

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 914 600**

51 Int. Cl.:

G16H 50/70 (2008.01)

G16H 50/20 (2008.01)

A61C 7/00 (2006.01)

A61C 13/00 (2006.01)

G16H 30/40 (2008.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.01.2018 E 18154284 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.03.2022 EP 3518249**

54 Título: **Método de análisis de una representación de una arcada dental**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.06.2022

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

SALAH, PHILIPPE y
PELLISSARD, THOMAS

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 914 600 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

Método de análisis de una representación de una arcada dental

Campo técnico

La presente invención hace referencia al campo del análisis de las representaciones de arcadas dentales.

Técnica anterior

5 Los escáneres ópticos o "3D" pueden crear modelos tridimensionales de las superficies de la boca, pero no pueden adquirir información sobre las partes no visibles de la boca. Las partes no visibles de la boca incluyen, en particular, los dientes impactados, las raíces de los dientes y los huesos maxilares y mandibulares.

Para adquirir dicha información, clásicamente se realiza una adquisición tomográfica, preferiblemente mediante tomografía computarizada de haz cónico, en inglés "*cone beam computed tomography*" (CBCT). Una adquisición con una máquina de rayos X convencional también es posible, pero no siempre proporciona una resolución suficiente.

10 La aplicación de rayos X puede ser perjudicial para la salud, especialmente si se repite. Por lo tanto, no se realiza con fines preventivos. En otras palabras, las partes no visibles de la boca sólo se suelen analizar cuando el paciente se queja de dolor o nota fenómenos anormales como dientes demasiado "suelos".

Por ello, el diagnóstico es tardío y el tratamiento largo y complejo.

15 Se necesita un método para evaluar la posición y/o la forma de las partes no visibles de la boca que no plantee los problemas mencionados anteriormente.

El documento EP 3 050 534 A también describe un método para simular la evolución de un tratamiento de ortodoncia, el método también permite predecir la aparición de una enfermedad periodontal.

20 Por otra parte, todo el mundo puede beneficiarse de la predicción de la evolución de su sistema dental, es decir, no sólo los dientes visibles, sino también los dientes impactados, las mandíbulas o el periodonto. El examen de las partes visibles de la boca por sí solo no permite predecir con exactitud dicha evolución.

Por lo tanto, también es necesario un proceso para anticipar la evolución del sistema dental, independientemente de cualquier diagnóstico.

25 Por último, el ortodoncista puede tener información limitada sobre la configuración del sistema dental del paciente y puede realizar procedimientos innecesarios o perjudiciales. Por ejemplo, se puede pedir al paciente que lleve un aparato de ortodoncia para cambiar la posición de un diente que, en ausencia de cualquier tratamiento, habría evolucionado naturalmente hacia esa posición.

Por lo tanto, existe una necesidad continua de enriquecer la información disponible para el ortodoncista.

Uno de los objetivos de la invención es satisfacer, al menos parcialmente, estas necesidades.

Resumen de la invención

El objeto de la presente invención se define por el método de la reivindicación

30 Las reivindicaciones dependientes proporcionan características preferidas del proceso de acuerdo con la invención.

La presente descripción también presenta un método para analizar una representación dental de una arcada dental de un paciente, denominada "representación de análisis dental", en cuyo método la representación del análisis dental se somete a un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, para determinar al menos una información dental relativa a un objeto dental asociado a la representación del análisis dental y seleccionada entre:

- 35
- una parte visible de la arcada, en particular una corona o un conjunto de coronas o una arcada visible; o
 - una parte no visible de dicha arcada, en particular una raíz o un conjunto de raíces o uno o más dientes impactados.

Por "parte no visible" se entiende una parte de la arcada que no se puede ver con luz visible, en particular a simple vista, y en particular sin el uso de rayos X.

La representación dental puede ser, en particular, una imagen o un grupo de imágenes de la arcada dental del paciente.

- 5 Se dice que un objeto dental está "asociado" a una representación dental cuando el objeto dental está representado en la representación dental, por ejemplo, una corona, o cuando está relacionado con un elemento representado en la representación dental, por ejemplo, una raíz, normalmente no visible, de una corona.

10 En particular, la presente descripción presenta un método para analizar una representación de análisis dental que representa, en varias dimensiones, una arcada dental de un paciente actual, dicho método comprende las siguientes etapas:

1) creación de una base de datos de aprendizaje con más de 1000 estructuras dentales históricas, cada estructura dental histórica con:

- una representación dental histórica de una arcada de un paciente histórico en varias dimensiones, y
 - una descripción histórica que contenga un valor para al menos un primer atributo relativo a un objeto dental asociado a dicha representación dental histórica,
- 15

2) entrenar al menos un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, mediante la base de datos de aprendizaje;

3) presentar la representación del análisis dental a dicho dispositivo de aprendizaje profundo para que determine, para dicha representación de análisis dental, al menos un valor para dicho primer atributo.

20 Como se verá con más detalle en la siguiente descripción, dicho método de análisis puede permitir de forma ventajosa el reconocimiento inmediato de la información dental contenida en la representación del análisis dental, pero que un ortodoncista tendría dificultades o no podría identificar. La utilización de este método contribuye de este modo a la calidad del tratamiento.

25 En una forma de realización, en la etapa 3), el dispositivo de aprendizaje profundo se somete no solo a la representación del análisis dental, sino también a un descriptor del análisis que contiene un valor para al menos un segundo atributo para el que los descriptores históricos proporcionan un valor. Esto mejora significativamente la precisión del análisis.

La utilización de este método permite controlar la posición y/o la forma de una parte no visible de la boca, y en particular las raíces de los dientes.

30 La descripción finalmente se presenta:

- un programa de ordenador, y en particular una aplicación especializada para teléfonos móviles, que comprende instrucciones de código de programa para la ejecución de una o más etapas de un método, cuando dicho programa es ejecutado por un ordenador,
- un soporte informático en el que se graba un programa de este tipo, por ejemplo una memoria o un CD-ROM.

Definiciones

35 Una representación dental de una arcada es un modelo digital en varias dimensiones de toda o parte de dicha arcada. La representación dental puede ser, en particular, una imagen bidimensional, un grupo de imágenes relacionadas con la misma arcada, un modelo digital tridimensional o un holograma.

Por "imagen", se entiende una imagen bidimensional, como una fotografía o una imagen de una película. Una imagen se compone de píxeles.

40 El grupo de imágenes puede comprender varias imágenes adquiridas al mismo tiempo y que constituyen, por ejemplo, una representación en varios trozos de la arcada dental. El grupo de imágenes también puede comprender varias imágenes adquiridas en diferentes momentos, por ejemplo, separadas por más de una semana o más de un mes. La representación constituye de este modo una secuencia de imágenes y proporciona una información temporal sobre la

arcada dental. Se puede describir como una "representación dinámica", o una "representación cuatridimensional" de la arcada.

Un conjunto de valores para los atributos de una representación dental, se denomina "descriptor" de esa representación dental.

- 5 Una representación dental y una descripción de esa representación dental constituyen conjuntamente una "estructura dental", o una "representación dental enriquecida".

10 Se dice que una representación dental, y en particular una imagen o grupo de imágenes, es "histórica" cuando ha sido adquirida en el pasado. Se dice que una estructura dental es "histórica" cuando hace referencia a una representación dental histórica. Las estructuras dentales históricas se colocan en la base de datos de aprendizaje para entrenar el dispositivo de aprendizaje profundo,

Cada representación dental se puede caracterizar por un descriptor que proporciona un conjunto de valores adecuados para un conjunto de atributos de esa representación dental. El número de valores posibles para un atributo no está limitado.

15 Un dispositivo de aprendizaje profundo es capaz de evaluar los valores de los atributos de una representación dental a la que se somete, es decir, una representación de análisis dental. Para ello, primero debe aprender a analizar las representaciones dentales. Por lo tanto, se le somete a una base de datos de aprendizaje que consiste en un gran número de estructuras dentales históricas, cada una de las cuales consta de una representación dental histórica y una descripción histórica que proporciona los valores de los atributos para la representación dental histórica, valores que se establecen, por ejemplo, manualmente, a partir de los conocimientos del experto en la técnica.

20 Por supuesto, para que el dispositivo de aprendizaje profundo pueda evaluar el valor de un atributo de la representación del análisis dental, las estructuras dentales históricas deben proporcionar valores para ese atributo o atributos equivalentes.

25 Un "paciente" es una persona para la que se ha adquirido una representación dental, independientemente de que esta persona esté sometida a un tratamiento de ortodoncia o no. Se distingue entre el paciente "actual", del que se adquiere la representación del análisis dental, y los pacientes históricos, de los que se adquieren las representaciones dentales históricas en la base de datos de aprendizaje.

Por "ortodoncista", se entiende cualquier persona cualificada para prestar atención dental, lo que incluye también a un dentista.

Por "pieza de ortodoncia" se entiende la totalidad o parte de un aparato de ortodoncia.

30 Una pieza de ortodoncia puede ser, en particular, un bracket de ortodoncia. Un bracket de este tipo se extiende para seguir los dientes sucesivos de la arcada a la que se fija. Define un canal generalmente en forma de "U", cuya forma se determina para asegurar la fijación del bracket a los dientes, pero también en función de un posicionamiento deseado de los dientes. Más concretamente, la forma se determina de manera que, cuando el bracket está en su posición de funcionamiento, ejerce tensiones que tienden a mover los dientes tratados hacia su posición objetivo, o a mantener los dientes en esa posición objetivo.

35 La "posición de servicio" es la posición en la que el paciente lleva la pieza de ortodoncia.

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

Los términos "que comprende" o "que tiene" o "que presenta" se interpretarán de manera no restrictiva, a menos que se especifique lo contrario.

Breve descripción de las figuras

45 Otras características y ventajas de la invención se desprenderán aún con la lectura de la siguiente descripción detallada y del examen del dibujo adjunto, en el que la figura 1 representa, de forma esquemática, las distintas etapas de un método de análisis.

Descripción detallada

En la etapa 1), se recoge un conjunto de representaciones dentales históricas para crear la base de datos de aprendizaje.

Preferiblemente, este conjunto comprende más de 1.000, más de 5.000, más de 10.000, preferiblemente más de 30.000, preferiblemente más de 50.000, preferiblemente más de 100.000 representaciones dentales.

- 5 Cada representación dental histórica es analizada, normalmente por un operador, para establecer la descripción histórica de esa representación dental.

10 En particular, para cada representación dental recogida, un operador puede identificar las zonas que representan una corona, los números de dientes asociados y/o las patologías, las zonas que representan una pieza de ortodoncia y cualquier defecto asociado, por ejemplo, el posible desprendimiento de los brackets. De este modo, asigna valores de atributos a los atributos de la representación dental.

Por ejemplo, un ortodontista puede determinar el valor del atributo "posicionamiento del bracket", es decir, establecer si este valor debe ser "bracket correctamente posicionado" o "bracket no correctamente posicionado", examinando una representación dental histórica con una representación de un bracket en uso, por ejemplo, una imagen. De este modo, este valor puede formar parte de la descripción histórica de la representación dental histórica.

15 Atributo

Un atributo puede hacer referencia a un objeto dental, es decir, al aparato manducador. Por ejemplo, un atributo puede hacer referencia a la posición y/o naturaleza de una corona, una raíz, un hueso alveolar, una arcada, la lengua, la boca, los labios, una mandíbula, la encía, el aparato manducador en su conjunto o una pieza de ortodoncia que lleve el paciente.

20 Por ejemplo, puede especificar las zonas de los dientes en la representación dental, la posición de la lengua (por ejemplo, "retrasada") o la apertura de la boca del paciente (por ejemplo, "boca abierta" o "boca cerrada") o la situación dental general (por ejemplo, "situación dental satisfactoria" o "situación dental insatisfactoria", o la presencia de una representación de un aparato de ortodoncia y/o su estado (por ejemplo, aparato "intacto", "roto" o "dañado"), o información sobre el paciente (por ejemplo, la edad del paciente o relacionada con su entorno o sus hábitos, en particular alimenticios, o sobre el tratamiento que está recibiendo o que ha recibido en el pasado)

30 Un atributo del diente se selecciona preferiblemente entre un número de diente, un tipo de diente, cuyos valores posibles serían, por ejemplo, "incisivo", "canino" o "molar", un parámetro de forma del diente, por ejemplo, una anchura del diente, en particular una anchura mesiopalatina, un grosor, una altura de la corona, un índice de desviación mesial y distal al borde incisal, o un nivel de abrasión, un parámetro de apariencia del diente, en particular un índice de translucidez o un parámetro de color, un parámetro relativo al estado del diente, por ejemplo "desbastado", "roto", "con caries" o "con prótesis" (es decir, en contacto con un aparato de ortodoncia), o una combinación de estos atributos. Un atributo de un diente puede ser también su velocidad de movimiento de traslación o rotación alrededor de un eje en el espacio. En una forma de realización, los atributos de los dientes proporcionan valores para las velocidades de desplazamiento en traslación a lo largo de al menos tres ejes que forman un sistema de referencia en el espacio y para las velocidades de rotación alrededor de al menos tres ejes que forman un sistema de referencia en el espacio.

35 En una forma de realización especialmente ventajosa, el primer atributo hace referencia a un objeto dental que no aparece en la representación dental considerada. En particular, el primer atributo puede hacer referencia a una parte oculta del diente, por ejemplo, puede hacer referencia a la raíz del diente.

40 Para un grupo de imágenes, los atributos pueden ser globales para el grupo, por ejemplo, cuando hacen referencia a la situación dental general. Los atributos pueden ser específicos de cada imagen, como la hora de adquisición de la imagen. Por último, los atributos pueden ser específicos de algunas partes de cada imagen, como la posición de las zonas dentales representadas.

45 Los atributos del grupo pueden hacer referencia, en particular, a la velocidad de desplazamiento de una parte visible de la boca, y en particular de los dientes, o pueden hacer referencia al tratamiento durante el cual se adquirieron las imágenes del grupo.

50 Un atributo también puede hacer referencia a un objeto que no sea un objeto dental, por ejemplo, al dispositivo de adquisición de la representación dental en cuestión. Por ejemplo, para una imagen, un atributo puede hacer referencia a una posición y/o orientación y/o calibración de un dispositivo de adquisición utilizado para adquirir dicha imagen, por ejemplo, un teléfono móvil o un escáner 3D. Por ejemplo, puede tomar los valores "imagen frontal", "imagen izquierda" y "imagen derecha".

Un atributo también puede hacer referencia a una propiedad de la representación dental, por ejemplo, puede hacer referencia a un identificador de las imágenes de un grupo o, para una imagen, puede hacer referencia a la fecha de adquisición de la imagen, al grupo al que pertenece la imagen, a la luminosidad, al contraste o a la nitidez de la imagen. Por ejemplo, se puede tomar los valores "contraste insuficiente" y "contraste aceptable".

- 5 Los atributos también se pueden clasificar como relativos a solamente una parte de la representación dental, o "atributo específico", o a la representación dental en su conjunto, "atributo global".

Por ejemplo, un atributo global puede hacer referencia al dispositivo de adquisición utilizado para adquirir la representación dental o al contexto de esa adquisición. Un atributo específico puede hacer referencia a un diente representado, o "atributo del diente".

- 10 Al menos un atributo hace referencia a un objeto dental. En particular, el primer atributo puede ser cualquiera de los descritos anteriormente relativos a un objeto dental.

En una forma de realización preferida, la determinación de los descriptores históricos es, al menos en parte, automática.

- 15 Preferiblemente, el valor de al menos un atributo de una primera representación dental histórica se determina utilizando los valores de uno o más atributos de una o más representaciones dentales históricas previamente adquiridas. Por ejemplo, si dos representaciones dentales hacen referencian al mismo paciente, la edad del paciente introducida en el atributo "edad" de la representación dental anterior se utiliza para deducir la edad del paciente de la primera representación dental, teniendo en cuenta el desfase temporal entre los tiempos de adquisición de las dos representaciones dentales históricas.

- 20 En una forma de realización, para describir una representación dental histórica de una arcada dental de un paciente, se deforma un modelo digital tridimensional inicial de dicha arcada para obtener un modelo digital tridimensional deformado que tenga una concordancia máxima con dicha representación dental histórica. El modelo digital tridimensional inicial puede ser, en particular, un escáner óptico 3D, realizado, por ejemplo, al comienzo del tratamiento. La adquisición de la representación dental histórica puede ser, por ejemplo, más de una semana, un mes o dos meses después de la realización del modelo digital tridimensional inicial.

La medida de la diferencia entre dos objetos se denomina "concordancia" o "ajuste" ("*match*" o "*fit*" en inglés). Una concordancia es la máxima ("*best fit*") cuando es el resultado de una optimización que permita minimizar dicha diferencia.

- 30 Un modelo digital tridimensional deformado tiene una concordancia máxima con una representación dental histórica cuando este modelo ha sido seleccionado entre varios modelos porque permite una observación, por ejemplo, una vista, con una concordancia máxima con dicha representación dental histórica, por ejemplo, una imagen.

La búsqueda de la deformación óptima, es decir, que conduzca al modelo digital tridimensional deformado con la máxima concordancia con dicha representación dental histórica, se realiza preferiblemente mediante una primera y una segunda operación.

- 35 En la primera operación, se busca una observación o "vista" del modelo que tenga una concordancia máxima con la representación dental.

En la segunda operación, opcional pero preferida, se busca una deformación suplementaria del modelo y se repite la primera operación. Las dos operaciones se repiten hasta obtener un modelo digital tridimensional deformado que tenga una concordancia máxima con dicha representación dental histórica.

- 40 Preferiblemente, la primera operación y/o la segunda operación, preferiblemente ambas, implementan un método metaheurístico, preferiblemente evolutivo, preferiblemente de recocido simulado.

El método metaheurístico se elige preferiblemente del grupo formado por

- los algoritmos evolutivos, elegidos preferiblemente entre:

- 45
- las estrategias evolutivas, los algoritmos genéticos, los algoritmos de evolución diferencial, los algoritmos de estimación de la distribución, los sistemas inmunitarios artificiales, la recomposición de trayectorias de evolución compleja barajada, el recocido simulado, los algoritmos de colonias de hormigas, los algoritmos de optimización de enjambres de partículas, la búsqueda tabú y el método GRASP

- el algoritmo canguro,
- El método de Fletcher y Powell,
- el método de los efectos sonoros,
- la tunelización estocástica,
- 5 - la escalada de colinas con repetición aleatoria,
- el método de la entropía cruzada, y
- los métodos híbridos entre los métodos metaheurísticos mencionados.

10 Algunos valores de atributos del modelo digital 3D original son idénticos en el modelo digital 3D deformado, por lo que se pueden atribuir automáticamente a la representación dental. Por ejemplo, si los dientes se modelan en el modelo digital tridimensional original (segmentación del modelo) y la deformación es un desplazamiento de uno o más modelos de dientes, los modelos de dientes se pueden identificar en el modelo digital tridimensional deformado, pero también, como consecuencia, en la representación dental histórica. De hecho, el modelo digital tridimensional deformado se ha determinado para que se pueda observar en él la representación dental histórica. Las zonas de los dientes identificadas en el modelo digital tridimensional original se pueden identificar entonces automáticamente en la representación dental

15 histórica.

Ventajosamente, la deformación del modelo digital tridimensional es posible cuando la representación dental histórica es una fotografía o película tomada sin especial cuidado, por ejemplo, con un teléfono móvil, según se describe en el documento WO 2016 066651.

En la etapa 2), se entrenan uno o más dispositivos de aprendizaje profundo utilizando la base de datos de aprendizaje.

20 Un dispositivo *de* aprendizaje profundo, en inglés "*deep learning*", es preferiblemente una red neuronal. Una red neuronal o "red neuronal artificial" es un conjunto de algoritmos bien conocidos por los expertos en la técnica.

La red neuronal se puede seleccionar en particular entre:

- redes especializadas en la clasificación de imágenes, denominadas "CNN" ("Convolutional neural network"), por ejemplo
- 25 - AlexNet (2012)
- ZF Net (2013)
- VGG Net (2014)
- GoogleNet (2015)
- Microsoft ResNet (2015)
- 30 - Caffe: BAIR Reference CaffeNet, BAIR AlexNet
- Torch: VGG_CNN_S, VGG_CNN_M, VGG_CNN_M_2048, VGG_CNN_M_1024, VGG_CNN_M_128, VGG_CNN_F, VGG ILSVRC-2014 de 16 capas, VGG ILSVRC-2014 de 19 capas, Red en Red (Imagenet y CIFAR-10)
- Google: Inception (V3, V4).
- 35 - redes especializadas en localizar y detectar objetos en una imagen, las redes de detección de objetos, por ejemplo:
 - R-CNN (2013)
 - SSD (Single Shot MultiBox Detector: Object Détection network), Faster R-CNN (Faster Region-based Convolutional Network method: Object Détection network)

- R-CNN más rápido (2015)
- SSD (2015).

La lista anterior no es exhaustiva.

- 5 El entrenamiento de un dispositivo de aprendizaje profundo en forma de red neuronal consiste clásicamente en la activación de las neuronas que lo constituyen. La interconexión de estas neuronas define entonces la arquitectura de la red. Más concretamente, se buscan los valores de los parámetros que, cuando las representaciones dentales históricas de la base de datos de aprendizaje se someten al dispositivo de aprendizaje profundo parametrizado con dichos valores, le permiten determinar valores de atributos que se aproximan lo más posible a los valores de atributos de los descriptores históricos asociados a dichas representaciones dentales históricas.
- 10 El entrenamiento permite que el dispositivo de aprendizaje profundo aprenda gradualmente a reconocer patrones, en inglés "*patterns*", en una representación dental y a asociarlos con valores de atributos.
- Después del entrenamiento con la base de datos de aprendizaje, el dispositivo de aprendizaje profundo puede determinar de este modo los valores de los atributos de una representación de análisis dental, sin intervención de un experto en la técnica.
- 15 En la etapa 3), la representación del análisis dental del paciente actual se somete al dispositivo de aprendizaje profundo. El dispositivo de aprendizaje profundo determina en consecuencia al menos un valor para el primer atributo relacionado con el objeto dental. De este modo, se enriquece el descriptor del análisis de la representación del análisis dental. Preferiblemente, el dispositivo de aprendizaje profundo determina probabilidades para los diferentes valores posibles de dicho primer atributo.
- 20 En una forma de realización, la información dental relativa a dicho objeto dental se determina además a partir del valor o los valores de los atributos proporcionados por el dispositivo de aprendizaje profundo para el primer atributo y, a continuación, esta información dental se transmite a un operador.
- En particular, la información dental puede comprender un valor del primer atributo de la representación del análisis dental o una probabilidad de un valor de este tipo.
- 25 La información dental generada por el método de análisis se puede derivar de uno o más valores de atributos. Por ejemplo, puede estar relacionada con la situación dental del paciente, y en particular con un riesgo de aparición de una situación patológica, con respecto a una parte visible de la boca, por ejemplo, un riesgo de maloclusión, o a una parte no visible de la boca, tal como se define en la presente invención, estando relacionado con un riesgo de rizalísis o "reabsorción radiculodental".
- 30 Por ejemplo, si un atributo de las representaciones dentales históricas define globalmente, para cada representación dental histórica considerada en su conjunto, si una situación dental "es patológica" o "no es patológica", la información dental generada por el método de análisis puede ser un valor de este atributo para la representación del análisis dental. Alternativamente, esta información dental se puede derivar de otros valores de atributos equivalentes, por ejemplo, de un valor de atributo de diente que indique que un diente "tiene caries".
- 35 Estos métodos son particularmente útiles para evaluar la posición y/o la forma de una parte no visible del aparato masticador, y en particular de las raíces de los dientes o de los dientes impactados.
- Por ejemplo, para controlar la rizalísis, que es un objetivo de la presente invención, se construye una base de datos de aprendizaje a partir de representaciones dentales históricas, por ejemplo, fotografías, en las que un ortodoncista identifica los dientes que hayan sufrido rizalísis, y rellena la descripción histórica en consecuencia.
- 40 Por supuesto, para identificar estos dientes en una representación dental histórica, por ejemplo, en una imagen, el ortodoncista puede haber utilizado otros medios distintos a la imagen. En particular, el ortodoncista puede haber utilizado información adquirida antes y/o después de la adquisición de dicha imagen, por ejemplo, más de 1 semana, 1 mes o un año antes o después de la adquisición de la representación dental histórica. En particular, puede haber aprendido que la imagen correspondía a un riesgo de rizalísis cuando la rizalísis se produjo.
- 45 También puede haber utilizado imágenes adquiridas por rayos X, por ejemplo, mediante tomografía computarizada de haz cónico.

En una forma de realización, la base de datos de aprendizaje comprende grupos de imágenes, adquiridas en diferentes momentos para un mismo paciente. La descripción histórica de un grupo puede indicar, para cada imagen, el diente o

los dientes que hayan sufrido rizalís, así como la fecha de adquisición de la imagen y/o las velocidades de los desplazamientos de los dientes. Por lo tanto, el dispositivo de aprendizaje profundo es capaz de integrar no solo la influencia de la disposición de los dientes en el riesgo de rizalís, sino también la velocidad de desplazamiento de los dientes.

- 5 El conocimiento de la evolución de la situación dental a lo largo del tiempo mejora considerablemente los resultados obtenidos con un procedimiento de acuerdo con la invención.

Por ejemplo, una situación dental que parecería "no patológica" al examinar una sola imagen de análisis, se puede considerar "potencialmente patológica" cuando el análisis del grupo de imágenes de análisis revela una evolución que, en términos de la base de datos de aprendizaje, se debería considerar potencialmente patológica.

- 10 Por otra parte, algunas situaciones dentales sólo se pueden evaluar correctamente mediante el análisis de un grupo de imágenes de análisis que permitan la observación simultánea de varias regiones de la boca que no serían visibles en una sola imagen. El grupo de imágenes de análisis también puede incluir imágenes de análisis adquiridas en diferentes momentos.

- 15 En general, la utilización de grupos de imágenes como representaciones dentales permite aumentar de forma ventajosa la cantidad de información disponible.

Ejemplo

- 20 En una forma de realización preferida de la invención, las estructuras dentales históricas en la base de datos de aprendizaje comprenden cada una de ellas una imagen de tomografía computarizada de haz cónico y una descripción histórica que especifica el tratamiento en el marco en el que se adquirió dicha imagen, la identificación de los tipos de dientes representados en dicha imagen (por ejemplo, "caninos", "molares",...), las velocidades de desplazamiento de estos dientes e información sobre la aparición de la rizalís en el marco de este tratamiento.

Los atributos son por lo tanto, por ejemplo,

- la naturaleza del tratamiento seguido;
- para cada diente representado:
 - 25 - el tipo de diente;
 - la velocidad de traslación a lo largo del eje Ox), en un sistema de referencia espacial Oxyz),
 - la velocidad de traslación a lo largo del eje Oy),
 - la velocidad de traslación a lo largo del eje de Oz),
 - la velocidad de rotación alrededor del eje Ox),
 - 30 - la velocidad de rotación alrededor del eje Oy),
 - la velocidad de rotación alrededor del eje de Oz),
- ¿Aparición de rizalís en el marco de este tratamiento?

En particular, las velocidades de desplazamiento se pueden haber evaluado mediante el análisis de imágenes adquiridas por medio de un escáner convencional.

- 35 La imagen de tomografía computarizada de haz cónico es preferiblemente una imagen adquirida al principio del tratamiento.

Después de entrenar un dispositivo de aprendizaje profundo, preferiblemente una red neuronal, con esta base de datos de aprendizaje, se le presenta la representación del análisis dental de un paciente, concretamente una imagen de tomografía computarizada de haz cónico, preferiblemente al inicio del tratamiento.

- 40 La descripción de análisis incompleta de la representación del análisis dental también se somete al dispositivo de aprendizaje profundo, la descripción de análisis contiene valores de atributos para al menos aquellos atributos cuyos

valores constituyen las descripciones históricas de las estructuras dentales históricas, con la excepción del atributo "¿ocurrencia de rizalís en el marco de este tratamiento? En otras palabras, se indica al dispositivo de aprendizaje profundo cuáles son los valores de los siguientes atributos de la representación del análisis dental:

- tratamiento seguido;
- 5
- para cada diente representado:
 - tipo de diente;
 - la velocidad de traslación a lo largo del eje Ox), en un sistema de referencia espacial Oxyz),
 - la velocidad de traslación a lo largo del eje Oy),
 - la velocidad de traslación a lo largo del eje de Oz),
- 10
- la velocidad de rotación alrededor del eje Ox),
 - la velocidad de rotación alrededor del eje Oy),
 - la velocidad de rotación alrededor del eje de Oz).

El primer atributo es, por tanto, la "aparición de rizalís en el marco de este tratamiento".

- 15
- A partir de este conjunto de información, el dispositivo de aprendizaje profundo proporciona una probabilidad para cada uno de los posibles valores del primer atributo, es decir, una probabilidad de que el valor sea "sí" y una probabilidad de que el valor sea "no". De este modo, es posible determinar una probabilidad de aparición de rizalís sin tener que adquirir una nueva imagen de tomografía computarizada de haz cónico.

- 20
- La evaluación de un riesgo de rizalís no constituye un diagnóstico. Sin embargo, permite detectar situaciones de riesgo. Para establecer un diagnóstico, sigue siendo necesario realizar una adquisición tomográfica. Sin embargo, la invención permite limitar considerablemente estas adquisiciones tomográficas al detectar situaciones de riesgo.

La invención permite de este modo anticiparse a la aparición de la rizalís.

Por último, como queda claro, la invención permite al ortodoncista beneficiarse de un conocimiento exhaustivo de la situación dental del paciente, lo que limita el riesgo de que se realicen procedimientos innecesarios o perjudiciales.

Por supuesto, la invención no se limita a las formas de realización descritas y mostradas anteriormente.

- 25
- En particular, el paciente no se limita a un ser humano. Un método de acuerdo con la invención se puede utilizar para otro animal.

REIVINDICACIONES

1. Método de análisis de una representación de análisis dental que representa, en varias dimensiones, una arcada dental de un paciente actual, comprendiendo, dicho método, ejecutado por ordenador, las siguientes etapas:

5 1) creación de una base de datos de aprendizaje con más de 1.000 estructuras dentales históricas, comprendiendo cada estructura dental histórica

- una representación dental histórica de una arcada de un paciente histórico en varias dimensiones, y
- una descripción histórica con los siguientes atributos:
 - un tratamiento de ortodoncia en el marco del cual se adquirió dicha representación dental histórica
 - una identificación de los dientes mostrados en dicha representación dental histórica
 - 10 - una velocidad de desplazamiento de estos dientes
 - información sobre la aparición de rizalisis en el marco de este tratamiento,

2) entrenar al menos una red neuronal mediante la base de datos de aprendizaje, permitiendo que la red neuronal aprenda gradualmente a reconocer patrones en una representación dental y a asociarlos con valores de atributos;

15 3) presentar a dicha red neuronal la representación del análisis dental y un descriptor del análisis que comprenda valores de atributos para al menos los atributos cuyos valores constituyen los descriptores históricos de las estructuras dentales históricas, con la excepción del atributo de información relativo a la aparición de rizalisis, de manera que la red neuronal determine para dicha representación de análisis dental al menos un valor para el atributo de información relativo a la aparición de rizalisis en el marco de este tratamiento.

20 2. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la representación del análisis dental y las representaciones dentales históricas representan, al menos en tres dimensiones, dicha arcada dental.

3. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la representación del análisis dental y las representaciones dentales históricas

- son todas una imagen, o
- son todas grupos de imágenes, o
- 25 - son todas modelos digitales tridimensionales, o
- son todas hologramas.

30 4. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que la representación del análisis dental y las representaciones dentales históricas comprenden grupos de imágenes adquiridas de forma simultánea, o adquiridas de forma sucesiva, habiendo sido adquiridas al menos dos de dichas imágenes adquiridas de forma sucesiva con más de un mes de diferencia.

5. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos un valor de un atributo de una primera representación dental histórica se determina mediante los valores de uno o más atributos de una o más representaciones dentales históricas adquiridas previa o posteriormente.

35 6. Método de acuerdo con la reivindicación inmediatamente anterior, en el que al menos un valor de un atributo de una representación dental histórica se determina mediante los valores de uno o más atributos de un modelo digital tridimensional deformado resultante de una deformación de un modelo digital tridimensional inicial generado mediante un escáner óptico.

40 7. Método de acuerdo con la reivindicación inmediatamente anterior, en el que dicha deformación se determina de manera que el modelo digital tridimensional deformado tenga la máxima concordancia con la representación dental histórica.

8. Método de acuerdo con la reivindicación inmediatamente anterior, en el que dicha concordancia máxima se busca

- i) buscando una observación de un modelo digital tridimensional a probar, elegido inicialmente como modelo digital tridimensional inicial, que tiene la mejor concordancia con la representación dental histórica y, a continuación,
- ii) deformando el modelo digital tridimensional a probar y, a continuación, repitiendo la etapa i) hasta obtener un modelo digital tridimensional a probar que permita una observación que tenga la máxima concordancia con la representación dental histórica.
- 5
9. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que las velocidades de desplazamiento se evalúan mediante el análisis de imágenes adquiridas por medio de un escáner.
10. Método de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la representación del análisis dental y las representaciones dentales históricas son todas una imagen de tomografía computarizada de haz cónico.
- 10
11. Método de acuerdo con la reivindicación inmediatamente anterior, en el que en la etapa 3) la imagen de tomografía computarizada de haz cónico se adquiere al principio del tratamiento.
12. Método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la descripción del análisis comprende para cada diente representado un tipo de diente, y las siguientes velocidades de desplazamiento, en un sistema de referencia espacial Oxyz): una velocidad de traslación a lo largo del eje Ox), una velocidad de traslación a lo largo del eje Oy), una velocidad de traslación a lo largo del eje Oz), una velocidad de rotación a lo largo del eje Ox), una velocidad de rotación a lo largo del eje Oy), una velocidad de rotación a lo largo del eje Oz).
- 15
13. Método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la red neuronal proporciona una probabilidad para cada uno de los posibles valores del atributo de información relativo a la aparición de rizalísis.

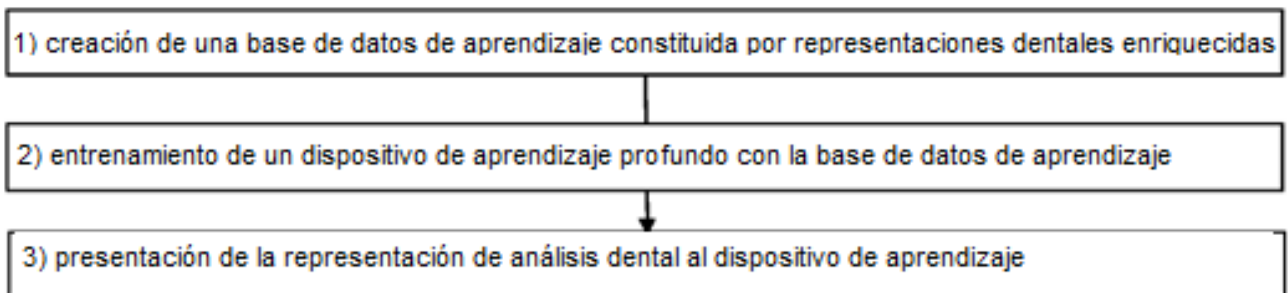


Fig. 1