como un teléfono móvil y/o sin recurrir a un medidor convencional de calibración.

La invención se refiere también a la utilización de un procedimiento según la invención para

- detectar una recaída, y/o
- 20 - determinar una velocidad de evolución de un cambio de posicionamiento de los dientes, y/o
- optimizar la fecha en que se realiza una cita con un ortodontista o un dentista, y/o
- evaluar la eficacia de un tratamiento ortodóntico, y/o
- evaluar la evolución del posicionamiento de dientes hacia un modelo teórico correspondiente a un posicionamiento determinado de los dientes, en particular un posicionamiento mejorado de los dientes, y/o
- 25 - en odontología.

Según la invención el procedimiento es puesto en práctica durante un tratamiento ortodóntico, particularmente para controlar el desarrollo, realizándose la etapa a) menos de 3 meses, menos de 2 meses, menos de 1 mes, menos de una semana, menos de 2 días después del comienzo del tratamiento, es decir, después de la colocación de un aparato destinado para corregir el posicionamiento de los dientes del paciente, llamado «aparato de contención activo».

Según un ejemplo no reivindicado el procedimiento puede ser igualmente puesto en práctica después de un tratamiento ortodóntico, para comprobar que el posicionamiento de los dientes no evoluciona de forma desfavorable («recaída»). La etapa a) es entonces de preferencia realizada menos de 3 meses, menos de 2 meses, menos de 1 mes, menos de una semana, menos de 2 días después del final del tratamiento, es decir, después de la colocación de un aparato destinado para mantener los dientes en posición, llamado «aparato de contención pasivo».

La invención se refiere igualmente:

- a un programa de ordenador, y en particular a una aplicación especializada para teléfono móvil, que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución de una o varias, de preferencia todas las etapas b) a f), cuando el mencionado programa es ejecutado por un ordenador,
- 40 - un soporte informático en el cual está registrado dicho programa, por ejemplo, una memoria o un CD-ROM, y
- un aparato personal, en particular un teléfono móvil o una Tablet, en el cual se carga dicho programa.

La invención se refiere por último a un sistema que comprende:

- un escáner tridimensional apto para realizar la etapa a) de un procedimiento según la invención,
- 45 - un aparato personal, de preferencia un teléfono móvil, cargado con un programa según la invención.

Definiciones

Por «paciente», se entiende cualquier persona con la cual se lleve a cabo un procedimiento con el fin de controlar los dientes, esté o no esta persona enferma.

Por «profesional de los cuidados dentales», se entiende un dentista, un ortodontista o un laboratorio de ortodoncia.

50 Por «dentista», se entiende un dentista o un asistente de dentista que trabaja bajo la responsabilidad de un dentista.

Por «dentición», se entienden los dos arcos dentales del paciente.

Se llama “teléfono móvil” a un aparato de menos de 500 g, dotado de un captador que le permite capturar imágenes, capaz de intercambiar datos con otro aparato distanciado en más de 500 km del teléfono móvil, y capaz de visualizar los indicados datos, y particularmente las indicadas imágenes.

- 5 Las «condiciones de adquisición» precisan la posición y la orientación en el espacio de un aparato de adquisición de imágenes con relación a los dientes del paciente o a un modelo de dientes del paciente, y de preferencia la calibración de este aparato de adquisición de imágenes.

10 La «calibración» de un aparato de adquisición está constituida por el conjunto de valores de los parámetros de calibración. Un parámetro de calibración es un parámetro intrínseco al aparato de adquisición (con la diferencia de su posición y de su orientación) cuyo valor influencia la imagen adquirida. Por ejemplo, la apertura de diafragma es un parámetro de calibración que modifica la profundidad de campo. El tiempo de exposición es un parámetro de calibración que modifica la luminosidad (o «la exposición») de la imagen. La distancia focal es un parámetro de calibración que modifica el ángulo de vista, es decir el grado de «zoom». La «sensibilidad» es un parámetro de calibración que modifica la reacción del captador de un aparato de adquisición digital con la luz incidente.

- 15 De preferencia, los parámetros de calibración son seleccionados entre el grupo formado por la apertura de diafragma, el tiempo de exposición, la distancia focal y la sensibilidad.

El “plano de oclusión” es el plano que proporciona la mejor correlación lineal con el conjunto de los puntos de contacto entre los dientes del arco superior de una parte y los dientes del arco inferior por otra parte.

20 El “plano longitudinal mediano” es el plano sustancialmente vertical cuando el paciente mantiene la cabeza recta, que separa de forma sustancialmente simétrica de las partes derecha e izquierda de cada arco.

Una «Tablet» es un ordenador portátil de pantalla táctil.

Un escáner 3D es un aparato que permite obtener una representación en tres dimensiones de un objeto.

Por “imagen”, se entiende una imagen en dos dimensiones, como una fotografía. Una imagen está formada por píxeles.

- 25 Una “información discriminante” es una información característica que puede ser extraída de una imagen (“*image feature*”), clásicamente por un tratamiento informático de esta imagen.

30 Una información discriminante puede presentar un número variable de valores. Por ejemplo, una información de contorno puede ser igual a 1 o 0 según pertenezca un pixel o no a un contorno. Una información de brillo puede tomar un gran número de valores. El tratamiento de la imagen permite extraer y cuantificar la información discriminante.

Se dice condiciones de adquisición “virtuales” cuando corresponden a una simulación en la cual el aparato de adquisición estaría en las mencionadas condiciones de adquisición (posicionamiento y de preferencia calibración teóricas del aparato de adquisición).

- 35 Por “que comprende uno” o “comprendiendo uno” o “que presenta uno”, se entiende “que comprende al menos uno”, salvo indicación contraria.

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 cual:

- 40 - la figura 1 representa un diagrama que ilustra la puesta en práctica de un procedimiento según la invención,
 - la figura 2 representa un ejemplo de modelo de referencia inicial,
 - la figura 3 ilustra el tratamiento realizado para determinar el plano de oclusión,
 - la figura 4 (4a-4d) ilustra la etapa necesaria para determinar los modelos de diente en un modelo de referencia,
 45 - la figura 5 (5a-5d) ilustra la adquisición de imágenes actualizadas, así como la operación de corte,
 - la figura 6 (6a-6b) ilustra el tratamiento de una imagen actualizada que permite determinar el contorno de los dientes,
 - la figura 7 ilustra esquemáticamente la posición relativa de marcas de señalizado 12 en imágenes actualizadas 14₁ y 14₂ de un separador 10, según la dirección de observación (trazo interrumpido), y
 - las figuras 8a y 8b ilustran dos vistas de un modelo tridimensional con dos distancias focales diferentes.

50 Descripción detallada

Un procedimiento según la invención comprende las etapas mencionadas anteriormente.

En la etapa a), se crea un modelo de referencia inicial de los arcos, o de una parte de los arcos del paciente (ver figura 2).

5 El modelo de referencia inicial es un modelo digital en tres dimensiones de los arcos del paciente, por ejemplo, del tipo .stl o .Obj, .DXF 3D, IGES, STEP, VDA o Nubes de puntos. Ventajosamente, dicho modelo, llamado «3D», puede ser observado según un ángulo cualquiera.

10 Para el seguimiento de un tratamiento ortodóntico, el modelo de referencia inicial es de preferencia preparado al comienzo del tratamiento. El modelo de referencia inicial puede corresponder a un posicionamiento de los dientes del paciente antes del tratamiento o a un posicionamiento de los dientes del paciente que el tratamiento se propone alcanzar. En este caso, el modelo de referencia inicial se calcula clásicamente a partir de un primer modelo tridimensional correspondiente al posicionamiento de los dientes del paciente antes del tratamiento.

15 Según un ejemplo no reivindicado, para el control de la recaída, el modelo de referencia inicial es de preferencia preparado menos de seis meses, de preferencia menos de tres meses, de preferencia todavía menos de un mes después del final del tratamiento ortodóntico, generalmente inmediatamente después del final del tratamiento. Corresponde así a un posicionamiento sustancialmente óptimo de los dientes.

Según un ejemplo no reivindicado, el modelo de referencia inicial puede ser igualmente preparado independientemente de cualquier tratamiento, por ejemplo, por que el paciente desee vigilar los movimientos de sus dientes.

20 El modelo de referencia inicial puede ser preparado a partir de mediciones realizadas en los dientes del paciente o en un modelo físico de sus dientes, por ejemplo, un modelo de yeso. El modelo de referencia inicial es de preferencia creado por medio de un aparato profesional, por ejemplo, por medio de un escáner 3D, de preferencia utilizado por un profesional de la salud, por ejemplo, por un ortodoncista o un laboratorio de ortodoncia. En una clínica de ortodoncia, el paciente o el modelo físico de sus dientes pueden ser ventajosamente colocados en una posición precisa y el aparato profesional puede ser perfeccionado. Se produce como resultado un modelo de referencia inicial muy preciso. El modelo de referencia inicial proporciona de preferencia una información sobre el
25 posicionamiento de los dientes con un error inferior a 5/10 mm, de preferencia inferior a 3/10 mm, de preferencia inferior a 1/10 mm.

Orientación del modelo de referencia inicial:

De preferencia, se determina la orientación del modelo de referencia inicial en el espacio, y particularmente, de preferencia, el plano de oclusión y el plano longitudinal medio.

30 El plano de oclusión y el plano longitudinal medio pueden ser determinados manualmente, de forma aproximativa. Los inventores han descubierto, sin embargo, procedimientos que permiten determinar estos planos mediante tratamiento informático.

De preferencia, el modelo de referencia es un modelo de los arcos con la boca cerrada, es decir en una posición en la cual los dientes del arco superior están en contacto con los dientes del arco inferior.

35 Clásicamente, el modelo de referencia inicial proporcionado por un escáner tridimensional permite distinguir el arco superior del arco inferior. Generalmente, el modelo es proporcionado en forma de dos archivos que corresponden respectivamente a estos arcos, y que comprenden datos que permiten posicionar los modelos de estos arcos uno con relación al otro en la posición de oclusión.

40 De preferencia, para estimar los puntos de contacto entre los dientes de los arcos superior e inferior, se determina el conjunto de puntos del modelo del arco superior y del arco inferior que se encuentran a una distancia inferior a un límite predeterminado, siendo este límite de preferencia inferior a 3 mm, de preferencia de aproximadamente 2 mm. Todos los otros puntos de estos modelos son seguidamente ignorados, lo cual conduce a la representación de la figura 3b. Una regresión lineal permite entonces determinar el plano de oclusión («plano 1» en la figura 3c).

El modelo de referencia inicial puede así ser orientado según el plano de oclusión (Fig. 3d).

45 Si el modelo de referencia inicial no comprende datos que permitan posicionar los arcos superior e inferior uno con relación al otro, se utiliza de preferencia un mordido de oclusión que hace aparecer los puntos de contacto entre los dientes superiores y los dientes inferiores, luego se reposicionan los modelos de los arcos superior e inferior con relación a este mordido de oclusión.

El plano longitudinal medio es perpendicular al plano de oclusión, pero su orientación no se conoce.

50 De preferencia, se procede de la forma siguiente para determinar la orientación del plano longitudinal medio:

Se consideran ejes [Ox) y [Oy) en el plano de oclusión, siendo el punto O el baricentro de las proyecciones normales de los puntos de contacto en el plano de oclusión.

- En este referencial (xOy), se busca la curva, de preferencia parabólica, que presenta el mayor coeficiente de correlación con el conjunto de las indicadas proyecciones.
- El conjunto de las proyecciones de los puntos de contacto es seguidamente desplazado en el plano de oclusión, por rotación alrededor del punto O, y se comienza de nuevo la etapa precedente a partir de esta nueva posición angular de las proyecciones de los puntos de contacto.

El ciclo de las operaciones precedentes es continuado, de preferencia hasta haber hecho girar el conjunto de los puntos de contacto 360° alrededor del baricentro O. Se comparan seguidamente los coeficientes de correlación correspondientes a las diferentes orientaciones del conjunto de puntos de contacto. El eje de la curva que conduce al coeficiente de correlación más elevado es entonces considerado como incluido en el plano longitudinal medio, lo cual permite definir exactamente la orientación de este último.

La orientación en el espacio del modelo de referencia inicial es así perfectamente determinada, de forma rápida.

Creación de los modelos de diente

En el modelo de referencia inicial, una parte que corresponde a un diente, o «modelo de diente», está delimitada por un borde gingival que puede dividirse en un borde gingival interior (por el lado del interior de la boca con relación al diente), un borde gingival exterior (orientado hacia el exterior de la boca con relación al diente) y dos bordes gingivales laterales. Los bordes gingivales corresponden a regiones en las cuales la orientación de la superficie definida por el modelo de referencia inicial experimenta modificaciones de fuertes amplitudes. Estas variaciones de orientación pueden identificarse según técnicas conocidas, por ejemplo, identificando los cambios de dirección de la normal a la superficie modelizada. La figura 4a representa una vista del modelo de referencia inicial tratada para hacer que aparezcan estos cambios de dirección. La figura 4b muestra el borde gingival interior que puede ser extraído por el análisis de la imagen de la figura 4a.

Varias vistas del modelo de referencia inicial son así analizadas, lo cual permite determinar los bordes gingivales inferior y exterior en tres dimensiones, como se ha representado en la figura 4c.

Por otro lado, en proyección en el plano de oclusión, los contornos gingivales interior y exterior de un arco se aproximan a un lado y otro de un diente. Para determinar un borde gingival lateral de un diente, se busca el camino más corto, en la superficie del modelo de referencia inicial, entre los dos puntos de los bordes gingivales interior y exterior así aproximados que están sustancialmente enfrentados. La búsqueda del camino más corto entre dos puntos en un modelo tridimensional recurre a técnicas de optimización bien conocidas. De preferencia, esta búsqueda resulta de un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia a partir de un recorrido simulado.

Dos bordes gingivales laterales adyacentes y las partes de los bordes gingivales interior y exterior que conectan estos bordes gingivales laterales permiten así delimitar un diente a nivel de la encía. Teniendo en cuenta el hecho de que un diente se extiende desde el contorno gingival hacia el plano de oclusión, resulta así posible determinar las partes del modelo de referencia inicial que corresponden a los diferentes dientes («modelos de diente»). La figura 4d representa el conjunto de modelos de diente de un arco.

El modelo de referencia inicial puede ser almacenado en una base de datos centralizada que reagrupa los modelos de referencia iniciales de una pluralidad de pacientes. Esta base de datos puede ser físicamente instalada en un establecimiento especializado. La misma puede ser igualmente instalada en un laboratorio o una clínica de ortodoncia, lo cual limita las transferencias de informaciones confidenciales.

En un modo de realización, el modelo de referencia inicial se remite al paciente. De preferencia, un archivo informático correspondiente al modelo de referencia inicial es registrado en un soporte amovible, por ejemplo, en una memoria USB o en una tarjeta electrónica, de preferencia en un teléfono móvil, una Tablet o un ordenador portátil del paciente, y en particular en el aparato personal que será de preferencia utilizado en las etapas b) y siguientes. De preferencia, el paciente o un profesional de los cuidados dentales carga el modelo de referencia inicial en el indicado aparato individual o lo pone a disposición para carga en el indicado aparato individual. El paciente carga de preferencia el modelo de referencia inicial a partir de internet.

En un modo de realización preferido, el modelo de referencia no se remite al paciente. De preferencia, el modelo de referencia se encuentra solamente disponible en un establecimiento especializado para poner en práctica las etapas c) a f). Puede permanecer almacenado en el establecimiento en el cual ha sido realizado en la etapa a) y donde, de preferencia, las etapas c) a f) son puestas en práctica.

En la etapa b), se toma una imagen actualizada de los arcos por medio de un aparato de adquisición de imágenes. La etapa b) se realiza de preferencia por el paciente o una persona cercana al paciente, pero puede ser realizada por un dentista.

Momento de la adquisición

De preferencia, la imagen actualizada es tomada después de un intervalo de tiempo Δt después de la etapa a). El intervalo de tiempo Δt puede ser predeterminado. Puede ser constante, sea cual fuere la circunstancia del

procedimiento, es decir que este intervalo se refiera a la primera ejecución del procedimiento o a una ejecución ulterior. Puede ser variable, y depender por ejemplo de los resultados obtenidos como consecuencia de una ejecución anterior del procedimiento. En particular, para el control de la recaída, el intervalo de tiempo Δt puede ser incluso más corto cuando esta ejecución ha permitido detectar una deriva importante.

5 En un modo de realización preferido, el intervalo de tiempo Δt es determinado por el ortodoncista, en función de una planificación de los controles. En función de la evolución de la posición de los dientes, el ortodoncista puede modificar esta planificación y modificar consecuentemente el intervalo de tiempo Δt . En un modo de realización, el procedimiento según la invención es ejecutado varias veces, pudiendo los intervalos de tiempo entre cada ejecución ser idénticos o diferentes. Los intervalos de los tiempos entre dos ejecuciones sucesivas pueden ser todos
10 determinados antes de la primera ejecución para corresponder a una planificación de controles elaborada por el ortodoncista.

El intervalo de tiempo Δt puede ser igualmente indeterminado y depender por ejemplo de decisiones del paciente. Por ejemplo, la creación de una imagen actualizada puede ser realizada con ocasión de una visita con el dentista o en cualquier momento cuando el paciente lo desee, incluso independientemente de cualquier tratamiento
15 ortodóntico.

El intervalo de tiempo Δt está de preferencia determinado para corresponder a una evolución potencialmente significativa del posicionamiento de los dientes.

Por ejemplo, para el control de la recaída, el intervalo de tiempo Δt es de preferencia inferior a tres meses durante el primer año después del tratamiento. Después de este primer año, el intervalo de tiempo Δt es de preferencia superior a un mes, incluso superior a seis meses o superior a doce meses. En particular, para la detección de una deriva de los dientes, un intervalo de tiempo comprendido entre seis meses y dieciocho meses es adecuado.
20

De preferencia, al menos un recordatorio informando al paciente de la necesidad de crear una imagen actualizada es dirigido al paciente. Este recordatorio puede ser en forma de papel o, de preferencia, en forma electrónica, por ejemplo, en forma de un correo, de una alerta automática de la aplicación especializada móvil o de un SMS. Un recordatorio de este tipo puede ser enviado por la clínica o el laboratorio de ortodoncia o por el dentista o por la aplicación especializada móvil del paciente, por ejemplo.
25

En un modo de realización preferido, una imagen actualizada es adquirida antes de que los dientes se hayan podido desplazar significativamente, sustancialmente en el mismo momento que la creación del modelo de referencia inicial, de preferencia menos de 7 días, menos de 3 días, menos de 1 día después de la etapa a), es decir, antes de que los dientes hayan podido desplazarse significativamente. La realización del procedimiento con esta imagen actualizada permite ventajosamente comprobar que el procedimiento no conduce a la detección de ninguna diferencia entre los modelos de referencia inicial y final, y por consiguiente funciona correctamente.
30

En un modo de realización, la imagen actualizada puede ser adquirida antes de la creación del modelo de referencia inicial. Por ejemplo, las etapas a) y b) pueden ser realizadas al final y al comienzo de un tratamiento ortodóntico, respectivamente. De este modo resulta particularmente posible evaluar la eficacia del tratamiento en ausencia de modelo 3D al comienzo del tratamiento. El intervalo de tiempo $\Delta t'$ que separa las etapas a) y b) en este modo de realización puede particularmente tomar los valores descritos más arriba para Δt .
35

Aparato de adquisición de imágenes

De preferencia, el aparato de adquisición de imágenes es un aparato personal corrientemente disponible en el comercio, por ejemplo, un teléfono móvil, un aparato fotográfico llamado «conectado», un reloj llamado «inteligente», o «smartwatch», o una Tablet o un ordenador personal, fijo o portátil, que comprenda un sistema de adquisición de imágenes, como una webcam o un aparato fotográfico, de preferencia un aparato fotográfico digital. Incluso si la imagen actualizada puede en particular ser creada por un dentista, la misma lo es de preferencia por el paciente mismo o por uno de sus allegados.
40

En particular, la imagen actualizada puede ser creada por una persona que no tenga conocimientos particulares en ortodoncia, y en particular que no tenga ningún diploma de ortodoncia o de dentista.
45

De preferencia, el mismo aparato de adquisición se utiliza para tomar todas las imágenes actualizadas.

El aparato de adquisición de imágenes pesa de preferencia menos de 3 kg, menos de 2 kg, menos de 1 kg, menos de 500 g, de preferencia menos de 300 g.

50 La etapa b) puede por consiguiente ventajosamente ser realizada a distancia de la etapa a), es decir en un lugar diferente de aquel en el cual se realiza la etapa a), en particular a más de 50 m, más de 100 m, más de 1 km del lugar donde se realiza la etapa a), en particular fuera de la clínica ortodóntica. En un modo de realización, la etapa b) no se realiza en una clínica dental, una clínica de ortodoncia o un laboratorio de ortodoncia, salvo, eventualmente, durante una sesión destinada para formar al paciente.

De preferencia, la imagen actualizada es una fotografía, en particular una fotografía panorámica. En un modo de realización, la imagen actualizada es sacada de una película.

5 En un modo de realización preferido, el procedimiento utiliza varias imágenes actualizadas para disponer de al menos una representación de cada diente, de preferencia al menos tres imágenes actualizadas que corresponden a una vista de frente, una vista del lado derecho y una vista del lado izquierdo de los dientes del paciente.

10 De preferencia, en la etapa b), se toma al menos una imagen actualizada en posición con la boca cerrada y al menos una imagen actualizada en posición con la boca abierta. La imagen con la boca cerrada permite ventajosamente identificar los desplazamientos relacionados entre los dos arcos. La imagen actualizada con la boca abierta permite ventajosamente identificar los contornos de los dientes, sin que los dientes del arco superior oculten los dientes del arco inferior o a la inversa.

Imágenes actualizadas pueden ser tomadas bien sea para el arco superior, o para el arco inferior, o, de preferencia, para los dos arcos.

15 Varias imágenes similares (que representan sustancialmente los mismos dientes) pueden ser igualmente útiles con el fin de buscar el mejor resultado. En función de las condiciones de adquisición, una información discriminativa podrá en particular conducir a resultados diferentes según la imagen actualizada utilizada.

De preferencia, se utiliza un separador durante la etapa b) como se ha representado en las figuras 5a y 5c. La primera función del separador es separar los labios con el fin de mejorar la visibilidad de los dientes. De preferencia, un separador es remitido al paciente, por ejemplo, durante una visita con su ortodoncista o su dentista.

20 El aparato de adquisición de imágenes proporciona de preferencia imágenes en colores, y/o imágenes infrarrojas de la boca del paciente, incluso de la cara del paciente. Las imágenes en colores representan de preferencia la boca del paciente con los colores reales de esta boca. Las imágenes infrarrojas permiten ventajosamente reflejar los dientes con un excelente contraste.

25 De preferencia, el aparato de adquisición de imágenes comprende una aplicación especializada que permite poner en práctica la etapa b), pero también, de preferencia, las etapas siguientes, de preferencia el conjunto de las etapas siguientes. De preferencia todavía, esta aplicación gestiona recordatorios e informa al paciente de la necesidad de crear una imagen actualizada.

30 De preferencia, la aplicación especializada se carga en el aparato de adquisición de imágenes a partir de un soporte físico como una memoria USB o un CD-ROM, o se telecarga en internet o por vía hertziana. En un modo de realización, la aplicación especializada es proporcionada al paciente por la clínica y/o el laboratorio de ortodoncia. Puede en particular tomar la forma de una aplicación del tipo de las corrientemente telecargadas en los iPhones de la marca Apple® o los aparatos de todas las marcas que utilicen los sistemas de explotación Android® o cualquier otro sistema de explotación.

35 El aparato de adquisición de imágenes comprende de preferencia un aparato fotográfico o una cámara video o infrarroja, que el usuario, por ejemplo, el paciente o uno de sus allegados, posiciona por medio de un visor o de una pantalla, antes de accionarlo.

Medios eliminadores de error

Un procedimiento según la invención no requiere un posicionamiento preciso del aparato de adquisición de imágenes con relación a los dientes.

40 En un modo de realización, ninguna limitación de posicionamiento que permita asegurar una disposición del aparato de adquisición de imágenes a menos de 30 cm, menos de 20 cm, de 10 cm o menos de 5 cm de un emplazamiento determinado es impuesta.

De preferencia, el aparato de adquisición de imágenes comprende sin embargo medios eliminadores de error que facilitan su posicionamiento aproximativo con relación al paciente antes de la adquisición de la imagen actualizada.

45 El usuario puede ser guiado mediante mensajes escritos y/o de voz para la adquisición. Por ejemplo, el aparato personal puede anunciar «tome una foto de frente», emitir una señal para informar al usuario que la foto es aceptable o que, por el contrario, debe hacer una nueva, anunciar «tome una foto de la parte derecha», de preferencia visualizando una flecha para orientar al usuario, etc. El final del proceso de adquisición puede ser igualmente anunciado por el aparato. El aparato puede igualmente ayudar al posicionamiento, por ejemplo, mediante mensajes visuales (por ejemplo, por visualizado de flechas), y/o sonidos (como una sucesión de bips cuya frecuencia aumenta a medida que el posicionamiento del aparato se mejora), y/o mensajes escritos y/o de voz («más alto», «más bajo», etc.).

50 Los medios eliminadores de error pueden en particular comprender referencias que aparecen en el visor o la pantalla. Las referencias pueden por ejemplo comprender una línea destinada para ser alineada con la dirección general de la unión entre los dientes superiores y/o los dientes inferiores cuando los dientes son cerrados por el

paciente, o una línea vertical destinada para ser alineada con la unión entre los dos incisivos superiores. Las referencias pueden igualmente hacer referencia a otras partes del paciente. Por ejemplo, pueden estar constituidas por marcas que corresponden a la posición de los ojos o tomar la forma de un contorno en el cual debe posicionarse la boca o la cara del paciente.

- 5 La o las referencias son de preferencia “inmóviles” en la pantalla, es decir que no se desplazan en la pantalla cuando el aparato de adquisición se encuentra en movimiento.

En un modo de realización preferido, la o las referencias corresponden cada una a una marca de señalización llevada por un referencial adicionado al paciente, es decir que el paciente no presentaba antes de la realización del procedimiento, de preferencia llevada por un separador dental. Un referencial puede ser igualmente una pieza mordida por el paciente.

10 La marca de señalizado puede presentar una superficie superior a 0,5 mm², de preferencia superior a 1 mm², de preferencia superior a 2 mm², de preferencia superior a 5 mm², de preferencia superior a 10 mm², incluso superior a 20 mm², incluso superior a 30 mm² y/o inferior a 50 mm².

15 Grandes dimensiones conferidas a una marca de señalizado o una multiplicación de las marcas de señalizado permiten ventajosamente mejorar la precisión del posicionamiento del aparato de adquisición.

Las marcas de señalizado pueden ser idénticas o diferentes.

Las marcas de señalizado pueden ser particularmente diferentes según su posición, por ejemplo, según se encuentren en la parte superior o en la parte inferior del referencial, y en particular del separador, o a la derecha o a la izquierda del referencial, y en particular del separador.

20 La marca de señalizado puede ser idéntica o diferente de la referencia correspondiente. La misma es de preferencia de forma geométrica, por ejemplo, un punto, uno o varios trazos, por ejemplo, paralelos, una estrella, un círculo, un óvalo, un polígono regular, particularmente un cuadrado, un rectángulo o un rombo.

La marca de señalizado puede ser igualmente una imagen, una letra, una cifra o una secuencia de letras y/o de cifras.

25 La marca de señalizado es de preferencia de un color diferente de la superficie del separador que la circunda, de preferencia con el fin de ofrecer un contraste elevado.

Una marca de señalizado puede ser visible o invisible a simple vista, con la condición de que aparezca en la pantalla del aparato de adquisición.

30 Para mejorar la precisión, las marcas de señalizado están de preferencia separadas las unas de las otras de forma que, cuando correspondan a sus referencias respectivas en la pantalla, al menos las primera y segunda marcas de señalizado se encuentren a menos de 3 cm, de preferencia menos de 2 cm, de preferencia menos de 1 cm, de preferencia menos de 0,5 cm, del primer y segundo bordes, respectivamente, de la pantalla. Los primero y segundo bordes son de preferencia bordes opuestos de la pantalla.

35 La marca de señalizado puede presentar una o varias dimensiones y/o una forma y/o un color idéntico(s) o diferente(s) del de la referencia correspondiente.

40 La «correspondencia» de una referencia y de una marca de señalizado es una disposición predefinida de una con relación a la otra. La misma indica un posicionamiento particular del aparato de adquisición con relación a la marca de señalizado. La correspondencia depende de la naturaleza de la referencia y de la marca de señalizado. La situación predefinida, que corresponde a condiciones de adquisición blancos, puede particularmente ser una superposición, total o parcial, una yuxtaposición, o un alineamiento de la referencia y de la marca de señalizado.

La superposición exacta de la referencia y de la marca de señalizado permite no solamente determinar la dirección hacia la cual el objetivo del aparato de adquisición debe apuntar y/o la distancia entre el aparato de adquisición y el separador, sino también, si la referencia y/o la marca de señalizado son asimétricas, la orientación del aparato de adquisición alrededor de esta dirección.

45 Las dimensiones y/o las superficies de una marca de señalizado y de la referencia correspondiente y/o la distancia entre varias marcas de señalizado y entre las referencias correspondientes pueden ser utilizadas para ajustar la distancia entre el aparato de adquisición y los arcos.

La referencia puede ser, por ejemplo:

- 50
- una línea fija, sobre la cual el usuario debe por ejemplo alinear las marcas de señalizado,
 - una forma, de preferencia asimétrica, correspondiente a la forma de una marca de señalizado a superponer, por ejemplo, un punto que el usuario debe por ejemplo superponer a la marca de señalizado, o un círculo en el cual el usuario debe por ejemplo situar la marca de señalizado,
 - una forma coloreada correspondiente al color de una marca de señalizado a superponer,

- una forma complementaria a la forma de una marca de señalizado, de preferencia de forma que la puesta en correspondencia de la marca de señalizado y de la referencia conduzca a una forma que tenga un sentido, como una forma geométrica, una letra o un texto, un dibujo, o un diseño, por ejemplo.

5 En un modo de realización preferido, las referencias se definen, al menos parcialmente, a partir de informaciones proporcionadas por el modelo de referencia inicial. Por ejemplo, de acuerdo con los principios de la «realidad aumentada», la referencia puede ser una vista del modelo de referencia inicial, por ejemplo, una vista de frente o una vista del lado derecho o una vista del lado izquierdo del modelo de referencia inicial, hecha visible, en transparencia, en la pantalla del aparato de adquisición de imágenes durante la adquisición. Resulta así muy fácil para el paciente superponer aproximadamente dicha vista con los dientes que debe fotografiar.

10 En un modo de realización, el posicionamiento del aparato de adquisición de imágenes resulta de la única puesta en concordancia de referencias que aparecen en la pantalla de dicho aparato de adquisición con las marcas de señalizado correspondientes, de preferencia con marcas de señalizado de un separador dental.

15 En un modo de realización, la o las referencias que aparecen en la pantalla se determinan en función del paciente y/o del tratamiento terapéutico. Dicho de otro modo, el programa de ordenador es parametrado en función del paciente con el fin de que las imágenes adquiridas correspondan específicamente a las necesidades del paciente. Ventajosamente, en el momento de la adquisición de las imágenes, el aparato de adquisición está por consiguiente posicionado en una posición sustancialmente óptima respecto a las particularidades del paciente y/o del tratamiento terapéutico aplicado.

20 Como se verá más en detalle en lo que sigue de la descripción, las marcas de señalizado del separador tienen de preferencia varias funciones. Las mismas permiten primero guiar el posicionamiento del aparato de adquisición de imágenes en el momento de la adquisición de las imágenes, por medio de referencias correspondientes que aparecen en la pantalla del aparato de adquisición. Las mismas permiten igualmente, en la etapa c), un recorte de las imágenes actualizadas. Por último, las marcas de señalizado, que aparecen en las imágenes, permiten, en la etapa d), determinar en general las condiciones de adquisición virtuales que aproximan las condiciones de adquisición reales, lo cual permite acelerar el tratamiento informático.

25 Las etapas c) y siguientes son de preferencia realizadas bien sea en un aparato personal del paciente, de preferencia con el aparato utilizado en la etapa b), o con una aplicación de un profesional de los cuidados dentales, o con un servidor tercero dedicado a ello.

30 **En la etapa c)**, cada imagen actualizada es analizada con el fin de realizar, para cada imagen actualizada, un mapa actualizado relacionado con al menos una información discriminante.

Recortado

35 El análisis de la imagen puede comprender un recorte de la imagen actualizada con el fin de aislar la parte pertinente, en particular para suprimir, al menos parcialmente, de la imagen actualizada los elementos que no han sido objeto del modelo de referencia inicial, como la nariz o los ojos del paciente o el separador. Este recorte, o «croppage», es facilitado por la representación de marcas de señalizado en la imagen actualizada.

En particular, de preferencia, como se ha representado en las figuras 5a y 5c, el separador 10 lleva al menos tres marcas de señalizado 12 no alineadas. Si el separador se encuentra en varias partes, por ejemplo, clásicamente en dos partes, cada parte lleva de preferencia al menos tres marcas de señalizado no alineadas.

40 La forma de una marca de señalizado, por ejemplo, una forma asimétrica, puede ser igualmente utilizada para señalar la posición del separador en la imagen actualizada.

De preferencia, las marcas de señalizado presentan formas y/o colores que facilitan su identificación en una imagen actualizada. Por ejemplo, las mismas pueden ser de color negro mientras que el resto del separador es de color blanco.

45 En un modo de realización, las marcas de señalizado presentan formas y/o colores que permiten identificarlas individualmente. Por ejemplo, pueden ser cada una de color diferente.

La identificación de las marcas de señalizado en la imagen actualizada permite identificar la zona de la imagen actualizada que contiene los elementos que han sido objeto del modelo de referencia inicial, es decir, los dientes y las encías. La imagen actualizada puede entonces ser recortada en consecuencia. La comparación de las figuras 5a y 5b, o 5c y 5d, ilustra el efecto del recorte en una imagen actualizada.

Mapa actualizado

50 Un mapa actualizado representa una información discriminante en el referencial de la imagen actualizada. Por ejemplo, la figura 6b es un mapa actualizado relacionado con el contorno de los dientes obtenido a partir de la imagen actualizada de la figura 6a.

La información discriminante es de preferencia seleccionada entre el 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.

5 El experto en la materia sabe cómo tratar una imagen actualizada para que aparezca la información discriminante. Este tratamiento comprende por ejemplo la aplicación de máscaras o de filtros bien conocidos, proporcionados con procesos de software de tratamiento de imágenes.

10 **En la etapa opcional d)**, se determinan, de forma general, las condiciones de adquisición reales durante la etapa b). Dicho de otro modo, se determina al menos la posición relativa del aparato 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 ensayos en condiciones de adquisición virtuales durante la etapa e), y permite por consiguiente acelerar considerablemente la etapa e).

15 Se utiliza de preferencia una o varias reglas heurísticas. Por ejemplo, de preferencia, se excluyen las condiciones de adquisición virtuales susceptibles de ser sometidas a ensayo 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.

En un modo de realización preferido, como se ha ilustrado en la figura 7, se utilizan marcas de señalizado representadas en la imagen actualizada, y en particular marcas de señalizado 12 del separador, para determinar una región del espacio sustancialmente cónica que delimita las condiciones de adquisición virtuales susceptibles de ser ensayadas en la etapa e), o "cono de ensayo".

20 Precisamente, se dispone de preferencia al menos tres marcas de señalizado 12 no alineadas en el separador 10, por ejemplo, y se miden con precisión sus posiciones relativas sobre el separador.

25 Las marcas de señalizado son seguidamente señaladas en la imagen actualizada, como se ha descrito anteriormente. Simples cálculos trigonométricos permiten determinar aproximadamente la dirección según la cual la imagen actualizada ha sido tomada. Un cono orientado según esta dirección, cuyo vértice se encuentra a nivel del separador y cuyo medio ángulo en el vértice es de preferencia inferior a 10°, de preferencia inferior a 5°, por ejemplo, de 3° puede entonces ser definido como "cono de ensayo". El medio ángulo en el vértice corresponde a un grado de inseguridad. Cuanto más pequeño es el medio ángulo en el vértice, mayor es la probabilidad que las condiciones de adquisición virtuales que corresponden a las condiciones de adquisición reales estén fuera del cono de ensayo.

30 Por ejemplo, cuando la imagen actualizada es tomada perpendicularmente al plano de las tres marcas de señalizado sobre el separador, se puede deducir de ello que el aparato de adquisición estaba sustancialmente en un cono de ensayo cuyo eje es sustancialmente perpendicular a este plano durante la toma de la imagen actualizada. Si las posiciones relativas de las tres marcas de señalizado sobre la imagen actualizada son diferentes de aquellas que las marcas de señalizado ocupan en el separador, el eje del cono de ensayo en el cual está limitada la búsqueda del posicionamiento del aparato de adquisición durante la adquisición de la imagen actualizada está inclinado con relación al plano de las marcas de señalizado, como se ha representado en la figura 7.

35 En un modo de realización particular, como se ha ilustrado en las figuras 5a y 5c, el separador comprende partes izquierda y derecha independientes, que comprenden cada una al menos tres marcas de señalizado, de preferencia al menos cuatro marcas de señalizado. Un cono de ensayo izquierdo puede así ser determinado por medio de las marcas de señalizado de la parte izquierda y un cono de ensayo derecho puede ser determinado por medio de las marcas de señalizado de la parte derecha del separador. Las condiciones de adquisición virtuales susceptibles de ser ensayadas pueden ser seguidamente limitadas a posiciones del aparato de adquisición en el espacio perteneciente a estos dos conos de ensayo. Se puede así considerar que la mejor evaluación de la posición del aparato de adquisición corresponde a la posición media entre la mejor posición en el cono de ensayo izquierdo y la mejor posición en el cono de búsqueda derecho.

40 La posición de las marcas de señalizado en la imagen actualizada permite igualmente evaluar la posición del aparato de adquisición durante la captura de la imagen actualizada. Por ejemplo, si se sabe que dos marcas de señalizado están sustancialmente alineadas según una dirección horizontal durante la adquisición de la imagen actualizada, la dirección de la derecha que contiene estos dos puntos en la imagen actualizada proporciona una indicación sobre la orientación del aparato de adquisición en las condiciones de adquisición reales.

45 Por último, el tamaño de las marcas de señalizado en la imagen actualizada o su separación pueden permitir evaluar la distancia entre el aparato de adquisición de imágenes y los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada, y por consiguiente reducir el cono de ensayo en un tronco de cono.

En la etapa opcional d), se pueden igualmente utilizar datos proporcionados por el aparato de adquisición y respecto a su orientación, por ejemplo, datos giroscópicos.

55 De preferencia, en la etapa d), se determina, de forma general, la calibración del aparato de adquisición real durante la etapa b).

5 El modo con el cual cada parámetro de calibración actúa sobre la imagen adquirida es bien conocido. En particular, el funcionamiento de un aparato de adquisición puede ser clásicamente modelizado con el fin de poder ensayar una calibración particular en la imagen adquirida. Los inventores han invertido dicho modelo, sin dificultad técnica particular, con el fin de que, mediante el análisis de la representación del separador, sea posible evaluar en general la calibración del aparato de adquisición durante la etapa b).

Por ejemplo, la relación entre la superficie de las marcas de señalizado en la imagen actualizada y la superficie de la imagen actualizada permite evaluar la distancia focal del aparato de adquisición durante la etapa b). La representación de una marca de señalizado de la cual se conocen las características ópticas permite evaluar el tiempo de exposición y la sensibilidad.

10 En un modo de realización preferido, una marca de señalizado es un relieve que no se extiende exclusivamente en el plano general del separador, correspondiente a un plano paralelo al frontal (o coronal). De preferencia, una marca de señalizado es un relieve que se extiende en un plano sustancialmente perpendicular al plano general del separador. El relieve puede en particular presentar la forma de una lengüeta que, cuando el separador se encuentra en su posición de servicio, se extiende hacia el fondo de la boca.

15 El análisis de la representación de este relieve permite ventajosamente evaluar la profundidad de campo. Alternativamente, dos marcas de señalizado que no se encuentran en un mismo plano frontal pueden ser utilizadas a este respecto.

20 La etapa d) solo permite una evaluación general de las condiciones de adquisición reales. 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 e1) descrita a continuación.

La etapa d) permite igualmente detectar imágenes actualizadas inadaptadas para la continuación del procedimiento, por ejemplo, una imagen actualizada que no reflejaría las marcas de señalizado. De preferencia, el procedimiento es entonces retomado en la etapa c) con una nueva imagen actualizada.

25 Bien entendido, los diferentes métodos que pueden ser realizados en la etapa d) pueden combinarse.

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

30 Se someten a ensayo por consiguiente una sucesión de modelos de referencia «a ensayar», siendo la elección de un modelo de referencia a ensayar de preferencia dependiente del nivel de correspondencia de los modelos de referencia «a ensayar» anteriormente sometidos a ensayo con la imagen actualizada. Esta elección es de preferencia realizada siguiendo un procedimiento de optimización conocido, en particular seleccionado entre los procedimientos de optimización metaheurísticos, de preferencia evolucionistas, en particular en los procedimientos de recocido simulado.

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).

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

45 Las primeras condiciones de adquisición virtuales a ensayar pueden ser aleatorias. De preferencia, son seleccionadas del conjunto limitado determinado en la etapa d), y de preferencia todavía, corresponden a condiciones de adquisición virtuales que corresponden, después de la etapa d), a las condiciones de adquisición virtuales las más prometedoras, es decir que constituyen el mejor trampolín para aproximar, lo más rápidamente posible, las condiciones de adquisición reales (etapa e21)).

50 Se configura seguidamente virtualmente el aparato de adquisición de imágenes en las condiciones de adquisición virtuales a ensayar con el fin de adquirir una imagen de referencia del modelo de referencia en estas condiciones de adquisición virtuales a ensayar. La imagen de referencia corresponde por consiguiente a la imagen que habría tomado el aparato de adquisición de imágenes si hubiera estado situado, con relación al modelo de referencia a ensayar, y opcionalmente calibrado en las condiciones de adquisición virtuales a ensayar (etapa e22)).

55 Si la imagen actualizada ha sido tomada en el mismo momento que el modelo de referencia ha sido realizado, y si las condiciones de adquisición virtuales son exactamente las condiciones de adquisición reales, la imagen de referencia es por consiguiente exactamente superponible 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 las mismas no corresponden exactamente a las condiciones de adquisición reales) y de desplazamientos de los dientes entre la etapa b) y el modelo de referencia a ensayar.

5 Para comparar las imágenes actualizadas y de referencia, se compara la información discriminante sobre estas dos imágenes. Más precisamente, se realiza, a partir de la imagen de referencia, un mapa de referencia que representa la información discriminante (etapa e23).

10 Los mapas actualizados y de referencia, llevando los dos la misma información discriminadora, son seguidamente comparados y se evalúa la diferencia entre estos dos mapas por medio de un marcador. Por ejemplo, si la información discriminadora 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 aparecen en la imagen actualizada, siendo el marcador tanto más elevado cuanto más pequeña es esta distancia.

El marcador puede ser por ejemplo un coeficiente de correlación.

15 De preferencia, las condiciones de adquisición virtuales comprenden los parámetros de calibración del aparato de adquisición. El marcador es tanto más elevado cuando los valores de los parámetros de calibración ensayados son próximos a 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 alejada de la del aparato de adquisición utilizado en la etapa b), la imagen de referencia presenta regiones borrosas y regiones claras que no corresponden a las regiones borrosas y a las regiones claras de la imagen actualizada. Si la información discriminante es el contorno de los dientes, los mapas actualizados y de referencia no representarán por consiguiente los mismos contornos y el marcador será bajo.

20 El marcador es seguidamente evaluado por medio de una primera función de evaluación. La primera función de evaluación permite decidir si el ciclo en la etapa e2) debe ser continuado o detenido. La primera función de evaluación puede por ejemplo ser igual a 0 si el ciclo debe ser detenido o ser igual a 1 si el ciclo debe continuar.

25 El valor de la primera función de evaluación puede depender del marcador alcanzado. Por ejemplo, puede decidirse continuar el ciclo en la etapa e2) si el marcador no sobrepasa un primer umbral. Por ejemplo, si una correspondencia exacta entre las imágenes actualizadas y de referencia conduce a un marcador del 100%, el primer umbral puede ser, por ejemplo, del 95%. Bien entendido, cuanto más elevado sea el primer umbral, mejor será la precisión de la evaluación de las condiciones de adquisición virtuales si el marcador llega a sobrepasar este primer umbral.

El valor de la primera función de evaluación puede igualmente depender de marcadores obtenidos con condiciones de adquisición virtuales ensayadas anteriormente.

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

35 En particular, es posible que, a pesar de la repetición de los ciclos, no se llegue a encontrar las condiciones de adquisición virtuales que sean lo suficientemente próximas a las condiciones de adquisición reales para que el marcador alcance el indicado primer umbral. La primera función de evaluación puede entonces conducir a la decisión de dejar el ciclo, aunque el mejor marcador obtenido no haya alcanzado el indicado primer umbral. Esta decisión puede resultar, por ejemplo, por un número de ciclos superior a un número máximo predeterminado.

Un parámetro aleatorio en la primera función de evaluación puede igualmente permitir la continuación de ensayos de nuevas condiciones de adquisición virtuales, aunque el marcador parezca satisfactorio.

40 Las funciones de evaluación clásicamente utilizadas en los procedimientos de optimización metaheurísticos, de preferencia evolucionistas, en particular en los procedimientos de recocido simulado, pueden ser utilizadas para la segunda función de evaluación.

45 Si el valor de la primera función de evaluación indica que se ha decidido continuar el ciclo en la etapa e2), se modifican las condiciones de adquisición virtuales ensayas (etapa e25)) y se comienza de nuevo un ciclo (etapa e2)) que consiste en realizar una imagen de referencia y un mapa de referencia, luego en comparar este mapa de referencia con el mapa actualizado para determinar un marcador.

50 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, de preferencia, a una modificación de la calibración del aparato de adquisición. Esta modificación puede ser aleatoria, con la condición sin embargo de que las nuevas condiciones de adquisición virtuales a ensayar pertenezcan siempre al conjunto determinado en la etapa d). La modificación es de preferencia guiada por las reglas heurísticas, por ejemplo, favoreciendo las modificaciones que, después de un análisis de los precedentes marcadores obtenidos, parezcan las más favorables para aumentar el marcador.

Las figuras 8a y 8b ilustran por ejemplo el efecto de una modificación de las condiciones de adquisición virtuales, en este caso de una modificación de la distancia focal, sobre la imagen de referencia.

El ciclo en e2) es continuado hasta que el valor de la primera función de evaluación indica que se ha decidido salir de este ciclo y continuar con la etapa e3), por ejemplo, si el marcador alcanza o sobrepasa el indicado primer umbral.

5 La optimización de las condiciones de adquisición virtuales en la etapa e2) es de preferencia realizada utilizando un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia un algoritmo de recocido simulado. Un algoritmo de este tipo es bien conocido para la optimización no lineal.

10 Si se dejó el ciclo en la etapa e2), sin que un marcador satisfactorio haya podido ser obtenido, por ejemplo, sin que el marcador haya podido alcanzar el indicado primer umbral, el procedimiento puede ser detenido (situación de fallo) o retomado en la etapa c) con una nueva información discriminante y/o con una nueva imagen actualizada. El procedimiento puede ser igualmente continuado con las condiciones de adquisición virtuales correspondientes al mejor marcador alcanzado. Un aviso puede ser emitido con el fin de informar al usuario del error sobre el resultado.

15 Si se ha dejado el ciclo en la etapa e2) cuando un marcador satisfactorio ha podido ser obtenido, por ejemplo, por que el marcador ha alcanzado, incluso sobrepasado el mencionado primer umbral, las condiciones de adquisición virtuales corresponden sustancialmente a las condiciones de adquisición reales. De preferencia, las condiciones de adquisición virtuales comprenden los parámetros de calibración del aparato de adquisición. El procedimiento realizado permite así evaluar los valores de estos parámetros sin que sea necesario conocer la naturaleza del aparato de adquisición o su ajuste. La etapa b) puede por consiguiente ser realizada sin precaución particular, por ejemplo, por el paciente mismo por medio de su teléfono móvil.

20 Además, la búsqueda de la calibración real se realiza comparando una imagen actualizada con vistas de un modelo de referencia inicial en condiciones de adquisición virtuales que se ensayan. Ventajosamente, no necesita que la imagen actualizada haga mostrar una medición convencional de calibración, es decir una medición de la cual se conocen precisamente las características que permiten determinar la calibración del aparato de adquisición.

25 El documento WO2006/065955, indicado para referencia, describe la utilización de imágenes para fabricar modelos tridimensionales en el ámbito de los tratamientos ortodónticos. Sin embargo, este documento no describe el procedimiento que permita utilizar simples fotografías, que presenten clásicamente imágenes parciales de los dientes, porciones de imagen borrosas y reflejos variables, tomados generalmente de forma no simultánea, sin tener necesidad de seleccionar puntos destacables en las imágenes, y con un aparato de adquisición cuya calibración no sea conocida.

30 En un procedimiento de control del posicionamiento de dientes según la invención, las imágenes actualizadas no sirven para crear un modelo tridimensional actualizado totalmente nuevo, sino solamente para modificar el modelo de referencia inicial, muy preciso. Un modelo tridimensional actualizado totalmente nuevo creado a partir de simples fotografías tomadas sin precauciones particulares 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.

35 Unas diferencias pueden subsistir entre las condiciones de adquisición virtuales determinadas y las condiciones de adquisición reales, en particular si los dientes se han desplazado entre las etapas a) y b). La correlación entre las imágenes actualizada y de referencia puede entonces ser aún mejorada retomando la etapa e2), siendo entonces el modelo de referencia a ensayar modificado por desplazamiento de uno o varios modelos de dientes (etapa e3)).

40 La búsqueda del modelo de referencia que mejor se aproxima al posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada puede ser efectuada como la búsqueda de las condiciones de adquisición virtuales que mejor se aproximan a las condiciones de adquisición reales (etapa e2)).

En particular, el marcador es evaluado por medio de una segunda función de evaluación. La segunda función de evaluación permite decidir si el ciclo en las etapas e2) y e3) debe ser continuado o parado. La segunda función de evaluación puede por ejemplo ser igual a 0 si el ciclo debe ser parado o ser igual a 1 si el ciclo debe ser continuado.

45 El valor de la segunda función de evaluación depende de preferencia del mejor marcador obtenido 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 se acercan mejor a las indicadas condiciones de adquisición reales.

El valor de la segunda función de evaluación puede igualmente depender del mejor marcador obtenido con uno o varios modelos de referencia ensayados anteriormente.

50 Por ejemplo, puede decidirse continuar el ciclo si el marcador no sobrepasa un segundo umbral mínimo. El valor de la segunda función de evaluación puede igualmente depender de parámetros aleatorios y/o del número de ciclos de las etapas e2) y e3) ya realizados.

55 Las funciones de evaluación clásicamente utilizadas en los procedimientos de optimización metaheurísticos, de preferencia evolucionistas, en particular en los procedimientos de recocido simulado, pueden ser utilizadas para la segunda función de evaluación.

Si el valor de la segunda función de evaluación indica que se ha decidido continuar el ciclo en las etapas e2) y e3), se modifica el modelo de referencia a ensayar y se comienza de nuevo un ciclo (etapas e2) y e3)) con el nuevo modelo de referencia a ensayar.

5 La modificación del modelo de referencia a ensayar corresponde a un desplazamiento de uno o varios modelos de dientes. Esta modificación puede ser aleatoria. La modificación es de preferencia guiada por reglas heurísticas, por ejemplo, favoreciendo las modificaciones que, después de un análisis de los precedentes marcadores obtenidos, parezcan los más favorables para aumentar el marcador.

10 De preferencia, se busca el desplazamiento de un modelo de diente que tenga el impacto más fuerte sobre el marcador, se modifica el modelo de referencia a ensayar desplazando este modelo de diente, luego se continua el ciclo en las etapas e2) y e3) con el fin de optimizar el marcador. Se puede seguidamente buscar, entre los otros modelos de diente, el que tenga el impacto más fuerte sobre la mejora del marcador, y de nuevo buscar el desplazamiento óptimo de este otro modelo de diente sobre el marcador. Se puede continuar así con cada modelo de diente.

15 A continuación, es posible retomar un ciclo sobre el conjunto de los modelos de diente y continuar así hasta la obtención de un marcador superior al segundo umbral. Bien entendido, otras estrategias pueden ser utilizadas para desplazar uno o varios modelos de diente en el modelo de referencia a ensayar y buscar el marcador máximo.

El ciclo en las etapas e2) y e3) es continuado hasta que el valor de la segunda función de evaluación indica que se ha decidido salir de este ciclo y continuar con la etapa f), por ejemplo, si el marcador alcanza o sobrepasa el indicado segundo umbral.

20 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 el marcador es de preferencia realizada utilizando un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia un algoritmo de recocido simulado. Un algoritmo de este tipo es bien conocido para la optimización no lineal.

25 Si se ha dejado el ciclo en las etapas e2) y e3) sin que un marcador satisfactorio haya podido ser obtenido, por ejemplo, sin que el marcador haya podido alcanzar el indicado segundo umbral, el procedimiento puede ser detenido (situación de fallo) o retomado en la etapa c) con una nueva información discriminante y/o con una nueva imagen actualizada.

30 Si se ha decidido relanzar el procedimiento en la etapa c) a partir de otra información discriminante y/o de otra imagen actualizada por que el primer umbral o el segundo umbral no ha sido alcanzado, la elección de la nueva información discriminante y/o de la nueva imagen actualizada puede depender de los marcadores obtenidos anteriormente, con el fin de favorecer la información discriminante y/o la imagen actualizada que, con relación a estos marcadores, parecen las más prometedoras.

35 Una nueva información discriminante, obtenida por ejemplo por combinación de otras informaciones discriminantes ya ensayadas, puede ser utilizada, Llegado el caso, puede ser igualmente solicitado adquirir una o varias nuevas imágenes actualizadas. De preferencia, 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 foto de la parte derecha de su arco inferior.

40 Si se ha dejado el ciclo en las etapas e2) y e3) sin que un marcador satisfactorio haya podido ser obtenido, el procedimiento puede ser igualmente continuado con el modelo de referencia y las condiciones de adquisición virtuales correspondientes al mejor marcador alcanzado. Un aviso puede ser emitido con el fin de informar al usuario del error sobre el resultado.

45 Si se ha dejado el ciclo en las etapas e2) y e3) mientras que un marcador satisfactorio ha podido ser obtenido, por ejemplo por que el marcador ha alcanzado, incluso sobrepasado el mencionado segundo umbral, las condiciones de adquisición virtuales corresponden sustancialmente a las condiciones de adquisición reales y los modelos de dientes en el modelo de referencia obtenido (llamado «modelo de referencia final» se encuentran sustancialmente en la posición de los dientes del paciente en el momento de la etapa b).

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

50 **En la etapa f)**, se compara el modelo de referencia final, resultante de la optimización por desplazamiento de los modelos de dientes, con el modelo de referencia inicial. El modelo de referencia final corresponde sustancialmente a la imagen actualizada. La comparación de la etapa f) permite por consiguiente observar las diferencias entre el posicionamiento de los dientes en la etapa a) (modelo de referencia inicial) y durante la adquisición de la imagen actualizada (etapa b)). El procedimiento permite así determinar con precisión, para cada uno de los dientes, los movimientos entre estas dos etapas.

55 Repitiendo las etapas b) y siguientes, es igualmente posible evaluar la velocidad de evolución de la posición de los dientes, y así medir, por ejemplo, la eficacia de un tratamiento ortodóntico. Un procedimiento según la invención

puede por ejemplo ser utilizado para seguir a distancia la evolución de un tratamiento ortodóncico, y así optimizar las citas de los pacientes con sus ortodoncistas.

5 En un modo de realización preferido, el procedimiento de control según la invención se realiza varias veces para un mismo paciente, de preferencia sucesivamente con varias informaciones discriminantes, de preferencia más de 2, más de 3, más de 5 informaciones discriminantes para cada imagen actualizada y/o con varias imágenes actualizadas, de preferencia más de 2, más de 3, más de 5 imágenes actualizadas. La evaluación del desplazamiento de un diente puede ser así afinada teniendo en cuenta los diferentes marcadores obtenidos. La comparación de estos marcadores permite igualmente, llegado el caso, separar las informaciones discriminantes y/o las imágenes actualizadas insatisfactorias.

10 En función del desplazamiento medido, una información práctica puede ser generada. Si el desplazamiento es pequeño, esta información práctica puede ser que ninguna acción se tenga que realizar. Al contrario, si uno o varios dientes se han desplazado sustancialmente, la información puede ser planificar una visita al dentista o al ortodoncista. De preferencia, la información práctica depende del grado de desplazamiento de los dientes. En un modo de realización, una visita puede ser automáticamente tomada con el dentista o el ortodoncista, en función de
15 la amplitud y/o de la naturaleza de los desplazamientos detectados.

En un modo de realización, la información práctica se utiliza para modificar el intervalo de tiempo tras el cual el paciente deberá ser avisado que una nueva imagen actualizada debe ser creada.

20 En un modo de realización, el aparato individual permite visualizar imágenes, incluso una secuencia de imágenes que muestran el posicionamiento de los dientes en diferentes fechas. Estas imágenes pueden ser presentadas en forma de una animación.

De preferencia, el aparato de adquisición de imágenes es un teléfono que permite transmitir los resultados obtenidos por la realización del procedimiento, de preferencia de forma segura.

25 La comunicación puede ser por ejemplo efectuada, al menos en parte, por la vía hertziana, de preferencia siguiendo al menos un protocolo seleccionado entre los protocolos Edge, 3G, 4G, udmsa, hpdmsa, bluetooth, y wifi, o por cualquier otro protocolo, adaptado a los equipos móviles o nómadas, mediante sincronización por cable con el ordenador personal, o por transmisión óptica.

30 Como aparece claramente ahora, un procedimiento según la invención permite un control preciso y eficaz del posicionamiento de los dientes del paciente, sustancialmente sin tensión para el paciente. En particular, simples fotografías tomadas sin cuidado particular, por ejemplo, con un teléfono móvil, basta. El paciente puede por consiguiente fácilmente realizar este procedimiento.

Bien entendido, la invención no se limita a los modos de realización descritos más arriba y representados.

En particular, el procedimiento se realiza sucesivamente para cada uno de los dos arcos o simultáneamente para los dos arcos.

35 Además, varios aparatos diferentes pueden ser igualmente utilizados. Por ejemplo, la adquisición puede ser realizada con un teléfono móvil y las etapas siguientes mediante un ordenador fijo.

Por último, el paciente no está limitado a un ser humano. En particular, un procedimiento según la invención puede ser utilizado para otro animal.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de control del posicionamiento de dientes de un paciente, comprendiendo el indicado procedimiento las etapas siguientes:

- 5 a) menos de 3 meses después del comienzo de un tratamiento ortodóntico, realización de un modelo de referencia tridimensional digital de los arcos del 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 del indicado diente, o «modelo de diente»;
- b) adquisición de al menos una imagen bidimensional de los indicados arcos, llamada «imagen actualizada», en condiciones de adquisición reales;
- 10 c) análisis de cada imagen actualizada y realización, para cada imagen actualizada, de un mapa actualizado en relación con una información discriminante;
- e) búsqueda, para cada imagen actualizada, de un modelo de referencia final correspondiente al posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada, siendo la búsqueda de preferencia realizada por medio de un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia por recocido simulado, y
- 15 f) para cada modelo de diente, comparación de los posicionamientos de dicho modelo de diente en el modelo de referencia inicial y en el modelo de referencia obtenido al término de las etapas precedentes, llamado «modelo de referencia final» con el fin de determinar el desplazamiento de los dientes entre las etapas a) y b),

20 comprendiendo la etapa e):

- una primera operación de optimización que permite buscar las condiciones de adquisición virtuales que mejor correspondan a las condiciones de adquisición reales en un modelo de referencia a ensayar determinado a partir del modelo de referencia inicial, y
- 25 - una segunda operación de optimización que permite buscar, comprobando una pluralidad de los indicados modelos de referencia a ensayar, correspondiendo el modelo de referencia al mejor en el posicionamiento de los dientes del paciente durante la adquisición de la imagen actualizada en la etapa b).

2. Procedimiento según la reivindicación inmediatamente precedente, en el cual una primera operación de optimización es realizada para cada ensayo de un modelo de referencia a ensayar durante la segunda operación de optimización.

30 3. Procedimiento según una cualquiera de las dos reivindicaciones inmediatamente precedentes, en el cual la primera operación de optimización y/o la segunda operación de optimización, de preferencia la primera operación de optimización y la segunda operación de optimización utilizan un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia un recocido simulado.

35 4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual la etapa e) comprende las etapas siguientes:

e1) definición del modelo de referencia a ensayar como siendo el modelo de referencia inicial luego,

e2) según las etapas siguientes, ensayo de condiciones de adquisición virtuales con el modelo de referencia a ensayar con el fin de aproximar con precisión las indicadas condiciones de adquisición reales;

e21) determinación de condiciones de adquisición virtuales a ensayar;

40 e22) realización de una imagen de referencia bidimensional del modelo de referencia a ensayar en las indicadas condiciones de adquisición virtuales a ensayar;

e23) tratamiento de la imagen de referencia para realizar al menos un mapa de referencia que representa la indicada información discriminante;

45 e24) comparación de los mapas actualizado y de referencia con el fin de determinar un valor para una primera función de evaluación, dependiendo el indicado valor para la primera función de evaluación de las diferencias entre los indicados mapas actualizado y de referencia y que corresponden a una decisión de continuar o de parar la búsqueda de condiciones de adquisición virtuales que aproximan las mencionadas condiciones de adquisición reales con más exactitud que las indicadas condiciones de adquisición virtuales a ensayar determinadas en el último caso de la etapa e21);

50 e25) si el indicado valor para la primera función de evaluación corresponde a una decisión de continuar con la indicada búsqueda, modificación de las condiciones de adquisición virtuales a ensayar, entonces volver a la etapa e22);

e3) determinación de un valor para una segunda función de evaluación, dependiendo el indicado valor para la segunda función de evaluación de las diferencias entre los mapas actualizado y de referencia en las condiciones de

adquisición virtuales que se aproximan mejor a las indicadas condiciones de adquisición reales y que resultan del último caso de la etapa e2), correspondiendo el indicado valor para la segunda función de evaluación a una decisión de continuar o de parar la búsqueda de un modelo de referencia que aproxime el posicionamiento de los dientes durante la adquisición de la imagen actualizada con más exactitud que el indicado modelo de referencia a ensayar utilizado en el último caso de la etapa e2), y si el indicado valor para la segunda función de evaluación corresponde a una decisión de continuar la indicada búsqueda, modificación del modelo de referencia a ensayar por desplazamiento de uno o varios modelos de dientes, entonces volver a la etapa e2).

5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual en la etapa a), se determina un plano de oclusión según las operaciones siguientes:

I. determinación de los puntos del modelo de referencia inicial que pertenecen a un arco y que se encuentran a una distancia del otro arco que es inferior a una distancia predeterminada, de preferencia a una distancia inferior a 3 mm del otro arco, llamados «puntos de contacto»;

II. opcionalmente, filtrado de una parte de los puntos de contacto, de preferencia de forma que el número de puntos de contacto que pertenecen al arco superior sea idéntico al número de puntos de contacto que pertenecen al arco inferior, de preferencia eliminando los puntos de un arco los más alejados del otro arco;

III. regresión lineal, de preferencia por el método de los menos cuadrados, en el conjunto de puntos de contacto que quedan con el fin de determinar el plano de oclusión;

6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual, en la etapa a) se realizan las operaciones siguientes:

i. proyección, en un plano de oclusión, de los puntos de contacto entre los dientes de los arcos superior e inferior del paciente, determinándose los puntos de contacto y/o el plano de oclusión de preferencia, según las etapas I a III;

ii. determinación del baricentro de las proyecciones de los indicados puntos de contacto y creación de un referencial, en el plano de oclusión, centrado sobre el indicado baricentro;

iii. determinación, en el indicado referencial, de la función parabólica, presentando el mayor coeficiente de correlación con el conjunto de proyecciones de los indicados puntos de contacto;

iv. rotación del conjunto de proyecciones de los puntos de contacto alrededor del baricentro, y repetición de la operación precedente iii hasta que el conjunto de proyecciones de los puntos de contacto haya recorrido un sector determinado, de preferencia superior a 90°, superior a 180°, incluso de aproximadamente 360°;

v. identificación del coeficiente de correlación más elevado para el conjunto de posiciones angulares del conjunto de proyecciones de los puntos de contacto alrededor del baricentro, y del eje de la función parabólica correspondiente;

vi. determinación de un plano longitudinal mediano del modelo de referencia inicial, pasando el indicado plano por el mencionado eje y siendo perpendicular al plano de oclusión.

7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual, en la etapa a), se delimita al menos parcialmente un modelo de diente siguiendo las operaciones siguientes:

i'. determinación, al menos parcial, de los bordes gingivales interior y exterior del arco del diente en cuestión, de preferencia por análisis de las variaciones de la orientación superficial del modelo de referencia inicial;

ii'. proyección, en el plano de oclusión, de los bordes gingivales interior y exterior;

iii'. identificación de las deformaciones de las proyecciones de los bordes gingivales interior y exterior que corresponden a las regiones interdentes, llamándose los picos de estas deformaciones «punto de aproximación»;

iv'. determinación del camino más corto, en la superficie del modelo de referencia inicial, entre dos puntos de aproximación de bordes gingivales interior y exterior, respectivamente, de una región interdental, de preferencia por un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia por recocido simulado, delimitando el mencionado camino más corto al menos parcialmente un modelo de diente.

8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual una imagen actualizada es adquirida menos de 7 días después de la etapa a), luego las etapas c) a f) son puestas en práctica a partir de esta imagen actualizada.

9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual en la etapa b), se utiliza un aparato de adquisición manual y/o la cabeza del paciente no se inmoviliza.

- 5 **10.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual en la etapa b), se utiliza un aparato individual seleccionado entre el grupo formado por un aparato fotográfico conectado, un reloj inteligente, una Tablet digital, un escáner 3D portátil y un ordenador acoplado con un sistema de adquisición de imágenes, tal como una webcam o un aparato fotográfico digital, para poner en práctica la etapa b) y, de preferencia al menos una de las etapas, de preferencia todas las etapas c) a f).
- 11.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual en la etapa b), se utiliza un aparato de adquisición de imágenes que proporciona una imagen actualizada infrarroja.
- 10 **12.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual en la etapa b) se utiliza un separador que comprende una, de preferencia más de dos marcas de señalizado, de preferencia no alineadas, y, de preferencia, se utiliza la representación de las marcas de señalizado en la imagen actualizada para:
- en la etapa c), recortar la imagen y/o
 - comprendiendo el procedimiento, después de la etapa c) una etapa d) de determinación, para cada imagen actualizada, de condiciones de adquisición virtuales generales que se aproximan a las indicadas condiciones de adquisición reales, para, en la etapa d), evaluar aproximadamente las mencionadas condiciones de adquisición reales.
- 15 **13.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual en la etapa c), la información discriminante es seleccionada entre el 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.
- 20 **14.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual el procedimiento comprende, después de la etapa c) una etapa d) de determinación, para cada imagen actualizada, de condiciones de adquisición virtuales generales que se aproximan a las indicadas condiciones de adquisición reales, y, en la etapa d), se utilizan datos proporcionados por el aparato de adquisición y, de preferencia, respecto a su orientación.
- 25 **15.** Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el cual se realiza una optimización por un método metaheurístico, de preferencia evolucionista, de preferencia por recocido simulado, para:
- en la etapa a), determinar al menos parcialmente un borde gingival que delimita un modelo de diente y/o,
 - en la etapa e2), buscar las condiciones de adquisición virtuales que corresponden a las condiciones de adquisición reales y/o,
 - en la etapa e), buscar un modelo de referencia que corresponda a la imagen actualizada.
- 30 **16.** Programa de ordenador, y en particular una aplicación especializada para teléfono móvil, que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución de las etapas c) a f) de un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, cuando el mencionado programa es ejecutado por un ordenador.
- 17.** Sistema que comprende:
- 35 un escáner tridimensional apto para realizar la etapa a) de un procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 15,
- un aparato personal, de preferencia un teléfono móvil, cargado con un programa según la reivindicación inmediatamente precedente.

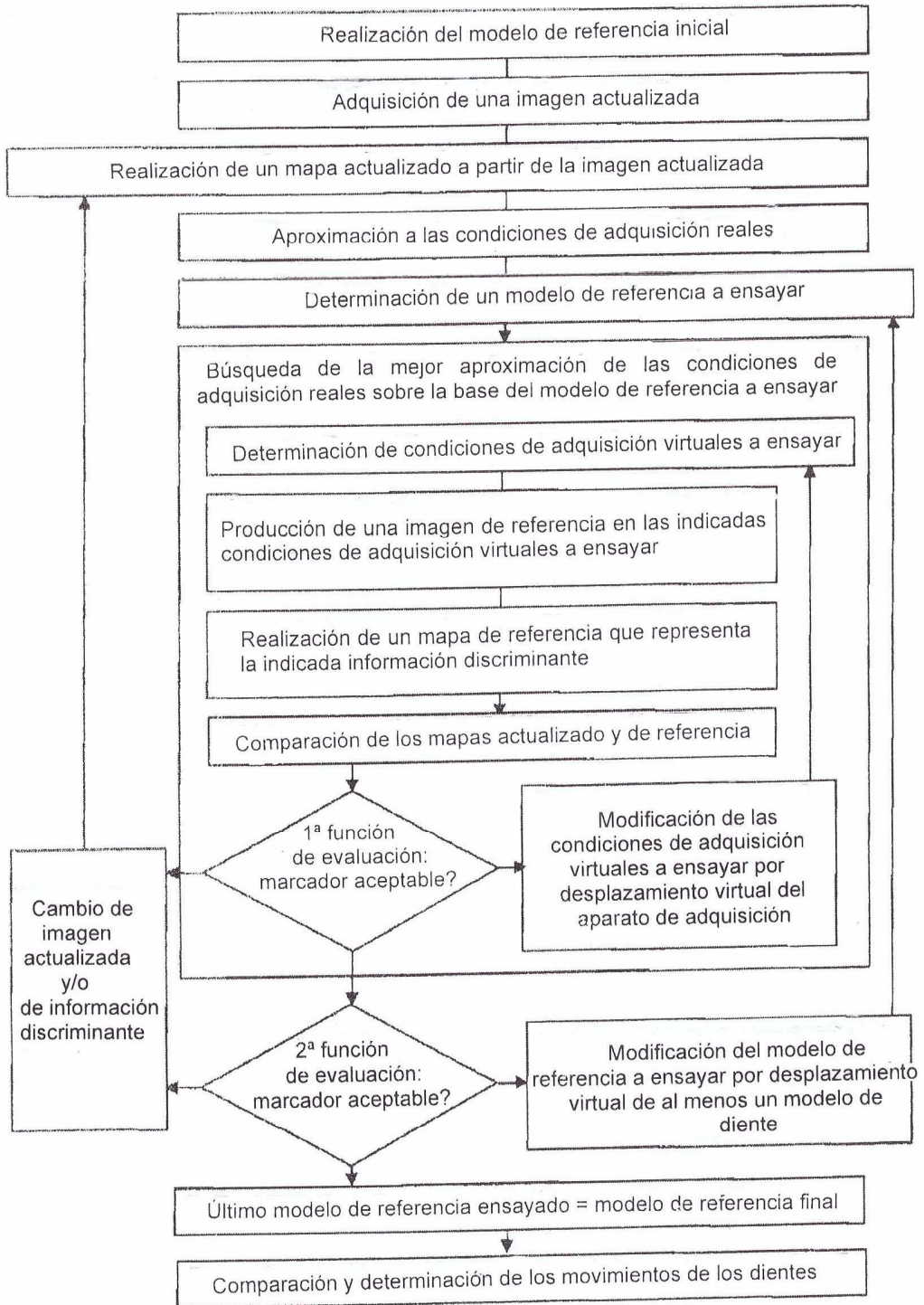


Fig. 1

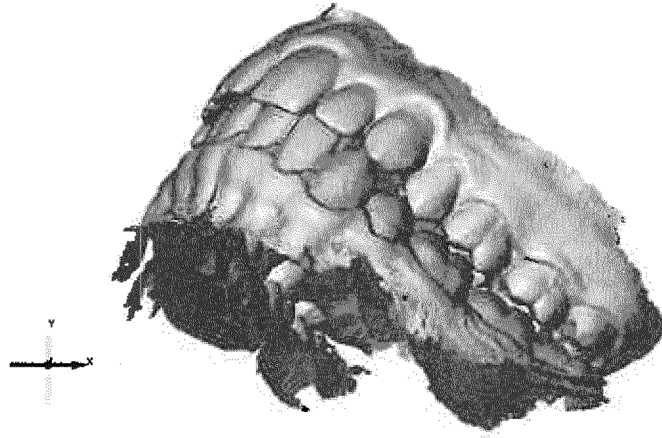


Fig.2

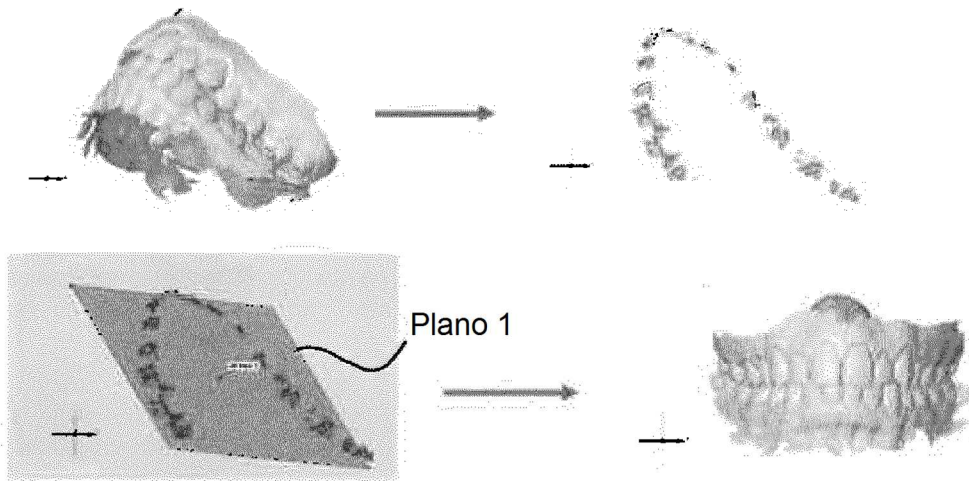


Fig.3



Fig. 4a

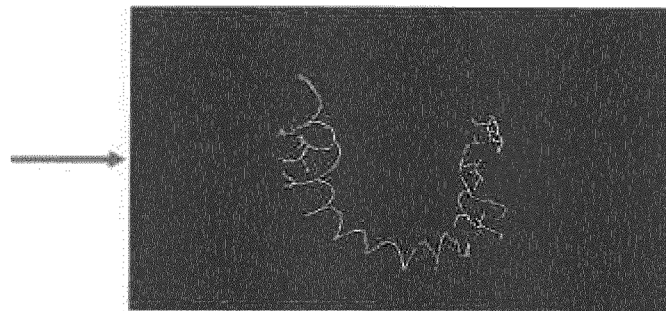


Fig. 4b



Fig. 4c

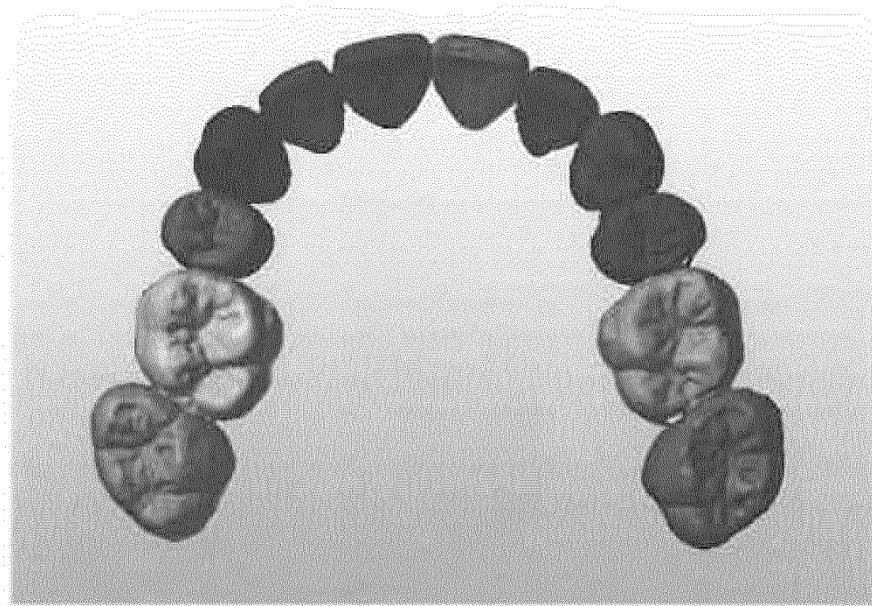


Fig. 4d

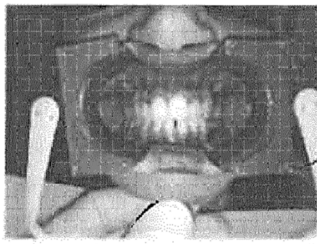


Fig. 5a

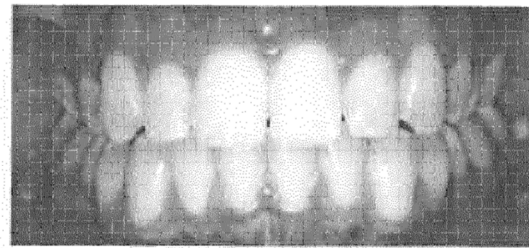


Fig. 5b

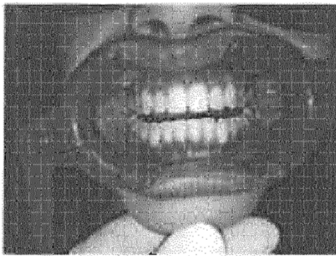


Fig. 5c

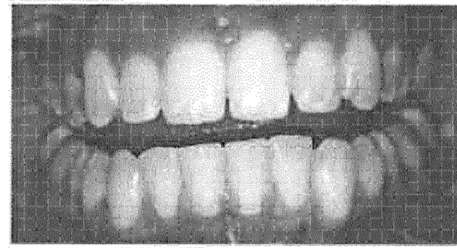


Fig. 5d

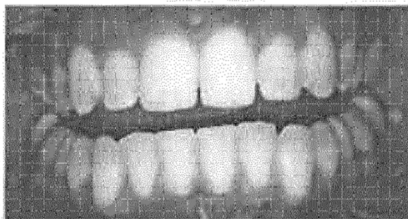


Fig. 6a

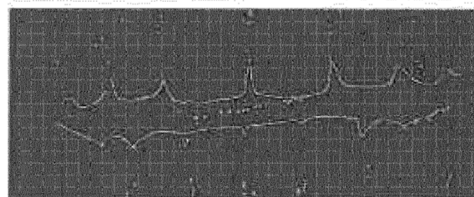


Fig. 6b

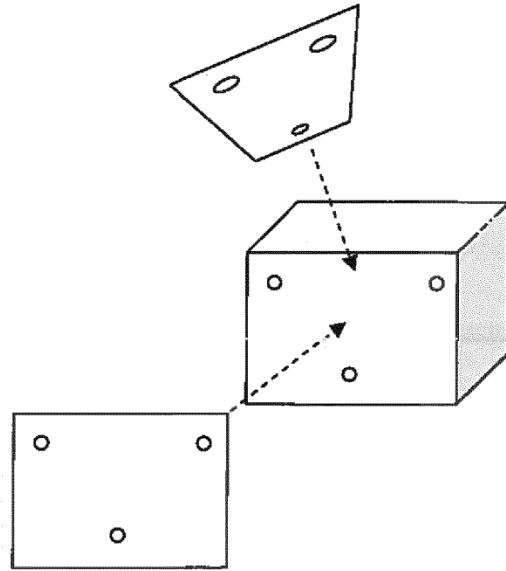


Fig. 7

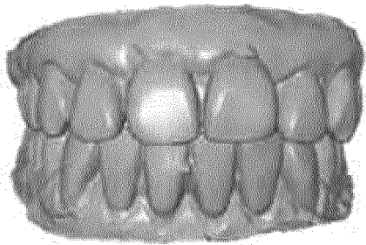


Fig. 8a

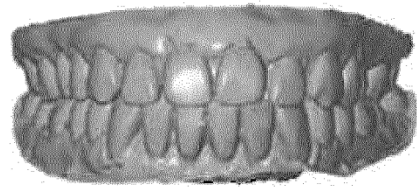


Fig. 8b