

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 810**

51 Int. Cl.:

**G06T 7/00** (2007.01)

**A61C 13/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.12.2011 PCT/EP2011/006256**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.08.2012 WO12107069**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.12.2011 E 11794651 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2017 EP 2673747**

54 Título: **Método y sistema de análisis para el análisis geométrico de datos de exploración de estructuras orales**

30 Prioridad:

**10.02.2011 DE 102011010975**

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

**31.07.2017**

73 Titular/es:

**STRAUMANN HOLDING AG (100.0%)  
Peter Merian-Weg 12  
4002 Basel, CH**

72 Inventor/es:

**TANK, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 627 810 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 y sistema de análisis para el análisis geométrico de datos de exploración de estructuras orales

La invención se refiere a un método para el análisis geométrico de datos de exploración de estructuras orales, que se puede emplear sobre todo en el marco de la tecnología dental. Las informaciones calculadas tienen una importancia básica para la fabricación de piezas postizas dentales o de piezas de restauración dentales a través de sistemas CAD/CAM dentales. Tales sistemas se han establecido entre tanto en la cirugía dental y en la técnica dental, de manera que en los documentos de patentes ejemplares DE 10 2007 033998 A1, WO 2004/044787 A2, US 5217375A, US 7708560 B2, US 7581953 B2, EP 06 34 150 A1, EP 09 13 130 A2, DE 10 2005 033 738 A1 y WO 0239056 A1 se encuentran descripciones de tales sistemas. Pero también en otros campos de la tecnología dental digital tiene una importancia fundamental un análisis geométrico de datos de exploración de estructuras orales. Los resultados se pueden utilizar de manera conveniente, por ejemplo, en el campo de la implantología o de la ortopedia maxilar, pero también para la optimización del proceso de medición de estructuras orales, siendo realizado el análisis de los datos de exploración durante la medición e influyendo los resultados en el proceso de medición. Por estructuras orales se entienden en el marco de la presente invención dientes con sus estructuras anatómicas adyacentes, como carne dental, hueso maxilar, trayectorias de los nervios, pero también estructuras no naturales, como implantes, estribos, otros sistemas de anclaje, corchetes, registros de dentellada estáticos así como funcionales, etc. Además, la invención se refiere a un método para la generación de una base de datos de modelos para la utilización en un método de este tipo así como a un sistema de análisis para el análisis geométrico de datos de exploración de estructuras orales.

En el campo de la tecnología dental digital se determinan datos de exploración de estructuras orales sobre todo por medios ópticos o radiográficos. Están muy extendidos y son económicos escáneres ópticos, que miden directamente estructuras superficiales intraorales o deformaciones extraorales de estructuras superficiales orales tridimensionalmente. En general, se obtienen datos superficiales triangulados, que se pueden registrar en sistemas abiertos en el formato-STL. Por medio de escáner radiológico, como tomografías por ordenador (CT) o tomografías digitales de volumen (DVT) se generan conjuntos de datos de volumen de estructuras orales a través de la utilización de rayos-X. Como fichero de formato generalmente aceptado se ha impuesto aquí el formato DICOM a partir de la formación de imágenes de la medicina.

Para una optimización de la medición y/o para la planificación adicional de la investigación y/o para la creación del diagnóstico y/o para la planificación del tratamiento deben analizarse geoméricamente estos datos de exploración en muchos casos ya durante la investigación o inmediatamente después de la investigación. Un papel esencial en el análisis de datos de exploración juega la llamada "segmentación" de estructuras geométricas. Durante tal segmentación se descomponen los datos de exploración del objeto de investigación de tal manera que determinados objetos parciales de un objeto de investigación, es decir, determinadas estructuras geométricas, que están en el foco de la investigación respectiva, son separados de los datos de exploración restantes. Un ejemplo ilustrativo a este respecto es la separación de los dientes entre sí y de la carne dental o bien del hueso maxilar, así como la asociación de números de dientes a los dientes separados. Pero también se pueden separar estructuras no naturales, como implantes, corchetes, etc. a través de una segmentación de los restantes datos de exploración.

En el campo de las prótesis se utilizan, en virtud de la alta precisión necesaria en la determinación o bien el cálculo de restauraciones dentales virtuales, en general, datos de exploración óptica. Por piezas de restauración dentales se comprenden en el marco de la presente invención cualquier tipo de tipo de objetos fabricables para el suministro de defectos dentales. Por ejemplo, se mencionan aquí incrustaciones, fundas, coronas parciales, coronas telescópicas, puentes, enchapados, estructuras de implantes, prótesis parciales y prótesis. Aquí hay que subrayar de nuevo que en el marco de la presente invención, también las piezas postizas dentales caen, para mayor simplicidad, bajo el concepto de piezas de restauración dental. Por el concepto de la "restauración dental virtual" (designado a continuación también de manera más abreviada como "restauración dental") deben entenderse representaciones electrónicas de restauración dental, es decir, representaciones tridimensionales digitales de tales piezas de restauración dental. Para la fabricación de una pieza de restauración dental se transmite entonces, por ejemplo, un conjunto de datos CAD/CAM de la restauración dental virtual correspondiente a una máquina de fabricación.

Durante la eliminación de defectos dentales tiene lugar, en general, una preparación de los dientes, es decir, que se eliminan caries, material de relleno antiguo o partes de dientes defectuosas. Permanece para cada diente la sustancia dental restante, cuya superficie se divide en una porción preparada (cavidad) y una porción no preparada. La línea límite entre la superficie no preparada del diente y la superficie preparada del diente se designa en este caso como línea de preparación. Como complemento a las líneas de preparación presentes solamente en dientes preparados, cada diente posee al menos una línea de segmentación, que separa un diente de estructuras extradentales como por ejemplo la carne del diente y/o el hueso maxilar y/o los dientes vecinos. Es decir, que una línea de segmentación es un ejemplo de otra línea límite. A partir de estas definiciones resulta que las líneas de segmentación y/o las líneas de preparación delimitan superficies no preparadas de los dientes.

También en el campo de la ortopedia maxilar tiene una importancia básica el conocimiento de líneas de

segmentación. A través de estas líneas límites se pueden separar los dientes de la carne del diente y de los dientes vecinos y posibilitar de esta manera también una planificación de tratamiento ortopédico maxilar, en la que por ejemplo se colocan los dientes separados de manera virtualmente óptima. Para tal colocación óptima de los dientes es importante también el conocimiento de puntos de referencia anatómicos (cantos de corte, excrescencias de los dientes, fisuras, etc.) y los ejes de los dientes.

En el marco de la presente invención, el concepto de "análisis geométrico" de datos de exploración comprende la segmentación de estructuras orales, la determinación de líneas de segmentación y de preparación, pero también la determinación de puntos de referencia anatómicos, ejes de los dientes, designaciones de la dirección, regiones de la superficie y otras estructuras geométricas características. En este caso, un análisis geométrico de datos de exploración radiológicos puede comprender también la segmentación del maxilar superior o bien del maxilar inferior con los desarrollos de los nervios que pertenecen a los dientes. Este análisis es especialmente importante para la planificación de implantes dentales. En sentido amplio, un análisis geométrico de datos de exploración comprende también la adaptación de modelos dentales deformables geoméricamente a los datos de exploración. Este proceso de adaptación se puede considerar como medida preparatoria para el análisis geométrico propiamente dicho.

En virtud de la estructura complicada de los datos de exploración, el análisis geométrico interactivo con la ayuda de una superficie gráfica de usuario es a menudo difícil de realizar y una unido con un gasto de tiempo alto. Una mejora representa la aplicación de métodos basados en modelos, en los que los conocimientos previos morfológicos sobre los dientes, eventualmente con sus estructuras anatómicas adyacentes, entran en el análisis geométrico.

Sobre todo en el campo de la medicina se describen métodos, que posibilitan una segmentación basada en modelos de los datos de exploración. Así, por ejemplo, el documento DE 103 57 206 B4 describe un método de segmentación especial para estructuras anatómicas del hombre. Pero tales principios del campo de la medicina no se pueden transferir fácilmente a la situación especial en la medicina dental. Allí se preparan con frecuencia dientes, es decir, que están presentes sólo partes de los dientes a detectar y los datos de exploración son generados, en general, ópticamente entonces, en virtud de la alta precisión necesaria. En los datos medidos de esta manera es especialmente importante también la detección precisa de líneas de segmentación y de líneas de preparación.

En el documento DE 10 2007 033998 se describe un modelo de coronas, que ya sido creado ya a partir de datos explorados, que se adapta el modelo dental genérico (una especie de "modelo dental residual", es decir, un diente sin corona), para generar un modelo general (que está constituido de diente residual y corona). Por lo tanto, se adaptan entre sí dos objetos compatibles entre sí, diente residual y corona, pero no se segmentan en primer lugar los datos de exploración sobre la base del modelo dental individualizado o se calcula una línea límite. De la misma manera se presupone aquí también como ya conocida la curva gingival en la adaptación del modelo dental o bien se calcula a través de métodos convencionales.

El objetivo del documento WO 2004/044787 es una modelación parametrizada de restauraciones dentales; no de líneas límites (líneas de preparación y de segmentación).

Un cometido de la presente invención es describir un método y un sistema de análisis para el análisis geométrico sencillo y seguro de datos de exploración de estructuras orales, que permite de una manera satisfactoria el análisis con la menos interacción posible del usuario y gasto de tiempo reducido.

Este cometido se soluciona por medio de un método de acuerdo con la reivindicación 1 de la patente así como por medio de un sistema de análisis de acuerdo con la reivindicación 15 de la patente.

En el marco de la presente invención se entienden muy en general los conceptos básicos tipo de diente, modelo de diente y tipo de preparación. Un tipo de diente se define en el marco de la invención como una posibilidad de agrupación muy general de dientes. Por ejemplo, se puede realizar una agrupación según el número de dientes y/o la edad y/o la abrasión y/o la pertenencia popular y/o el sexo y/o según particularidades morfológicas (número de raíces, número de excrescencias, etc.). Pero la agrupación se puede realizar también a través de la pertenencia a los dientes delanteros, colmillos, premolares, molares o al maxilar superior o bien al maxilar inferior. También es posible una agrupación de dientes de diferentes números de dientes para formar un tipo de diente complejo. En este lugar hay que subrayar que en la práctica se prefiere la agrupación sobre el número de diente, es decir, que el tipo de diente y el número de diente se pueden utilizar entonces como sinónimos.

De la misma manera se utiliza muy en general el concepto de modelo dental. Un modelo dental puede estar constituido en este caso por varios modelos parciales, que describen, por ejemplo, estructuras anatómicas como superficies de los dientes, carne del diente, hueso maxilar, estructuras nerviosas, etc., pero también estructuras no naturales como implantes, estribos, otros sistemas de anclaje, corchetes, etc. Además, un modelo dental puede contener también líneas límites, puntos de referencia anatómicos, ejes dentales, designaciones de la dirección, regiones superficies y otras estructuras geométricas características. Es importante que se modelen al menos aquellas porciones de los dientes, que son necesarias para el análisis geométrico de datos de exploración. Los otros

modelos parciales sirven con preferencia sobre todo para la estabilización del proceso de individualización, puesto que éstos se pueden adaptar a estructuras correspondientes en los datos de exploración. Las líneas límites más importantes son en este caso las líneas de segmentación y de preparación ya descritas. Pero también se pueden utilizar otras líneas límites. Por ejemplo, líneas de separación, que separan zonas de adaptación de estructuras modeladas no naturales entre sí. Una utilización de tales líneas se ofrece, por ejemplo, en la detección de implantes en los datos de exploración. Un modelo parcial de implante se puede separar, por ejemplo, a través de una línea de separación en una zona de adaptación activa fuera del hueso maxilar y una zona de adaptación inactiva dentro del hueso maxilar. Tal modelo parcial de implante puede encontrar aplicación entonces en el análisis geométrico de los datos de exploración como modelo parcial de un modelo dental.

En el marco de la presente invención, también el concepto de tipo de preparación se entiende en sentido muy general, además de los tipos de preparación de incrustación, capa exterior, corona parcial, corona, puente y enchapado, se puede utilizar también el concepto "diente" como tipo de preparación. El tipo de preparación de "diente" sirve para la descripción de una situación, en la no existe ninguna preparación. Este modo de proceder es especialmente conveniente cuando debe indicarse el tipo de preparación para cada diente en un conjunto de datos de exploración. Por ejemplo, en un conjunto de datos de exploración pueden estar contenidos además de una preparación de la incrustación y una preparación de la corona, varios dientes no preparados. Éstos se pueden describir entonces por el tipo de preparación "diente". Un tipo de preparación más importante sobre todo en el marco de la implantología es el tipo de preparación de implante. Puede encontrar aplicación con preferencia en situaciones, en las que al menos partes de implantes están contenidas en los datos de exploración. Por ejemplo, en la indicación del tipo de preparación de implante para un tipo de diente se puede utilizar un modelo dental correspondientes para el análisis geométrico de los datos de exploración, en el que está contenido un modelo parcial de implante. Otra diferenciación del tipo de preparación de implante es posible, por ejemplo, por que se añaden designaciones para el tipo de implante exacto. Entonces se puede introducir un modelo parcial de implante – por ejemplo en forma de un conjunto de datos-CAD – del implante presente físicamente al mismo tiempo en el análisis geométrico.

Para el análisis geométrico de datos de exploración de estructuras orales se selecciona de acuerdo con la invención de manera correspondiente a los datos de exploración a analizar una pluralidad de modelos dentales parametrizados de tipos dentales deseados, de manera que la parametrización se realiza con la ayuda de parámetros de modelos, que comprenden los parámetros de posición y/o de forma y parámetros lineales y de manera que cada modelo dental contiene al menos una línea límite parametrizada, cuyo desarrollo se describe a través de los parámetros lineales y que divide un modelo dental en al menos una zona de adaptación activa y al menos una zona de adaptación inactiva.

Los modelos dentales presentes para el análisis geométrico pueden estar depositados en una base de datos de modelos. Entonces puede tener lugar una selección de modelos dentales, de tal manera que los tipos de dientes presentes de una base de datos de modelos son conducidos para la selección a una unidad de selección y con la ayuda de una señal de selección, por ejemplo a través de la utilización de una superficie gráfica de usuario, se seleccionan los tipos de dientes deseados. Esta selección se puede configura de manera resumida a través de la utilización de un esquema dental gráfico. El alcance de los modelos dentales utilizados debería corresponder con preferencia al alcance de los dientes escaneados, para que se analice la mayor cantidad posible de sustancia dental a través del método. Es decir, que se utilizan, en general, varios modelos dentales de diferentes tipos de dientes para el análisis geométrico. Pero como caso especial se puede seleccionar también sólo un único modelo dental.

En este caso, con preferencia seis parámetros de posición de un modelo dental describen la posición espacial y la orientación de un modelo dental en los datos de exploración. Las variaciones de la forma anatómicamente convenientes de los modelos dentales se generan a través de transformaciones geométricas parametrizadas, que se pueden diferenciar de un modelo dental a otro y se depositan en la base de datos de modelos. Es decir, que el número de los parámetros de la forma se puede variar de un modelo dental a otro. Además, los parámetros de modelos pueden comprender además de los parámetros de la posición y/o la forma, otros parámetros, que parametrizan, por ejemplo, regiones superficiales y/o propiedades del material.

De acuerdo con la invención, los modelos dentales con sus líneas límites se adaptan para la individualización a los datos de exploración, siendo realizada la individualización a través de la variación de parámetros de modelos y siendo ponderadas las zonas de adaptación activas de los modelos dentales más fuertes que las zonas de adaptación inactivas. Por individualización se entiende una adaptación de modelos dentales a datos de exploración, debiendo mantenerse lo mejor posible los criterios de individualización, como por ejemplo la adaptación de modelos dentales a estructuras objetivas adecuadas en los datos de exploración y/o el acoplamiento geométrico de modelos dentales entre sí. La distinción de acuerdo con la invención de zonas de adaptación activas e inactivas juega un papel central en la adaptación de los modelos dentales a los datos de exploración. Así, por ejemplo, los datos de exploración óptica no comprenden normalmente porciones por debajo de la carne del huso y el espacio interdental está contenido a menudo sólo parcialmente en virtud del principio de medición óptica. A través de la definición de acuerdo con la invención de zonas de adaptación activas se asegura que toda la zona activa del modelo se pueda adaptar totalmente a los datos de exploración. Las porciones del modelo, que no tienen correspondencias en los

datos de exploración, se excluyen a través de la inactivación de del proceso de adaptación o bien se ponderan menos. De esta manera, se consigue una estabilización considerable de la individualización de modelos.

Finalmente sobre la base de los modelos dentales individualizados con sus líneas límites individualizadas se segmentan los datos de exploración y/o al menos se determina una línea límite en los datos de exploración. Los métodos correspondientes son conocidos por el técnico. Durante la segmentación se pueden seleccionar, en principio, todos los datos de exploración (por ejemplo, vértices en datos de exploración ópticos, Voxel en datos de exploración radiológicos) dentro de los datos de exploración y se les puede asociar opcionalmente un número de segmentación, que está dentro del contorno de un modelo dental correspondiente o de una modelo dental parcial correspondiente o como máximo se desvían de ellos en un valor diferencial determinado. La selección se puede realizar en este caso de tal forma que se retiran los elementos de exploración respectivos o se retiran todos los elementos de exploración restantes, es decir, que se recortan los elementos de exploración respectivos. Por "modelo dental parcial" se entiende en este caso una parte de un modelo dental individualizado, por ejemplo la superficie de oclusión. Las cavidades eventualmente presentes en los datos de exploración se caracterizan por que los elementos de exploración correspondientes se encuentran significativamente dentro de un modelo dental individualizado y se limitan por una línea de preparación individualizada.

La determinación de líneas límites en los datos de exploración se puede realizar a través de una transmisión de las líneas límites individualizadas desde los sistemas de coordenadas de los modelos dentales hasta el sistema de coordenadas de los datos de exploración. Opcionalmente puede tener lugar también todavía una adaptación fina de las líneas límites transmitidas a los datos de exploración. Así, por ejemplo, las líneas de segmentación transmitidas presentan en los datos de exploración óptica todavía distancias reducidas con respecto a las superficies medidas en los datos de exploración. A través de la adaptación fina, en la que se adaptan, por ejemplo, los puntos de apoyo de las líneas de segmentación a las superficies medidas, se puede realizar una determinación precisa de las líneas de segmentación en los datos de exploración.

El método de acuerdo con la invención permite emplear los modelos dentales con gasto de cálculo practicable y a ser posible de manera automática. En particular, en virtud de la estructura especial de los modelos dentales, el método se puede emplear para la segmentación automática y/o para la determinación de líneas límites. Esto se consigue a través de la estabilización de la individualización por medio de la adaptación simultánea de modelos dentales en el plano global y la adaptación de líneas límites en el plano local.

Las reivindicaciones dependientes así como la descripción siguiente contienen en cada caso configuraciones y desarrollos especialmente ventajosos de la invención, pudiendo desarrollarse especialmente el sistema de análisis de acuerdo con la invención también de manera similar a las características de las reivindicaciones dependientes del método. Además, en el marco de la invención se pueden combinar también las diferentes características de diferentes ejemplos de realización para formar nuevos ejemplos de realización.

Con preferencia, la individualización de modelos dentales se realiza a través de la definición y solución de un problema de optimización. Para la solución del problema de optimización se varían parámetros del modelo hasta que se cumple mínimamente el valor de optimización o se cumple un criterio de rotura. En este caso, el valor de optimización del problema de optimización se puede componer de manera especialmente preferida a partir de una pluralidad de valores parciales de optimización, que corresponden en cada caso a determinados criterios de individualización deseados. Con preferencia, esto se realiza a través del cálculo de una suma ponderada de los valores parciales de optimización. Los pesos posibilitan en este caso un control de la influencia de los criterios de individualización individuales. De esta manera se obtiene un valor de optimización para un conjunto de parámetros de modelos.

Los valores parciales de optimización preferidos describen la adaptación de los modelos dentales a los dientes y/o a las sustancias del diente residual, es decir, que las superficies dentales modeladas de los modelos dentales deben cubrirse de la mejor manera posible con las superficies dentales no preparadas correspondientes de los datos de exploración. A tal fin, se puede calcular una estructura objetiva en los datos de exploración, cuyo tipo de cálculo depende sobre todo de la modalidad a registrar. Especialmente sencilla es la situación en datos de exploración ópticos, donde la superficie medida se puede utilizar directamente como estructura objetiva. Es relativamente sencilla la determinación de la estructura objetiva en datos de exploración CT/DVT, que se generan a través de rayos-X. Allí se ofrece la utilización de un método de valor umbral, en el que los valores de la intensidad (medidos en unidades de Hounsfield) de los elementos de exploración individuales se analizan para determinar si exceden un valor umbral determinado. Las estructuras radiológicamente densas, como sustancia dental y huesos, se pueden seleccionar de esta manera fácilmente y se pueden utilizar como estructura objetiva. Un poco más costosos son los cálculos en datos de exploración MR, donde con preferencia encuentran aplicación métodos de análisis del contorno, que trabajan sobre la base de gradientes de elementos de exploración vecinos. Como resultado se obtiene para todas las modalidades una estructura objetiva superficial en los datos de exploración, que se puede utilizar como estructura objetiva para los modelos dentales.

Para que esta estructura objetiva sea especialmente adecuada para la individualización de líneas de segmentación y de líneas de preparación, se utilizan con preferencia informaciones sobre curvaturas superficiales locales. Métodos de cálculo correspondientes son conocidos por el técnico. Este conocimiento de curvaturas superficiales tiene ventajas básicas para la individualización de líneas límites. Por último, las líneas de segmentación y las líneas de preparación de los dientes escaneados se caracterizan por que conectan elementos de exploración con curvaturas superficiales cóncavas o bien convexas lo más fuertes posibles para formar una línea.

Otros valores parciales de optimización preferidos describen la adaptación de los modelos dentales al dentado opuesto y/o a registros estáticos de dentellada y/o a registros funcionales de dentellada. Durante el cálculo de estos valores parciales de optimización se puede incluir al mismo tiempo opcionalmente también el movimiento maxilar. Otro valor parcial de optimización describe la adaptación de los modelos dentales a estructuras orales no naturales, por ejemplo a implantes o corchetes. Las estructuras objetivas correspondientes se pueden construir especialmente en datos de exploración radiológica CT/DVT en general a través de métodos de valores umbrales. Otro criterio de individualización se refiere a la estabilidad mecánica de las restauraciones de dientes, que se puede obtener a partir de los modelos dentales y los datos de exploración. El valor parcial de optimización correspondiente describe con preferencia la estabilidad mecánica de las restauraciones de dientes y, por lo tanto, se puede utilizar también para la evaluación de las calidades de preparaciones dentales realizadas. Pero además de estos criterios funcionales de individualización indicados de forma ejemplar, se pueden tener en cuenta también criterios estéticos de individualización, que son importantes sobre todo para restauraciones de dientes en la zona frontal de los dientes. Así, por ejemplo, se puede preferir una forma especial (rectangular, triangular, cuadrada, en forma de paleta, etc.) de los dientes incisivos superiores. El valor parcial de optimización correspondiente puede describir las desviaciones de los modelos dentales con respecto a las formas preferidas.

Como se ha explicado anteriormente, en general, se seleccionan varios tipos de dientes para el análisis geométrico de datos de exploración, pudiendo individualizarse entonces grupos de modelos dentales. Para la estabilización de la individualización es ventajoso acoplar modelos de dientes dentro de un grupo. A cada grupo de acoplamiento formado de esta manera pertenece con preferencia otro valor parcial de optimización. Grupos de acoplamiento posibles son, por ejemplo, grupos de acoplamiento de contacto, de capas y de formas, cuyos valores parciales de optimización de contacto, de capas y de formas correspondientes describen las relaciones de contacto, de capas y de formas de los modelos dentales implicados. Tales grupos de acoplamiento posibilitan, por ejemplo, el cálculo de la sustancia dental de un tipo de diente a partir de las sustancias dentales de otros tipos de dientes, acoplando, por ejemplo, las formas geométricas de modelos de dientes. Esto es especialmente importante en el análisis geométrico de preparaciones de coronas o bien de puentes.

Por ejemplo, en una preparación de puentes, faltan los dientes N° 14 y N° 15, estando presentes los dientes N° 13 y N° 16 sin preparar. (Los números son aquí los números de dientes habituales del esquema dental FDI). El problema es ahora deducir a partir de los dientes adyacentes al hueco dental las formas de los dientes que faltan. A tal fin, se puede formar un "grupo de acoplamiento de las formas" de los modelos dentales para los dientes N° 13 a N° 16. En el transcurso de la individualización de los modelos dentales tiene lugar una adaptación de modelos dentales para los dientes N° 13 t N° 16 a la sustancia dental existente, lo que no es posible, en cambio, con los modelos dentales para los dientes N° 14 y N° 15, puesto que, en efecto, no está presente ninguna sustancia dental correspondiente para la adaptación. Es decir, que las formas de los modelos dentales para los dientes N° 14 y N° 15 no se pueden obtener directamente a través de la adaptación a los datos de exploración. Este problema se soluciona en el marco de la invención, por ejemplo, por que las formas de los modelos dentales para los dientes N° 14 y N° 15 se obtienen indirectamente a partir de las formas de los modelos dentales para los dientes N° 13 y N° 16. Esto se puede conseguir por que en la individualización de los modelos dentales entra un valor parcial de optimización de las formas, que describe el acoplamiento de las formas naturales de modelos dentales. A través de la formación de una base de datos de modelos sobre la base de datos de exploración de probandos se conocen las relaciones de las formas de los dientes. En el caso del ejemplo descrito, para los modelos de dientes para los dientes N° 13 y N° 16 se puede determinar aquel conjunto de datos de exploración de probandos que se ajusta mejor a los modelos dentales para los dientes N° 13 y N° 16. Los modelos dentales de los probandos correspondientes Para los dientes N° 14 y N° 15 se pueden considerar entonces como los modelos dentales buscados para la preparación de los puentes. El valor parcial de optimización de las formas describe entonces la desviación de la forma de los modelos dentales para los dientes N° 14 y N° 15 con respecto a los modelos dentales de los probandos para los dientes N° 14 y N° 15.

El alcance de un grupo de acoplamiento se puede establecer, en principio, a través de una cantidad discrecional de diferentes tipos de dientes a partir de la cantidad de los tipos de dientes deseados (por ejemplo, a través de los tipos de dientes N° 13 a N° 18 o, por ejemplo, a través de los tipos de dientes N° 15 y N° 26), es decir, que los modelos dentales correspondientes no tienen que estar necesariamente adyacentes. Además, se puede asociar un modelo dental al mismo tiempo también a varios grupos de acoplamiento, por ejemplo a un grupo de acoplamiento de formas y a un grupo de acoplamiento de contacto.

Si los modelos dentales están vecinos, entonces se acoplan los modelos dentales vecinos con preferencia a un "grupo de acoplamiento de contacto" de tal manera que el valor parcial de optimización correspondiente describe la

situación de contacto de los modelos dentales vecinos. Por ejemplo, se puede obtener el valor parcial de optimización de contacto a partir de las distancias mínimas de modelos dentales vecinos. Así, por ejemplo, en el caso de una preparación de puentes es deseable que estos valores de la distancia y, por lo tanto, el valor parcial de optimización de contacto para los modelos dentales de la construcción de puente sean cero, es decir, que los modelos dentales del grupo de acoplamiento de contacto correspondiente deben tocarse al menos en un punto.

Además de los grupos de acoplamiento de contacto y de las formas, se pueden formar también "grupos de acoplamiento de las posiciones", de tal manera que a partir de ello resultan relaciones de las posiciones anatómicamente convenientes de los modelos dentales entre sí en el marco de la individualización. A tal fin, parámetros de las posiciones de un grupo de acoplamiento de las posiciones pueden definir relaciones de las posiciones deseadas de los modelos dentales correspondientes. El valor parcial de optimización para las posiciones relativas de modelos dentales resulta con preferencia a partir de las relaciones espaciales de puntos de referencia anatómicos de los modelos dentales. Los parámetros de las posiciones pueden describir en este caso relaciones deseadas de los puntos de referencia entre sí y a partir de las desviaciones de estas relaciones se puede calcular el valor parcial de optimización para las relaciones de las posiciones. Como ejemplo se indica aquí la alineación de los cantos de corte de los modelos dentales en la zona den diente frontal. Aquí se pueden considerar todos los dientes frontales respectivos como miembros de un grupo de acoplamiento de las posiciones. Aunque las formas de los modelos dentales pueden variar aquí fuertemente (rectángulo, triángulo, etc.), resulta el requerimiento de que los puntos de referencia de los cantos de corte de los modelos dentales deben estar sobre una curva parametrizada a través de los parámetros de las posiciones, una buena alineación de los cantos de corte de los modelos dentales en la zona de los dientes frontales.

De manera similar se comporta con un valor parcial de optimización, que describe las relaciones espaciales de las formas de modelos dentales. Por ejemplo, se puede formar una base de datos de modelos a partir de exploraciones maxilares de probandos, de manera que los modelos dentales generados a partir de la exploración maxilar se corresponden entre sí, puesto que todos proceden de un probando. El valor parcial de optimización para el acoplamiento de las formas de los modelos dentales describe entonces con preferencia las desviaciones de las relaciones de las formas naturales de los modelos dentales dentro de un grupo de acoplamiento. Por ejemplo, para un modelo dental de partida, que pertenece a un grupo de acoplamiento de las formas, se puede determinar un modelo dental de probandos por medio de la base de datos de modelos, que se diferencia morfológicamente poco del modelo dental de partida del grupo de acoplamiento de las formas. Para este modelo dental de probandos se pueden calcular entonces los modelos dentales de los probandos correspondientes, es decir, los modelos dentales que proceden del mismo probando. A partir de las desviaciones morfológicas de los modelos dentales del grupo de acoplamiento de las formas con respecto a los modelos dentales de los probandos correspondientes respectivos se puede calcular entonces un llamado "valor de desviación de correspondencia" para el modelo dental de partida del grupo de acoplamiento de las formas. Este proceso se repite con preferencia para cada modelo dental del grupo de acoplamiento y a partir de los valores de desviación de correspondencia se puede realizar una determinación del valor parcial de optimización para relaciones de formas.

El alcance de al menos un grupo de acoplamiento debería corresponder con preferencia al alcance de los dientes escaneados para que sea analizado el mayor número posible de sustancia dental y/o de sustancia dental residual a través del método. En particular, en las preparaciones dentales existentes, a partir de la sustancia dental y/o de la sustancia dental residual de todos los dientes escaneados se pueden deducir las formas de las restauraciones dentales. En este caso, cuanto mayor es el defecto dental para un tipo de diente, tanto más importante es el análisis de las sustancias dentales y/o de las sustancias dentales residuales. Pero especialmente cuando existe un defecto mínimo, por ejemplo en el caso de una preparación de incrustación sin implicación de excrecencia, entonces el método propuesto de acuerdo con la invención se caracteriza también con un único tipo de diente. Pero de manera alternativa, también en el caso de la utilización de varios tipos de dientes para el análisis de una situación con algunos defectos dentales y/o con ningún defecto dental, los valores parciales de optimización del acoplamiento son muy reducidos o incluso están ponderados con cero.

Para la estabilización de la individualización del modelo dental, el usuario puede marcar en una variante preferida del método interactivamente estructuras en los datos de exploración, para las que se calculan valores parciales de exploración, que describen las desviaciones de las estructuras marcadas con respecto a estructuras correspondientes de los modelos dentales. Estructuras marcables importantes en los datos de exploración son superficies no preparadas de dientes, sustancias de dientes residuales, líneas de segmentación o bien líneas de preparación de dientes escaneados, puntos de referencia anatómicos, estructuras orales no naturales, puntos de contacto con dientes vecinos y puntos de contacto con dentado opuesto. La individualización se estabiliza entonces por que las distancias de las estructuras marcadas con respecto a las estructuras correspondientes de los modelos dentales se reducen al mínimo durante la optimización. Este modo de proceder es especialmente conveniente cuando están presentes desviaciones normalizadas fuertes en los dientes escaneados, o sus posiciones relativas entre sí. Pero también pueden existir artefactos de medición en los datos de exploración o el desarrollo de las líneas de preparación no se define de manera inequívoca debido a preparaciones realizadas defectuosas.

La marcación interactiva de estructuras en los datos de exploración para el apoyo del proceso de individualización se realiza con preferencia por medio de entradas del ratón de una superficie gráfica de usuario. El tipo de la estructura a marcar depende en gran medida del criterio de individualización, siendo muy similar el tipo de cálculo del valor parcial de optimización en todos los criterios de individualización con interacción del usuario. Para el cálculo de los valores parciales de optimización se calculan en una variante preferida las distancias mínimas de las estructuras marcadas en los datos de exploración con respecto a las estructuras correspondientes de los modelos dentales. Un valor parcial de optimización resulta entonces a través de la suma de los cuadrados de tales valores de la distancia.

En una variante preferida del método, después de la determinación de los modelos dentales individualizados y antes de los otros análisis geométricos de los datos de exploración se realiza una adaptación fina de los modelos dentales individualizados con sus líneas límites individualizadas entre sí y/o a los datos de exploración. Esto es ventajoso por que la pluralidad de formas de los modelos dentales con sus líneas límites está limitada en la práctica por el número de los parámetros de las formas o bien los parámetros de las líneas y especialmente las líneas de preparación deberían calcularse con alta precisión. Es ventajosa la aplicación de transformaciones de deformación, que realizan un ajuste fino con valores de desplazamiento lo más reducidos posible y en este caso no se generan cantos o pliegues. Estas adaptaciones se pueden realizar de una manera similar a la individualización de los modelos dentales, encontrando aplicación como parámetros de optimización ahora los parámetros de estas transformaciones de deformación. El cálculo del valor mínimo de optimización se puede realizar inalterado a partir de valores parciales de optimización.

Los modelos dentales deformables geoméricamente en una base de datos de modelos pueden estar constituidos de acuerdo con diferentes principios. Puesto que en las estructuras objetivas en los datos de exploración se trata sobre todo de superficies límites, se ofrecen modelos superficiales como modelos dentales. La modelación geométrica de las superficies de los modelos se puede realizar a través de una triangulación sencilla o, en cambio, también a través de modelaciones más costosas de orden superior (modelos Bezier, modelos Nurbs y modelos B-Spline, etc.). En cambio, la utilización de modelos de volumen (modelos Voxel, modelos FEM, etc.) va unida con más gato de cálculo y de memoria que en los modelos superficiales. Con ellos se pueden modelar bien estructuras internas de dientes, pero también propiedades mecánicas. Es ventajosa la marcación de puntos de referencia anatómicos, ejes de dientes, designaciones de la dirección, regiones superficiales y/u otras estructuras geométricas características en los modelos dentales, puesto que estas marcaciones se pueden transferir después de la individualización con éxito de los modelos dentales sobre los datos de exploración. Sobre la base de estas estructuras geométricas individualizadas se puede realizar también un dimensionado de los datos de exploración.

Los modelos dentales de una base de datos de los modelos pueden estar presentes en diferentes fases de resolución. Entonces es ventajoso realizar el método de acuerdo con la invención en primer lugar con los modelos dentales de fase de resolución más amplia, siendo elevada la fase de resolución en las etapas posteriores después de la ejecución con éxito. Esto posibilita sobre todo un incremento de la velocidad del método. En este caso, la base de datos puede comprender, por ejemplo, también conjuntos completos de modelos dentales en diferentes fases de resolución o bien bases de datos parciales con fases de resolución diferentes, respectivamente. Después de una optimización completa, es decir, después de la individualización de modelos dentales a partir de la base de datos o de la base de datos parciales con una fase de resolución baja se realiza entonces el método de nuevo con una base de datos o base de datos parciales con una fase de resolución más alta. En este caso, los modelos dentales individualizados se pueden utilizar a partir de una ejecución precedente como modelos de partida para la ejecución siguiente. De la misma manera, en la solución del problema de la optimización se puede trabajar con diferentes fases de resolución.

Las transformaciones geométricas de modelos dentales se describen por medio de parámetros de formas, pudiendo realizarse esta parametrización de diferentes maneras. Con preferencia, encuentran aplicación transformaciones, en las que los parámetros de formas de los modelos centrales están dispuestos de acuerdo con su influencia sobre la geometría del modelo dental. Es decir, que los parámetros importantes de las formas están al comienzo de la lista de los parámetros de las formas y se optimizan en primer lugar durante la individualización del modelo dental antes de que se optimicen los parámetros de la forma, que parametrizan detalles de los modelos dentales. De esta manera se consigue un incremento de la velocidad y una estabilización de la individualización de los modelos dentales. La zona de definición de los parámetros de las formas no es en este caso con preferencia discrecional, sino que se determina con preferencia a través del análisis de datos de entrenamiento. De esta manera se consigue que sólo se generen modelos dentales anatómicamente convenientes a través de los parámetros de las formas. Especialmente ventajosa para el método propuesto de acuerdo con la invención es la utilización de campos de transformación tridimensionales parametrizados para los modelos dentales. Un campo de transformación tridimensional consta de vectores de desplazamiento para los vértices (puntos de apoyo) de un modelo dental. Estos vectores de desplazamiento se pueden parametrizar también como, por ejemplo, a través del desplazamiento parametrizado de puntos de referencia anatómicos de un modelo dental. Los vectores de desplazamiento de todos los vértices resultan entonces, por ejemplo, a partir de las distancias de los vértices con respecto a los puntos de referencia anatómicos desplazados. En cambio, en el caso de aplicaciones del método propuesto, en las que están en primer

plano menos los requerimientos de exactitud, sino más bien la rapidez en la obtención de resultados, es ventajosa la utilización de parámetros de formas, que corresponden a parámetros geométricos de construcción (por ejemplo, anchura del diente, profundidad del diente, distancias entre excrescencias, espesor de los cantos de corte, longitudes de las raíces, etc.).

5 Otra variante preferida del método de acuerdo con la invención se caracteriza por que las líneas límites están sobre las superficies de los modelos dentales y/o por que las líneas límites presentan una distancia parametrizada con respecto a las superficies de los modelos dentales y/o por que los parámetros lineales se seleccionan para que las líneas límites no se corten sino que mantengan una distancia mínima entre sí. La posibilidad de que las líneas límites presenten una distancia parametrizada con respecto a las superficies de los modelos dentales, eleva la pluralidad de desarrollo de las líneas límites. Este principio es especialmente conveniente cuando encuentran aplicación modelos dentales de una base de datos de modelos, que se ha obtenido a partir del análisis de una cantidad relativamente pequeña de datos de exploración de probandos. Hay que observar que los vértices de una línea límite pueden presentar, en general, diferentes distancias con respecto al modelo dental correspondiente. Es ventajosa la previsión de un valor máximo de la distancia para limitar las distancias y/o el cálculo de un valor parcial de optimización, que resulta a partir de los valores de la distancia. Se consigue una limitación conveniente de las parámetros de las líneas por que en el método de optimización se predetermina la condición marginal de que las líneas límites no se corten y/o deben mantener una distancia mínima entre sí. En el caso de un diente preparado, en general, la línea de preparación está por encima de la línea de segmentación o bien en casos especiales como máximo se tocan. La consideración de estas condiciones marginales conduce a una estabilización de la individualización de los modelos dentales.

En una variante especialmente preferida del método, las líneas límites de un modelo dental comprenden al menos una línea de segmentación y/o al menos una línea de preparación. En el caso de datos de exploración óptica, la línea de segmentación más importante describe la transición desde la sustancia del hueso hacia la carne del huso, que se caracteriza, en general, por una curvatura superficial cóncava. En el caso de datos de exploración radiológicos, se puede utilizar, además de esta línea de segmentación, también una línea de segmentación, que describe la transición desde la sustancia ósea hacia el hueso maxilar, de manera que esta transición se caracteriza también por curvaturas superficiales cóncavas. Otras líneas de segmentación pueden describir el contacto de dientes vecinos. Si no existe ningún contacto, tal línea de segmentación puede pasar a un punto, de manera que la zona de adaptación inactiva rodeada correspondiente posee el contenido superficial cero. En el caso de cuestiones ortopédicas maxilares, en los datos de exploración pueden estar contenidos, por ejemplo, también corchetes. Entonces es ventajoso describir la superficie de contacto los corchetes con los dientes por medio de líneas de segmentación correspondientes. También aquí la transición desde la sustancia ósea hacia los corchetes se caracteriza por curvaturas superficies cóncavas.

En el análisis de datos de exploración de dientes preparados tiene una importancia central la utilización de líneas de preparación, que delimitan las cavidades de los dientes preparados. En oposición a las líneas de segmentación descritas hasta ahora, la transición desde sustancia dental no preparada hacia una cavidad se caracteriza por curvaturas superficiales convexas. Para la individualización de las líneas límites se determinan, en virtud de estas relaciones, con preferencia estructuras objetivas en los datos de exploración, que presentan curvaturas superficiales correspondientes. Para la individualización de las líneas de segmentación se determina una estructura objetiva de líneas de segmentación, que está constituida por partes de datos de exploración y comprende al menos una estructura superficial cóncava. En cambio, para la individualización de las líneas de preparación se determina una estructura objetiva de líneas de preparación, que está constituida por datos de exploración y comprende al menos una estructura superficial convexa.

Con preferencia, en otra variante del método, las zonas de adaptación activas se adaptan en el caso de datos de exploración óptica, a superficies dentales no preparadas en los datos de exploración y en el caso de datos de exploración radiológicos, se adaptan a superficies dentales no preparadas, que se encuentran fuera de la carne del diente o fuera del hueso maxilar o están constituidas por esmalte dental. En este caso no tiene ninguna importancia si los modelos dentales utilizados son modelos superficiales o bien modelos de volumen. Sobre todo es importante que las zonas de activación activas sean zonas superficiales de los modelos dentales y correspondan a superficies dentales no preparadas en los datos de exploración. Es decir, que las zonas de adaptación activas deben adaptarse con preferencia en el marco de la individualización a ser posible totalmente a todas las superficies dentales no preparadas existentes en los datos de exploración. Durante la individualización con éxito de los modelos dentales, entonces las zonas de adaptación activas individualizadas corresponden a las superficies dentales no preparadas. Las dilataciones de las zonas activas del modelo se definen en este caso por medio de líneas límites parametrizadas, debiendo seleccionarse las líneas límites de tal manera que en el caso de la individualización se adaptan a estructuras objetivas en los datos de exploración, que delimitan superficies dentales no preparadas. Estas estructuras objetivas comprenden en el caso de datos de exploración óptica, por ejemplo, la transición cóncava desde la carne dental hacia la superficie no preparada del diente y la transición convexa desde la cavidad hacia la superficie dental no preparada. En el caso de datos de exploración radiológica, se puede utilizar como transición cóncava también la transición desde el hueso maxilar hacia la superficie dental no preparada, pero también la

transición desde el esmalte dental hacia la dentina en la zona de los cuellos de los dientes. La distinción entre esmalte del diente y dentina se puede realizar, por ejemplo, por medio de los valores de Hounsfield de los elementos de exploración.

5 Otra variante preferida del método de acuerdo con la invención se caracteriza por que para la individualización de modelos dentales se designa un valor de calidad, que resulta a partir de valores parciales individuales de calidad, que describen el cumplimiento de criterios de individualización. El valor de la calidad de una individualización describe entonces cuantitativamente, con qué calidad se cumplen los criterios de individualización considerados. Un valor de calidad de 100 % debería utilizarse para la individualización de modelos dentales, en la que se cumplen  
10 totalmente todos los criterios de individualización. Valores porcentuales más reducidos describen una individualización, en la que sólo se cumplen parcialmente o no se cumplen en absoluto criterios de individualización individuales. Por ejemplo, un modelo dental individualizado puede presentar al final del método siempre todavía una desviación de la superficie del modelo dental con respecto a los datos de exploración. A partir de la desviación media de los vértices de la superficie del modelo dental se puede convertir entonces un valor parcial de calidad a través de un cálculo no lineal. Así, por ejemplo, se puede utilizar una tabla de conversión, en la que se asocian  
15 valores de desviación medios a valores parciales de calidad. Un valor de desviación medio debería corresponden entonces a un valor parcial de la calidad de 100 % y valores de desviación medios sobre un valor umbral relativamente grande (por ejemplo, 1 cm) deberían corresponder a valores de calidad de 0 %. El cálculo de un valor de calidad a partir de valores parciales de calidad se realiza con preferencia a través del cálculo de una suma ponderada de los valores parciales de calidad. Los factores de ponderación posibilitan en este caso un control de la influencia de los criterios de individualización particulares. Con preferencia, se seleccionan los factores de ponderación para que se tengan en cuenta igualmente bien todos los criterios de individualización.

25 Si la individualización de los modelos dentales se realiza a través de la solución del problema de optimización, se pueden determinar con preferencia los valores parciales de la calidad a partir de los valores parciales de optimización, de manera que ambos valores pertenecen al mismo criterio de individualización. En este caso, se puede determinar el valor parcial de optimización correspondiente a través de una conversión, en general, no lineal. En este caso, a un valor parcial de optimización mínimo posible corresponde en este caso un valor parcial de la calidad de 100 % y a un valor parcial de optimización máximo posible corresponde un valor parcial de la calidad de 0 %.

30 Pero, en principio, también un valor parcial de optimización se puede ver como un valor parcial de la calidad. Una ventaja en la utilización de valores parciales de calidad convertidos frente a la utilización de los valores parciales de optimización inalterados es la claridad mejorada para el usuario. Así, por ejemplo, es más comprensible hablar de un  
35 85 % de adaptación de un modelo dental a la sustancia dental o bien a la sustancia dental residual que de un valor medio de la distancia de los vértices del modelo dental para la sustancia dental o bien la sustancia dental residual de, por ejemplo, 158 mm. Por lo tanto, a continuación se emplea el concepto de valor parcial de la calidad aunque, si no se indica explícitamente otra cosa, con ello se puede comprender un valor parcial de la optimización.

40 Los valores parciales de la calidad (o bien de manera correspondiente los valores parciales de la optimización) deciden con preferencia si se requiere al usuario la marcación de estructuras en los datos de exploración, que entran al mismo tiempo en un ciclo repetido del método en la individualización de modelos dentales. Si, por ejemplo, el valor parcial de la calidad para la adaptación de un modelo dental al diente y/o a la sustancia dental residual está por debajo (o bien por encima en el caso de utilización de valores parciales de optimización como valores parciales de la  
45 calidad) de un umbral predeterminado, entonces se requiere al usuario la marcación del diente correspondiente y/o de la sustancia dental residual. A través de esta marcación se obtiene un criterio nuevo de individualización, a saber, la adaptación de un modelo dental, que pertenece a la marcación, a esta marcación. A continuación se inicia de nuevo el método según la invención y se verifica si todos los criterios de individualización – incluyendo el nuevo criterio de individualización – se cumplen con calidad suficiente y si eventualmente son necesarias otras entradas del  
50 usuario. Este modo de proceder se repite con preferencia de forma iterativa hasta que se cumple un criterio de rotura. Tal criterio de rotura puede ser, por ejemplo, que todos los valores parciales de calidad exceden (o no alcanzan) un valor umbral o si se ha alcanzado un número predeterminado de etapas de iteración.

55 La ponderación de zonas de adaptación de los modelos dentales puede ser constante en la individualización, pero también se puede modificar durante el proceso de individualización. Una variante del método se caracteriza por que para un modelo dental se realiza la ponderación de las zonas de adaptación sobre la base de los valores parciales de la calidad para la individualización de las líneas límites, de manera que a medida que se incrementan los valores parciales de calidad para la individualización de las líneas límites, se ponderan mas fuertes las zonas de adaptación activas en la adaptación a los datos de exploración. Este modo de proceder es especialmente ventajoso cuando el  
60 proceso de individualización se inicia con modelos dentales posicionados en los datos de exploración, que presentan desviaciones todavía fuertes con respecto a estructuras objetivas correspondientes en los datos de exploración. En general, tampoco entonces las líneas límites están bien adaptadas a los datos de exploración. Es decir, que las zonas de adaptación activas de los modelos dentales se pueden distinguir en su dilatación todavía relativamente mucho de las superficies dentales no preparadas en los datos de exploración. Sólo cuando las líneas límites están

bien adaptadas a los datos de exploración, lo que se expresa a través de valores parciales de calidad correspondientemente altos, se puede partir de que también las zonas de adaptación activas corresponden relativamente bien a las superficies dentales no preparadas. Entonces es conveniente ponderar estas zonas de adaptación más fuertes en la individualización.

5 Otra variante del método se caracteriza por que se marcan puntos de referencia anatómicos y/o ejes dentales y/o designaciones de la dirección y/o regiones superficiales y/u otras estructuras geométricas características de los modelos dentales y se transmiten después de la individualización sobre los datos de exploración y/o por que sobre la base de estas estructuras individualizadas se realiza un dimensionado geométrico de los datos de exploración. En este caso, se puede realizar el proceso de marcación de forma iterativa y/o por algoritmos. Está previsto de manera ventajosa utilizar una superficie gráfica de usuario para la creación de las marcas. Es preferible y economizador de tiempo el empleo de algoritmos adecuados para marcar estructuras geométricas características en modelos dentales. Métodos correspondientes son conocidos por el técnico. Es especialmente ventajoso un modo de proceder, en el que las marcaciones se determinan con algoritmos después de la individualización de los modelos dentales y antes de la transmisión sobre los datos de exploración. Este modo de proceder posibilita una determinación precisa de estructuras geométricas características en los datos de exploración, aunque los modelos dentales deformable geoméricamente modifiquen su morfología característica durante el proceso de individualización.

20 En una variante especialmente preferida del método de acuerdo con la invención, a partir de los modelos dentales individualizados y los datos de exploración se determinan restauraciones dentales virtuales de dientes preparados. A partir de las formas geométricas características de las restauraciones dentales virtuales calculadas y/o de las líneas límites individualizadas, que pertenecen a los modelos dentales individualizados, se pueden determinar entonces con preferencia los tipos de preparación de los dientes que corresponden a los modelos dentales. Opcionalmente, se pueden representan designaciones verbales y/o simbólicas para estos tipos de preparación calculados con un esquema dental y/o con un esquema dental reducido y/o gráficamente con los datos de exploración.

30 Métodos adecuados para la determinación de restauraciones dentales virtuales a partir de los modelos dentales individualizados y los datos de exploración son conocidos por el técnico. A tal sin se conectan en principio las líneas de preparación de los datos de exploración de manera adecuada lo más constante y llana posible con los modelos dentales correspondientes y se añaden entonces las cavidades de los dientes preparados como limitaciones inferiores. Como resultado se obtienen para las restauraciones dentales virtuales modelos tridimensionales de cuerpos de fricción, que se pueden fabricar mecánicamente. Pero también se pueden configurar las restauraciones dentales virtuales de varias partes, determinando en primer lugar un bastidor de soporte y a continuación una superestructura con las superficies de masticación.

40 A partir de los modelos dentales individualizados con sus líneas límites individualizadas y/o las restauraciones dentales virtuales correspondientes se pueden determinar, sin embargo, también los tipos de preparación de los dientes escaneados. El caso más sencillo existe cuando no se ha encontrado ninguna línea de preparación para un tipo de diente, entonces el diente correspondiente no está preparado y tampoco está presente ninguna cavidad. En el marco de esta invención, en virtud de estas relaciones, se utiliza de forma complementaria a los tipos de preparación incrustación, corona, etc., el tipo de preparación "diente" para una preparación ausente. En cambio, cuando está presente la preparación, a partir de las formas geométricas características de las restauraciones dentales virtuales calculadas y/o de las líneas límites individualizadas correspondientes se determinan los tipos de preparación (incrustación, corona, puente, ...) de los dientes preparados escaneados.

50 En un método de acuerdo con la invención para la generación de una base de datos de modelos, que contiene para la utilización en el método descrito anteriormente para diferentes tipos de dientes, respectivamente, una pluralidad de modelos dentales parametrizados (es decir, al menos un modelo dental), la parametrización se realiza con la ayuda de parámetros de modelos, que comprenden parámetros de la posición y parámetros de la forma y parámetros de líneas, cuyo desarrollo se describe por medio de los parámetros de las líneas y que divide un modelo dental en al menos una zona de adaptación activa y al menos una zona de adaptación inactiva.

55 En una variante preferida del método para la generación de una base de datos de modelos, en este caso se forma toda la base de datos de modelos o al menos partes de la base de datos de modelos a través del análisis de una cantidad de datos de exploración óptica y/o radiológica de estructuras orales artificiales y/o naturales. Las estructuras orales artificiales comprenden en el sentido de la invención dientes postizos, grupos de dientes, dentelladas, pero también implantes, excrescencias y otros sistemas de anclaje. En general, tales estructuras orales artificiales están presentes en una pluralidad de modelos preconfeccionados de diferentes proveedores comerciales. 60 En cambio, las estructuras orales naturales en el sentido de la invención comprenden dientes naturales, grupos de dientes, dentelladas, pero también carne dental, hueso maxilar, nervios y otras estructuras anatómicas. Con preferencia, los datos de exploración óptica de estructuras orales naturales se obtienen de exploraciones ópticas de copias de yeso, maxilar superior e inferior libres de caries o bien de defectos. Pero también se pueden emplear datos de exploración radiológica de maxilares, presentando los datos de exploración una exactitud más reducida que

los datos de exploración óptica, pero a tal fin contienen estructuras gingivales e intradentales. Una base de datos de modelos constituida sobre la base de exploraciones CT/DVT posibilita la modelación de modelos de dientes, que contienen estructuras de raíces. Tales modelos de dientes son adecuados entonces con preferencia para el análisis geométrico de datos de exploración radiológica.

5 En general, los datos de exploración, especialmente cuando se trata de datos de exploración de estructuras orales naturales, son segmentados en primer lugar en una primera etapa de la formación de la base de datos, para obtener datos de exploración de un tipo de diente deseado. Esta etapa se suprime la mayoría de las veces en el caso de datos de exploración de estructura dentales artificiales, puesto que éstas están presentes de forma separada físicamente, en general, y se pueden escanear individualmente. En ambos casos, a partir del dimensionado de estructuras orales presentes físicamente se puede utilizar una cantidad de datos de exploración de un tipo de diente deseado, que se puede utilizar para la formación de una base de datos de modelos.

15 Si están presentes tanto datos de exploración óptica como también radiológica de los probandos individuales, es ventajoso combinar ambos tipos de datos de exploración durante la formación de una base de datos de modelos después de la segmentación. A tal fin, se forman con preferencia parejas de datos de exploración óptica y radiológica del mismo tipo de diente de un probando y se registran. Esto se puede conseguir llevando los dos conjuntos de datos de exploración de una pareja a la mejor cobertura posible a través de la determinación de valores óptimos de translación y de rotación. Como resultado se obtienen conjuntos de datos de exploración óptica-radiológica combinada, que son adecuados de la misma manera para la formación de una base de datos de modelos. Los modelos dentales construidos sobre esta base de datos combinan la alta exactitud de superficies dentales dimensionadas ópticamente con estructuras subgingivales medidas radiológicas.

25 En la segunda etapa siguiente de la formación de la base de datos, se pueden construir los modelos dentales de un tipo de diente, es decir, que tiene lugar una adaptación de modelos dentales de superficies o bien de volumen (de una resolución deseada) a los datos de exploración de un tipo de diente deseado. En el caso de que en la primera etapa de la formación de la base de datos se haya realizado una segmentación, se conocen, en general, también las líneas de segmentación en los datos de exploración, que se transmiten entonces después de la construcción de los modelos dentales sobre éstos. Pero de manera alternativa, también puede tener lugar una marcación interactiva de las líneas de segmentación en los modelos dentales. Opcionalmente, se pueden determinar por algoritmos y/o interactivamente en esta etapa de la formación de la base de datos también puntos de referencia anatómicos, ejes de dientes, designaciones de la dirección, regiones superficiales y/u otras estructuras geométricas características para los modelos dentales por algoritmos y/o interactivamente. Los métodos necesarios para ello son conocidos por el técnico.

35 Un análisis de desviaciones morfológicas de los modelos dentales de un tipo de dientes entre sí se puede realizar en la tercera etapa de la formación de la base de datos, siendo calculado un valor de desviación morfológica para cada pareja posible de modelos dentales. Esto se puede conseguir por que los dos modelos dentales de una pareja se llevan a la mejor cobertura posible a través de la determinación de valores óptimos de translación y de rotación y por que el valor de desviación morfológica describe la desviación morfológica todavía existente de los dos modelos dentales.

45 En la cuarta etapa de la formación de la base de datos se puede seleccionar un modelo dental de valor medio de un tipo de diente a través de un análisis de los valores de desviación morfológica calculados. En virtud de los análisis de desviación de los modelos dentales entre sí se obtienen para cada uno de los  $n$  modelos dentales de un tipo de diente  $(n-1)$  valores de desviación morfológica. Como modelo dental de valor medio se considera con preferencia aquel modelo dental, cuya suma de los cuadrados de los valores de desviación morfológica es mínima.

50 Entonces se puede realizar con preferencia una clasificación de los modelos dentales de un tipo de diente en la quinta etapa de la formación de la base de datos. De manera especialmente preferida se genera la clasificación por que partiendo del modelo dental de valor medio del tipo de diente se añaden a la clasificación los modelos dentales restantes del tipo de diente sobre la base de los valores de la modificación morfológica con respecto a los modelos dentales ya clasificados. Con preferencia, se añade a la clasificación siempre aquel modelo dental, cuya suma de los cuadrados de los valores de modificación morfológica es máxima con respecto a los modelos dentales ya clasificados. A través de este modo de proceder se asegura que al comienzo de la clasificación estén aquellos modelos dentales que se diferencian al máximo en virtud de su morfología.

60 En una sexta etapa final de la formación de la base de datos se añade con preferencia una transformación geométrica al modelo dental de valor medio de un tipo de diente, para generar también formas intermedias de modelos dentales para la individualización. Para un modelo dental de valor medio se define una transformación geométrica adecuada con preferencia a través del requerimiento de que se pueda transferir continuamente la forma del modelo dental de valor medio a al menos un modelo dental objetivo siguiente en la clasificación. A través de este modo de proceder se asegura que los parámetros de forma correspondientes se puedan variar efectivamente y que a medida que se incrementa el número de los parámetros de forma se eleva la pluralidad de formas del modelo

dental de valor medio transformado. El número de los modelos dentales objetivos puede depender en este caso del objeto de aplicación de la base de datos de modelos. Puesto que al principio de la clasificación están aquellos modelos dentales, cuyas morfologías se diferencian más fuertes, a través de la consideración de un número relativamente pequeño de modelos dentales objetivos se puede conseguir una reducción del alcance de la memoria de la base de datos de modelos. Por ejemplo, en el caso de un análisis geométrico de dato de exploración, donde está en primer término más bien una velocidad alta, se utilizan transformaciones geométricas de modelos dentales de valor medio, que se han obtenido a partir de un número más pequeño de modelos dentales objetivos. La necesidad de memoria correspondiente para las transformaciones geométricas en la base de datos de modelos es entonces relativamente reducida.

Un sistema de análisis según la invención para el análisis geométrico de datos de exploración de estructuras orales necesita para la aplicación del método una interfaz para la recepción de los datos de exploración medidos por una modalidad, una unidad de selección para la selección de los tipos de dientes a utilizar por el método, una instalación de memoria para una base de datos de modelos, que contienen para diferentes tipos de dientes, respectivamente, una pluralidad de modelos dentales parametrizados, en la que la parametrización se realiza con la ayuda de parámetros de modelos, que comprenden parámetros de la posición y/o parámetros de la forma y parámetros lineales y en la que cada modelo dental contiene al menos una línea límite parametrizada, cuyo desarrollo se describe a través de los parámetros de líneas y que divide un modelo dental en al menos una zona de adaptación activa y una zona de adaptación inactiva. Además, el sistema de análisis necesita una unidad de individualización, en la que los modelos dentales se adaptan con sus líneas límites para la individualización a los datos de exploración, en el que esta individualización se realiza a través de variación de parámetros de modelos y en el que las zonas de adaptación activas de los modelos dentales se ponderan más fuertes que las zonas de adaptación inactivas. Por último, el sistema de análisis necesita una unidad de análisis, en la que sobre la base de los modelos dentales individualizados se segmentan con sus líneas límites individualizadas los datos de exploración y/o se determina al menos una línea límite en los datos de exploración.

La unidad de selección, la unidad de individualización y la unidad de análisis del sistema de análisis se pueden realizar de manera especialmente preferida en forma de software sobre un procesador adecuado correspondiente de un ordenador. Este ordenador debería presentar una interfaz correspondiente para la recepción de datos de exploración y una instalación de memoria adecuada para una base de datos de modelos. En este caso, esta instalación de memoria no tiene que ser necesariamente un componente integrado del ordenador, sino que es suficiente que el ordenador pueda acceder a una instalación de memoria externa adecuada. Una realización del método de acuerdo con la invención en forma de software tiene la ventaja de que también sistemas de análisis existentes se pueden reequipar de una manera relativamente sencilla de manera correspondiente a través de actualizaciones adecuadas. En el sistema de análisis de acuerdo con la invención se puede tratar especialmente también de una unidad de control para los datos de exploración de modalidad que se caracteriza por sí misma, que presenta los componentes necesarios para el procesamiento según la invención de los datos de exploración.

A continuación se explica en detalle la invención con la ayuda de ejemplos de realización con referencia a los dibujos adjuntos. En este caso:

La figura 1 muestra una representación en perspectiva de un modelo dental M con líneas límites LS, LP y con una zona de adaptación activa AA y dos zonas de adaptación inactiva AI, respectivamente.

La figura 2 muestra una representación en perspectiva de un modelo dental M con puntos de referencia L1, L2, L3, L4, L5 y ejes dentales AX, AY.

La figura 3 muestra una representación esquemática bidimensional de datos de exploración D de dientes T13 a T18 con modelos dentales M individualizados.

La figura 4 muestra una representación esquemática bidimensional de datos de exploración D de dientes T13 a T18 con restauraciones dentales R y tipos de preparación calculados (incrustación, corona, puente, diente).

La figura 5 muestra una representación en perspectiva de datos de exploración D de un maxilar superior con dientes segmentados T17 a T27 y líneas de segmentación LS calculadas.

La figura 6 muestra una representación en perspectiva de datos de exploración D de un maxilar superior con dientes segmentados T16 a T27 y carne dental G segmentada.

La figura 7 muestra una representación en perspectiva de datos de exploración D de un maxilar superior parcial con dientes segmentados T35 a T37 y líneas de segmentación LS calculadas y una línea de preparación LP calculada.

La figura 8 muestra una representación en perspectiva de datos de exploración D de un maxilar superior parcial con dientes segmentados T35 a T37 y con una cavidad segmentada C y carne dental segmentada G.

La figura 9 muestra una representación en perspectiva de dientes segmentados T17 a T27 según la figura 5 y ejes dentales AY calculados y puntos de referencia anatómicos L4, L5 calculadas.

La figura 10 muestra una representación en perspectiva de dientes segmentados T17 a T27 según la figura 5 y de un ángulo calculado  $\alpha_{14-15}$  entre dos ejes dentales, de una distancia  $d_{16-26}$  calculada entre dos puntos de referencia anatómicos y de una longitud  $l_{17-27}$  calculada de un trazo de línea que une puntos de referencia anatómicos.

La figura 11 muestra una representación en perspectiva de modelos dentales de valores medios MM de una base de datos de modelos para tipos de dientes N° 18 a N° 28.

La figura 12 muestra una representación de un esquema dental, con el que se definen los tipos de dientes a utilizar por el método.

5 La figura 13 muestra una representación de un esquema dental, con el que se representan los tipos de preparación calculados por el método.

La figura 14 muestra una representación reducida del esquema dental de la figura 13.

10 La figura 15 muestra una representación en perspectiva de datos de exploración D de una mandíbula, que se utilizan para la formación de una base de datos de modelos, en la que la mitad izquierda de la imagen reproduce la exploración del maxilar superior, y en la derecha se reproduce la exploración del maxilar inferior.

La figura 16 muestra una representación en perspectiva de modelos dentales M de un tipo de diente, que han sido contruidos a través de la adaptación a datos de exploración de un tipo de diente, que proceden de la segmentación de exploraciones maxilares.

15 La figura 17 muestra una representación en perspectiva de una exploración de modelos dentales M de un tipo de diente, definidos a través de valores de desviación morfológicos recíprocos, en la que los modelos dentales M morfológicamente similares presenta una distancia espacial reducida durante la exposición mutua.

La figura 18 muestra una representación en perspectiva de una clasificación posible de siete modelos dentales M, que está constituida por un modelo dental de valor medio MM, y seis modelos dentales finales MT, una base de datos de modelos con seis transformaciones parciales T1, T2, T3, T4, T5, T6.

20 La figura 19 muestra un ejemplo de realización representado esquemáticamente de un sistema de análisis de acuerdo con la invención.

25 El ejemplo de realización representado de forma esquemática en la figura 19 del sistema de análisis 5 de acuerdo con la invención está constituido esencialmente por un ordenador 10 y por una consola 6 o similar conectada allí con una pantalla 7, un teclado 8 y una instalación de puntero, aquí un ratón 9. En el ordenador 10 se puede tratar de un ordenador constituido de manera habitual, por ejemplo un PC o un puesto de trabajo, que se puede emplear también para otras evaluaciones de datos y/o para el control de aparatos de toma de imágenes (modalidades) como escáneres ópticos, tomógrafos de ordenador, tomógrafos digitales de volumen, etc. Los componentes esenciales dentro de este ordenador 10 son, entre otros, un procesador central 13 y una interfaz 11, para recibir datos de exploración D de estructuras orales OS, que fueron medidos por una modalidad 1, aquí un escáner óptico.

35 En el ejemplo de realización representado en la figura 19, la modalidad 1 está conectada con una instalación de control 2, que está conectada de nuevo con un bus de datos 3, en el que está conectado también el sistema de análisis 5. Además, en este bus de datos 3 está conectada una memoria de masas 4 para el almacenamiento intermedio o la deposición duradera de los datos de exploración D registrados por la modalidad 1 y/o de los datos de exploración D procesados adicionalmente por el sistema de análisis 5. Evidentemente, en el bus de datos 3 pueden estar conectados todavía, bajo la formación de una red más grande, otros componentes, por ejemplo otras modalidades, memorias de masas, puestos de trabajo, aparatos de salida como impresoras, estaciones de filmación, unidades de bucles y otros. De la misma manera, es posible una conexión con una red externa o bien con otros sistemas de análisis. Todos los datos de exploración D están formateados con preferencia para la comunicación en la llamada Norma-STL (STL = Surface Tessellation Language) y/o en la Norma DICOM (DICOM = Digital Imaging and Communication in Medicine).

45 La activación de la modalidad 1 se realiza de manera habitual a través de la instalación de control 2, que adquiere también los datos desde la modalidad 1. La instalación de control 2 puede presentar para el manejo en el lugar una consola propia o similar, que no se representa aquí. Pero también es posible que el mando se realice, por ejemplo, a través del bus de datos por medio de un ordenador separado, que se encuentra en la proximidad de la modalidad.

50 En primer lugar se seleccionan en una primera etapa del método los datos de exploración D y se establece el alcance de los tipos de dientes a utilizar por el método. Los datos de exploración D se pueden conducir directamente, por ejemplo, desde la modalidad 1 o bien su instalación de control 2 a través del bus de datos 3 hacia el ordenador 10. Pero también se puede tratar de datos de exploración D, que han sido recibidos ya hace algún tiempo y han sido depositados en una memoria de masas 4. En el ejemplo de realización descrito a continuación se parte de que en los datos de exploración D a analizar se trata de datos de exploración ópticos D y no radiológicos.

55 Un análisis geométrico de datos de exploración radiológicos D se realiza de manera similar a un análisis de datos de exploración ópticos D. Una diferencia consiste en este caso en la determinación de estructuras objetivas para los modelos dentales. En el caso de datos de exploración ópticos D, las superficies medidas, o partes de estas superficies, forman directamente las estructuras objetivas. En cambio, en el caso de datos de exploración radiológicos D, en general, se generan en primer lugar superficies adecuadas a través del método conocido por el técnico con anterioridad al análisis. Por ejemplo, a través de métodos de análisis del valor umbral y/o de análisis del contorno a partir de conjuntos de datos-CT/DVT D se pueden obtener las superficies de los dientes y/o la carne de los dientes y/o los huesos maxilares en una forma triangulada. Sobre la base de estos datos de las superficies se puede realizar entonces el análisis geométrico de los datos de exploración radiológicos D de manera similar al análisis geométrico de datos de exploración ópticos D.

El alcance de los modelos dentales a utilizar por el método se establece con preferencia a través de la indicación de una cantidad de tipos de dientes diferentes. Opcionalmente, el usuario puede indicar adicionalmente también los tipos de preparación de los tipos de dientes seleccionados. Estos tipos de preparación indicados se pueden comparar entonces para el control del método con los tipos de preparación calculados o, en cambio, se pueden introducir también en el cálculo de valores parciales de optimización. Por ejemplo, en el caso de preparaciones de coronas o bien de puentes, las superficies de oclusión de los modelos dentales correspondientes fuera de la sustancia dental o bien de la sustancia dental residual deben encontrarse en los datos de exploración D. Debido a la claridad mejorada para el usuario, estas indicaciones se pueden realizar por medio de una superficie gráfica de usuario y un esquema dental, que se representa de forma ejemplar en la figura 12. Los modelos dentales de valores medios MM correspondientes de los tipos de dientes N° 18 a N° 48 se muestran en la figura 11. Con preferencia, el alcance de los tipos de dientes utilizados debería corresponder al alcance de los tipos de dientes de los dientes escaneados. A continuación se parte de que el usuario ha seleccionado varios tipos de dientes con los tipos de preparación correspondientes (ver la figura 13). En este caso, puede ser conveniente la utilización de aquella variante del método de acuerdo con la invención, en la que se individualizan grupos de modelos dentales. Pero también se puede representar el tipo de preparación por medio de un esquema dental reducido (ver la figura 14) o gráficamente con los datos de exploración D (ver la figura 4). Esta figura muestra también las restauraciones dentales R calculadas a partir de los modelos dentales individualizados y los datos de exploración D.

La selección de los modelos de dientes a partir de una base de datos de modelos DFB puede tener lugar por medio de una unidad de selección 14, que está realizada aquí en forma de un módulo de software sobre el procesador 13 del ordenador 10 (ver la figura 19). La base de datos de modelos DB está depositada, por ejemplo, en una memoria 12 del ordenador 10, a la que tiene acceso también la unidad de selección 14, o bien la unidad de selección 14 puede establecer especificaciones de selección, que son tenidas en cuenta por módulos de trabajo siguientes durante la individualización de los modelos.

Un ejemplo de realización para un modelo dental-16 M se muestra en la figura 1. El modelo dental de superficies M contiene una línea de segmentación LS y una línea de perforación LP. Estas dos líneas límites LS, LP definen una zona de adaptación activa AA y dos zonas de adaptación inactivas AI. Las líneas límites LS, LP se encuentran en este ejemplo de realización sobre la superficie del modelo dental M. Puesto que en el presente ejemplo de realización se parte de datos de exploración ópticos, es ventajosa la utilización de modelos de superficies para el análisis geométrico. Además, el modelo dental M mostrado en la figura 1 no contiene modelos parciales, como por ejemplo un modelo parcial de implante. La parametrización de las líneas límites LS, LP se puede realizar a través de coordenadas de textura, conocidas a partir de los gráficos de ordenador, del modelo dental M. A tal fin a cada vértice del modelo dental M se pueden asociar coordenadas de textura bidimensionales. Los vértices de las líneas límites LS, LP resultan entonces a partir de una cantidad de coordenadas de textura bidimensionales. Estas coordenadas de textura se pueden utilizar en este ejemplo de realización como parámetros lineales del modelo dental M.

La determinación de modelos dentales individualizados para los tipos de dientes deseados se realiza en el ejemplo de realización descrito a través de la solución de un problema de optimización, de manera que comenzando con modelos dentales de partida de los tipos de dientes deseados, se realiza un método de optimización. Durante la individualización de los modelos dentales se determinan en primer lugar los modelos dentales de partida para los tipos de dientes deseados. Con preferencia, los modelos dentales de partida se establecen en la base de datos de modelos y son de manera especialmente preferida modelos dentales de valor medio de los tipos de dientes deseados. Pero se pueden utilizar también modelos dentales de partida, que resultan a través de una aplicación previa del método según la invención a partir de los modelos dentales individualizados correspondientes.

Después de la selección de los modelos dentales de partida, éstos deberían emplazarse de forma aproximada antes de la adaptación a los datos de exploración con relación a los datos de exploración, es decir, que se realiza un posicionamiento previo de los modelos dentales de partida. En el caso de datos de exploración radiológicos (por ejemplo, datos de exploración CT/DVT), se conoce, en general, designaciones de la dirección (anterior, posterior, etc.) del conjunto de datos y el volumen de registro comprende normalmente el espacio de la boca con estructuras adyacentes. De manera similar es la situación durante exploraciones ópticas de la mandíbula. También allí se mantienen, en general, convenciones de la dirección para los datos de exploración. Las superficies de oclusión de los dientes apuntan en una dirección axial definida y los arcos de los dientes aproximadamente en forma de parábola están abiertos hacia otra dirección axial definida. En el caso de exploraciones ópticas intraorales, la situación es insignificamente diferente. También aquí las superficies de oclusión de los dientes apuntan en una dirección axial definida y para los extremos de la parte medida de un arco dental se conocen designaciones de la dirección (por ejemplo, mesial, distal). En virtud de estas informaciones implícitas de la dirección y de las dimensiones conocidas de los datos de exploración, se pueden emplazar los modelos dentales de partida al comienzo del método con relación a los datos de exploración.

A continuación se adaptan entonces los modelos dentales a través de la variación de parámetros de modelos a los datos de exploración. La figura 3 muestra de forma ejemplar datos de exploración D con modelos dentales M

individualizados para preparaciones de incrustaciones, coronas y puentes.

La individualización de modelos dentales se realiza con preferencia a través de la solución del problema de optimización, en la que el valor de optimización resulta a partir de una pluralidad de valores parciales de optimización, que corresponden a los criterios de individualización deseados, algunos de los cuales se explican todavía de nuevo a continuación. Los valores parciales de optimización individuales se agrupan después de su cálculo en un único valor de optimización. Con preferencia, esto se realiza a través del cálculo de una suma ponderada de los valores parciales de optimización. Los factores de ponderación posibilitan en este caso un control de la influencia de los criterios de individualización individuales. Así, por ejemplo, un factor de ponderación alto para la adaptación de las superficies de los modelos dentales a los dientes, o bien a las sustancias de dientes residuales en combinación con un factor de ponderación bajo para la adaptación de las líneas límites a estructuras objetivas correspondientes puede conducir a modelos dentales individualizados, que están muy bien adaptados a los dientes o bien a sustancias dentales residuales, pero en cambio no presentan ninguna adaptación porcentual de las líneas límites a las estructuras objetivas correspondientes. Con preferencia, se seleccionan los factores de ponderación de tal manera que se mantienen igualmente bien todos los criterios de individualización. La solución del problema de optimización, en general, no lineal se puede realizar a través de métodos conocidos por el técnico. Una posibilidad sencilla es la determinación del valor mínimo de optimización a través de métodos de gradientes y descensos.

Un valor parcial de optimización importante describe la adaptación de un modelo dental a la sustancia dental y/o sustancia dental residual correspondiente en los datos de exploración. La determinación de una estructura objetiva correspondiente depende sobre todo de la modalidad de registro de los datos de exploración. En el ejemplo de realización representado se utilizan datos de exploración ópticos y la superficie medida se utiliza directamente como estructura objetiva. El cálculo del valor parcial de optimización se realiza con preferencia a través de la formación de la suma de los cuadrados de valores de la distancia de los vértices del modelo dental con respecto a la estructura objetiva. De manera similar, se realiza también el cálculo del valor parcial de optimización para la adaptación de las líneas límites de un modelo dental a estructuras en los datos de exploración con curvaturas superficiales correspondientes. Como estructura objetiva para las líneas de segmentación se pueden utilizar, por ejemplo, elementos de exploración, cuyas curvaturas superficiales cóncavas se encuentran por encima de un valor umbral. Una estructura objetiva para líneas de preparación contiene, por ejemplo, elementos de exploración con curvaturas superficiales convexas por encima de un valor umbral correspondiente. En el marco de la diferente ponderación de acuerdo con la invención de zonas activas e inactivas, se pueden ponderar en este caso los vértices de las zonas de adaptación activas más fuertemente que los de las zonas de adaptación inactivas. En particular, se pueden incorporar también sólo los vértices de las zonas de adaptación activas en el cálculo del valor parcial de optimización, es decir, que los vértices de las zonas de adaptación inactivas se ponderan con cero. Como valores de la distancia se pueden utilizar las distancias mínimas de los vértices de los modelos dentales con respecto a la estructura objetiva, pero también se pueden utilizar las distancias a lo largo de las normales de las superficies de los vértices del modelo dental con respecto a la estructura objetiva.

Otro valor parcial de optimización importante describe en el presente ejemplo de realización el contacto de un modelo dental con el dentado opuesto. En este caso, el dentado opuesto se dimensiona directa o indirectamente a través de un registro de dentellada. En ambos casos se obtienen los llamados datos antagonistas. Para la descripción de la situación de contacto de un modelo dental con respecto a un antagonista correspondiente, se propone la utilización de valores de la distancia con signo. Existe un signo negativo para el valor de la distancia de un vértice del modelo dental cuando se encuentra dentro del antagonista, en otro caso se obtiene un signo positivo. Si se determina ahora el mínimo de los valores de la distancia, entonces se obtiene para un modelo dental un único valor de la distancia de contacto con signo. Si es positivo, entonces no existe ninguna penetración, si es cero, entonces existen uno o varios puntos de contacto, si es negativo, entonces existe una penetración. El valor parcial de optimización para el contacto de un modelo dental con respecto al dentado opuesto es entonces con preferencia el cuadrado del valor de la distancia de contacto.

Se tiene en cuenta un acoplamiento de modelos dentales con preferencia a través de valores parciales de optimización, que describen los contactos y/o las relaciones espaciales de las capas y/o las relaciones espaciales de las formas de los modelos dentales acoplados. En el presente ejemplo de realización se seleccionan los tipos de dientes N° 13 a N° 18 por el usuario (ver la figura 13). Los seis modelos dentales vecinos correspondientes pueden formar entonces un grupo de acoplamiento de contacto para el contacto de modelos dentales. De manera totalmente similar a la especificación de cálculo propuesta para la descripción del contacto con el dentado opuesto se puede calcular entonces un valor parcial de optimización para el contacto de los modelos dentales entre sí. A tal fin, se calculan para los seis modelos dentales con preferencia cinco valores de la distancia de contacto y como valor parcial de optimización de contacto se forma entonces la suma de los cuadrados de estos valores de la distancia de contacto.

La periferia del grupo de acoplamiento de las capas corresponde en el presente ejemplo de realización a la periferia del grupo de acoplamiento de contacto. El valor parcial de optimización correspondiente de las capas se puede calcular sobre la base de las relaciones espaciales de puntos de referencia anatómicos de los modelos dentales

acoplados. La determinación de puntos de referencia adecuados tiene lugar con preferencia en el marco de la formación de una base de datos de modelos. Un tipo de cálculo propuesto para el valor parcial de optimización se basa en que los puntos de referencia anatómicos de modelos dentales acoplados deben estar sobre curvas tridimensionales parametrizadas. Como valor parcial de optimización de las capas se forma entonces con preferencia la suma de los cuadrados de los valores de la distancia de los puntos de referencia con respecto a las curvas. Una curva conocida por el técnico es, por ejemplo, una curva de Spee, sobre la que deben estar los cantos de corte y las cúspides de los dientes superiores.

Otro valor parcial de optimización del acoplamiento describe las relaciones espaciales de las formas de modelos dentales acoplados entre sí. El grupo de acoplamiento correspondiente de las formas se forma en el presente ejemplo de realización de nuevo a partir de los seis modelos dentales N° 13 a N° 18. En el cálculo del valor parcial de optimización de las formas se parte de que la base de datos de modelos utilizada se ha formado sobre la base de una cantidad representativa de datos de exploración de probandos. A un modelo dental de la base de datos de modelos de un tipo de dientes corresponden entonces aquellos modelos dentales de los otros tipos de dientes que proceden del mismo probando. El valor parcial de optimización de las formas para el acoplamiento de las formas de modelos dentales resulta entonces con preferencia a partir del cálculo de las desviaciones de las correspondencias de los modelos dentales.

A tal fin, para cada modelo dental del grupo de acoplamiento de formas - mencionado a continuación como modelo dental de práctica - se determina en primer lugar un modelo dental de probandos a partir de la base de datos de modelos. La asociación de un modelo dental de partida a un modelo dental de probandos del mismo tipo de diente se puede realizar sobre los parámetros de formas del modelo dental de partida. Durante la formación de la base de datos de modelos se determinan para cada modelo dental de probandos aquellos parámetros de las formas de la transformación geométrica del modelo de tal de valor medio, que reproducen de una manera óptima el modelo dental de probandos. Estos parámetros de las formas se designan a continuación parámetros de las formas de probandos y se registran con preferencia en la base de datos de modelos. A un modelo dental de partida con un conjunto de parámetros de las formas de partida se asocia aquel modelo dental de probandos, cuyos parámetros de las formas de probandos se diferencian mínimamente de los parámetros de las formas de partida del modelo dental de partida. Por ejemplo, a tal fin, se pueden formar en primer lugar las diferencias del conjunto de parámetros de las formas de partida con respecto a todos los parámetros de las formas de los probandos. El mínimo del cuadrado de estas diferencias define el conjunto de parámetros de las formas de los probandos buscado. Para el modelo dental de los probandos calculado de esta manera se pueden determinar entonces los modelos dentales de los probandos correspondientes en la base de datos de los modelos. Pero a tal fin, en la base de datos de modelos solamente tienen que estar registrados los parámetros de formas de los modelos dentales de los probandos. A partir de éstos se pueden construir entonces los modelos dentales de probandos originales.

A continuación se lleva a cabo un cálculo de valores de desviación morfológicos de los modelos dentales de los probandos determinados correspondientes con respecto a los modelos dentales respectivos del grupo de acoplamiento de las formas. El cálculo de un valor de desviación morfológico se puede realizar fácilmente de una manera sencilla y robusta a través de la suma de cuadrados del valor de la distancia de los vértices de dos modelos dentales comparativos, después de que los dos modelos dentales han sido llevados a cobertura de una manera lo más óptima posible a través de traslación y rotación. El valor de desviación morfológico determinado de esta manera se designa a continuación como valor de desviación de correspondencia. Para cada uno de los seis modelos dentales del grupo de acoplamiento de las formas presente en el presente ejemplo de realización se determinan entonces cinco valores de desviación de correspondencia. El valor parcial de optimización de las formas para el acoplamiento de los modelos dentales resulta entonces como la suma de los cuadrados de estos valores de desviación de correspondencia.

Los valores parciales de optimización descritos hasta ahora se pueden calcular de una manera totalmente automática, es decir, sin la inclusión de interacciones del usuario. Los valores parciales de calidad correspondientes deciden en el presente ejemplo de realización, por ejemplo debido a que no se ha alcanzado un valor umbral predeterminado, si se requiere al usuario la marcación de estructuras en los datos de exploración que entran, durante un ciclo repetido del método adicionalmente al mismo tiempo en la individualización de modelos dentales, es decir, que durante un ciclo repetido del método se tienen en cuenta, además de los valores parciales de optimización introducidos hasta ahora, valores parciales de optimización adicionales sobre la base de interacciones del usuario. Si, por ejemplo, el valor de calidad de un modelo dental para la adaptación a la sustancia dental o a la distancia dental residual está por debajo de un valor umbral, entonces se requiere al usuario la marcación de la superficie dental no preparada o de la sustancia dental residual no preparada. Puesto que en el presente ejemplo de realización se conocen los tipos de preparación, se requiere al usuario, por ejemplo, la marcación de sustancia dental no preparada en tipos de preparación que implican la presencia de sustancia dental no preparada. Éstos son, por ejemplo, los tipos de preparación diente, incrustación, funda, etc.

Un valor parcial de optimización sobre la base de la interacción del usuario describe la adaptación de un modelo dental a la superficie dental no preparada marcada correspondiente en los datos de exploración. Para cada

elemento de exploración marcado se determina con preferencia la distancia mínima con respecto a la superficie del modelo dental correspondiente y a partir de estos valores se calcula un valor medio de la distancia. El cuadrado de este valor de la distancia se utiliza como valor parcial de optimización. Con preferencia, se marcan en los datos de exploración en primer lugar aquellas superficies no preparadas de los dientes, que pertenecen al primero y/o último modelo dental en el grupo de modelos. De manera totalmente similar se pueden aplicar estos cálculos a la determinación de valores parciales de optimización, que describen puntos de contacto con el dentado opuesto y/o con dientes vecinos.

Durante la adaptación de un modelo dental a la sustancia dental residual marcada correspondiente en los datos de exploración es ventajoso trabajar con valores de la distancia con signo. Al menos un método de cálculo para valores de la distancia con signo ha sido descrito ya más arriba. Un signo negativo indica que un valor de exploración marcado está dentro del modelo dental, en cambio un signo positivo indica que un elemento de exploración marcado está fuera del mismo. Para todos los elementos de exploración marcados se determinan estos elementos de la distancia con signo y el cuadrado del máximo de estos valores de la distancia se utiliza como valor parcial de optimización.

El cálculo de un valor parcial de optimización para la adaptación de un modelo dental a una línea de segmentación marcada por el usuario en los datos de exploración - por ejemplo a través de un solo clic del ratón - se puede realizar también a través de la utilización de valores de la distancia. En este caso, en general, las estructuras superficiales cóncavas, que forman la transición desde los dientes hacia la carne dental, se marcan como partes de líneas de segmentación. Para el cálculo del valor parcial de optimización correspondiente se determina con preferencia para cada elemento de exploración marcado la distancia mínima de la línea de segmentación del modelo dental correspondiente. El cuadrado del valor de la distancia media de todas las distancias determinadas de esta manera se utiliza entonces para el valor parcial de optimización. El valor parcial de optimización para la adaptación de un modelo dental a una línea de preparación marcada se realiza de manera totalmente similar, de manera que las líneas de preparación se caracterizan, en oposición a líneas de segmentación, por estructuras superficiales convexas.

Otro valor parcial de optimización describe la adaptación de un modelo dental a puntos de referencia anatómicos marcados en los datos de exploración. Para el cálculo del valor parcial de optimización correspondiente se calculan en una variante preferida las distancias de los puntos de referencia anatómicos marcados en los datos de exploración con respecto a los puntos de referencia correspondientes del modelo dental. El valor parcial de optimización resulta entonces a través de la suma de los cuadrados de estos valores de la distancia. De la misma manera, se puede calcular también un valor parcial de optimización para la adaptación de un modelo dental a estructuras orales no naturales. Por ejemplo, un modelo dental puede contener también un modelo parcial de implante. Este modelo parcial de implante contiene con preferencia puntos de referencia, que se pueden marcar en los datos de exploración. A partir de las distancias de puntos de referencia del implante correspondientes resulta entonces el valor parcial de optimización correspondiente.

Para el incremento de la precisión de los resultados del método se puede realizar antes del análisis geométrico siguiente de los datos de exploración D una adaptación fina de los modelos dentales individualizados con sus líneas límites LS, LP individualizadas entre sí y/o en los datos de exploración D. Es ventajosa la aplicación de transformaciones de deformación sobre modelos dentales individualizados, que llevan a cabo una adaptación fina de los modelos dentales entre sí así como en los dientes, sustancias dentales residuales, dentado opuesto, dentelladas, puntos de contacto, etc. con valores de desplazamiento lo más reducidos posible y en este caso no se generan cantos o pliegues. Estas adaptaciones se pueden realizar de manera similar a la individualización de los modelos dentales, de manera que como parámetros de optimización encuentran aplicación ahora los parámetros de las transformaciones de la deformación. El cálculo del valor de optimización a minimizar a partir de los valores parciales de la optimización se puede asumir de manera inalterada. Una transformación geométrica posible para la adaptación fina de un modelo dental se describe, por ejemplo, en el trabajo de promoción "Individualisierung von digitalen anatomischen Modellen durch Computertomographie" (Tank M., 2002, Institut für Rechtsmedizin der Universität Heidelberg). La figura 5 muestra de forma ejemplar de esta manera líneas de segmentación LS adaptadas finas para una exploración maxilar de los dientes N° 17 a N° 27. La figura 7 muestra, en cambio, de forma ejemplar, líneas límites LS, LP adaptadas finas para una preparación de incrustación.

El cálculo de los modelos dentales individualizados tiene lugar dentro de una unidad de individualización 15, que está realizada aquí en forma de un modelo de software sobre el procesador 13 del ordenador 10 (ver la figura 19). La unidad de individualización 15 tiene acceso a la base de datos de modelos DB en la memoria 12 del ordenador 10, para cargar para tipos dentales seleccionados los modelos dentales correspondientes con sus transformaciones geométricas. Además, la unidad de individualización 15 necesita acceso a otras informaciones en la base de datos de modelos DB, por ejemplo sobre los parámetros de formas de probandos para calcular valores parciales de optimización de formas para grupos de acoplamiento de formas.

Sobre la base de los modelos dentales individualizados con sus líneas límites individualizadas se segmentan

finalmente los datos de exploración. La figura 6 muestra, por ejemplo, una exploración maxilar segmentada, en la que se representa con línea de trazos la carne dental G segmentada. La figura 8 muestra, en cambio, datos de exploración D segmentados con una preparación de incrustación, en la que además de la carne dental G se representa con línea de trazos también la cavidad C que pertenece a la preparación de incrustación. A cada elemento de exploración (por ejemplo, vértices en exploraciones ópticas, Voxel en exploraciones radiológicas) se asocia durante la segmentación, por ejemplo, un número de diente o un número, que identifica estructuras extradentales. Estos números se pueden codificar en color y posibilitan por medio de una coloración correspondiente de los datos de exploración D un control visual rápido de los resultados de la segmentación a través del usuario. En este caso, la asociación de números de dientes a elementos de exploración se puede realizar a través de diferentes métodos. Un método sencillo determina en primer lugar para un elemento de exploración las distancias mínimas con respecto a cada modelo dental individualizado particular, de manera que se utiliza un signo negativo para la distancia, cuando el elemento de exploración se encuentra dentro del modelo dental individualizado. A continuación se calcula el número de dientes del modelo dental individualizado con la distancia mínima y se asocia al elemento de exploración. Si esta distancia está por encima de un valor umbral positivo, entonces se utiliza un número definido para la identificación de estructuras extradentales para el elemento de exploración.

Las cavidades C se caracterizan en este método por que la distancia mínima de un elemento de exploración con respecto a un modelo dental correspondientes se encuentra por debajo de un valor umbral negativo. Marcas correspondientes de las cavidades C se pueden asociar, adicionalmente a los números de dientes, a los elementos de exploración. Otra diferenciación de de los resultados se puede realizar por que en los cálculos se tienen en cuenta a continuación sólo partes de los modelos dentales individualizados. Así, por ejemplo, a los elementos de exploración se pueden añadir otras marcas, que describen modelos parciales individuales o regiones superficiales, como por ejemplo raíces o cúspides.

La descripción de líneas de segmentación LS, líneas de preparación LP, puntos de referencia anatómicos L1, L2, L3, L4, L5, ejes dentales AX, AY, designaciones de la dirección y otras estructuras geométricas características en los datos de exploración D se realiza a través de la transmisión de las estructuras correspondientes marcadas en los modelos dentales M (ver la figura 2). sobre los datos de exploración D. La figura 9 muestra una representación en perspectiva de dientes segmentados T17 a T27 y ejes dentales AY calculados de esta manera y puntos de referencia anatómicos LA, L5 calculados. Además, se pueden medir los datos de exploración D sobre la base de estas estructuras individualizadas. La figura 10 muestra una representación en perspectiva de dientes segmentados T17 a T27 y de un ángulo  $\alpha$  calculado 14.15 entre dos ejes dentales, de una distancia d16-26 calculada entre dos puntos de referencia anatómicos y de una longitud l17-27 calculada de un trazo de línea que conecta puntos de referencia anatómicos.

Este otro análisis geométrico de los datos de exploración, sobre la base de los modelos dentales individualizados tiene lugar dentro de una unidad de análisis 16, que está realizada aquí - dispuesta a continuación de la unidad de individualización 15 - de la misma manera en forma de un módulo de software en el procesador 13 del ordenador 10.

Sobre la base de los modelos dentales y los datos de exploración se pueden determinar también las restauraciones de dientes R y/o los tipos de presentación (incrustación, corona, puente, etc.) de los dientes escaneados (ver la figura 4). Estos tipos de preparación determinados por algoritmo permiten un control de los resultados del método, comparándolos con los tipos de preparación indicados por el usuario. La determinación de restauraciones dentales R y de tipos de preparación puede tener lugar también dentro de la unidad de análisis 16.

Las restauraciones dentales R se pueden determinar a partir de los modelos dentales M y los datos de exploración D a través de métodos estándar, que son conocidos por el técnico. En principio, a tal fin se conectan las líneas de preparación de los datos de exploración D de manera adecuada lo más constante y lisa posible con los modelos dentales M individualizados y entonces se añaden las cavidades como limitaciones inferiores. Como resultado se obtiene se obtienen para las restauraciones dentales R modelos tridimensionales de cuerpos de rectificación, que se pueden fabricar mecánicamente. En la figura 3 se representan de forma ejemplar datos de exploración D con modelos dentales M óptimos para preparaciones típicas de incrustación, coronas y puentes. La figura 4 muestra las restauraciones dentales R correspondientes.

La determinación de tipos de preparación se realiza con preferencia sobre la base de las formas geométricas características típicas de las restauraciones dentales virtuales calculadas y de las líneas límites correspondientes. Así, por ejemplo, en el caso de una preparación de coronas, la línea de segmentación y la línea de preparación confluyen relativamente estrechas y se encuentran aproximadamente al nivel de la carne dental y la zona de oclusión del modelo dental individualizado correspondiente está totalmente preparada. En el caso de una preparación típica de revestimiento, la línea de preparación está oralmente al nivel de la carne dental y lingualmente poco después del canto de corte preparado, es decir, considerablemente más oclusal. Mesial y distal, la línea de preparación se extiende, en general, cerca de los dientes vecinos, finalmente se trata, en efecto, de una pantalla completa en la zona dental frontal. El modelo dental individualizado correspondiente presenta una preparación completa del canto de corte y de las porciones orales por encima de la carne dental. La variación máxima de las

líneas de preparación existe en preparaciones incrustadas. En virtud de la sustancia dental residual - considerada desde el lado oclusal - al menos una parte de la línea de preparación se encuentra en la zona del dentro del diente y esta parte presenta también una distancia relevante con respecto a la línea de segmentación. En oposición a los otros dos tipos de preparación, la zona de oclusión del modelo dental individualizado no está preparada totalmente, sino que existe todavía al menos una cúspide.

Estas descripciones cualitativas para la determinación del tipo de preparación se pueden incluir en cálculos matemáticos. Las zonas de oclusión de los dientes laterales y los cantos de corte de los dientes frontales se pueden marcar en los modelos dentales. A través de las líneas de preparación individualizadas se obtienen zonas inactivas de modelos, que corresponden a zonas preparadas de los dientes escaneados. El porcentaje de la superficie de oclusión preparada o bien del canto de corte de un modelo dental individualizado se puede utilizar entonces para la distinción del caso.

Un ejemplo de realización de un método de acuerdo con la invención para la creación de al menos partes de una base de datos de modelos se caracteriza por que se realiza un análisis de una cantidad representativa de datos de exploración D de maxilar superior y maxilar inferior sin defectos. Se propone la utilización de copias de yeso de mandíbulas, que se pueden escanear ópticamente de una manera económica y precisa. La figura 15 muestra datos de exploración óptica D generados de esta manera. En este lugar hay que subrayar de nuevo que la creación de la base de datos puede tener lugar, sin embargo, también a través de un análisis de datos de exploración radiológicos o, en cambio, también a través de un análisis de una combinación de ambos tipos de datos.

Para el análisis de las variaciones de la forma de los dientes individuales es ventajoso segmentar los datos de exploración D en una primera etapa de la creación de la base de datos, pudiendo realizarse en este caso esta segmentación con preferencia interactivamente con la ayuda de una superficie gráfica de usuario. Como resultado de la segmentación de datos de exploración maxilares D se obtiene para cada tipo de diente (aquí número de diente) una cantidad de conjuntos de datos de exploración de dientes, que se puede utilizar para la creación de al menos una parte de la base de datos de modelos.

La construcción de modelos dentales M de un tipo de diente tiene lugar en la segunda etapa de la creación de la base de datos. Según la resolución espacial deseada, para cada conjunto de datos de exploración de dientes se construye un modelo dental M. A tal fin, se puede construir en primer lugar un modelo dental M, que está constituido por una superficie triangulada en forma de un paralelepípedo con las dimensiones del conjunto de datos de exploración de dientes, de manera que la triangulación de una resolución deseada resulta a través de la subdivisión sucesiva de las superficies laterales del paralelepípedo. A continuación tiene lugar una adaptación del modelo dental M construido inicialmente al conjunto de datos de exploración de dientes, por ejemplo a través de la reducción al mínimo de la suma de los cuadrados de los valores de la distancia de los vértices de los modelos dentales con respecto a la superficie del diente en el conjunto de datos de exploración de dientes. La figura 16 muestra modelos dentales M contruidos de esta manera de un tipo de diente.

A continuación tiene lugar en la tercera etapa de la creación de la base de datos un análisis de las desviaciones morfológicas de los modelos dentales M de un tipo de diente entre sí, calculando para cada pareja posible de modelos de dientes M un valor de desviación morfológico. A tal fin, se llevan los dos modelos dentales M de una pareja a cobertura con preferencia a través de una traslación y rotación óptimas, de tal manera que la suma de los cuadrados de los valores de la distancia de los vértices de los modelos dentales es mínima. Como valor de la distancia de un vértice del modelo dental del primer modelo dental M de la pareja se puede utilizar la distancia mínima del vértice con respecto a la superficie del segundo modelo dental M de la pareja. El valor medio de la distancia de los vértices de los modelos dentales, que permanece todavía después de la adaptación, se puede utilizar como valor de desviación morfológica para la pareja de modelos dentales. Se realiza una visualización de los resultados con preferencia a través de una representación bidimensional de los modelos dentales M, como se muestra en la figura 17. Este representación se define por que las distancias de los modelos dentales M entre sí corresponden, salvo un factor de escala común, a ser posible, a los valores de desviación morfológica correspondientes de los modelos dentales M.

En la cuarta etapa de la creación de la base de datos se determina para cada tipo de diente un modelo dental de valor medios MM, seleccionando con preferencia aquel modelo dental M, cuya suma de los cuadrados de los valores de desviación morfológicos con respecto a todos los valores dentales M presentes del tipo de diente es mínima. Este modelo dental M se considera entonces como modelo dental de valor medio MM del tipo de diente.

En la quinta etapa de la creación de la base de datos tiene lugar una clasificación de los modelos dentales M de un tipo de diente sobre la base de los valores de desviación morfológicos calculados. Para la creación de una clasificación se puede comenzar con el modelo dental de valor medio MM y se añaden por iteración otros modelos dentales M del mismo tipo de diente. El último modelo dental M añadido en cada caso se designa en este caso como modelo dental actual M. El criterio de selección se puede definir por que se añadir siempre aquel moldeo dental M, cuya suma de los cuadrados de los valores de desviación morfológicos con respecto a los modelos dentales M ya

clasificados en máxima.

En la sexta etapa final de la creación de la base de datos se añade todavía una transformación geométrica parametrizada al modelo dental de valor medio MM, con preferencia se define por que se puede transferir continuamente la forma del modelo dental de valor medio MM a al menos un modelo dental objetivo MT siguiente en la clasificación. Esta transformación geométrica se compone con preferencia de transformaciones parciales geométricas, de manera que la transformación resulta con preferencia como combinación lineal de las transformaciones parciales. Cada transformación parcial individual transforma el modelo dental de valor medio MM en un modelo dental objetivo MT. La figura 18 muestra un ejemplo de una clasificación de seis modelos dentales M, que están constituidos por un modelo dental de valor medio MM y seis modelos dentales objetivos MT con seis transformaciones parciales T1, T2, T3, T4, T5, T6 correspondientes. Estos seis modelos dentales objetivos MT son el primer modelo dental, que sigue en la creación de la base de datos en la quinta etapa en la clasificación al modelo dental de valor medio MM y, por lo tanto, los modelos dentales con las desviaciones morfológicas máximas respecto del modelo dental de valor medio MM y los modelos dentales ya clasificados anteriormente (por lo tanto, aquí los otros modelos dentales objetivos MT previamente clasificados). El número de los modelos dentales objetivos MT se puede realizar a través de la previsión de un valor umbral para valores de desviación morfológicos. A tal fin, se eleva con preferencia el número de los modelos dentales objetivos MT y se construye cada vez la transformación geométrica correspondiente hasta que resultan todos los modelos dentales M del tipo de diente a través de la aplicación de la transformación geométrica construida, saldo el valor umbral predeterminado.

La primera etapa en la construcción de la transformación geométrica consiste con preferencia en una subdivisión del Cuadro delimitador del modelo dental de valor medio MM en células paralelas al eje del mismo tamaño. Los vectores de translación de los nodos de las células definen entonces una transformación trilineal de los vértices de los modelos dentales. Este principio se describe en detalle en el trabajo de promoción "Individualisierung von digitalen anatomischen Modellen durch Computertomographie" (Tank M., 2002, Institut für Rechtsmedizin der Universität Heidelberg) y se designa allí también como método de células. Como resultado se obtiene una transformación, en la que los parámetros de transformación están dispuestos jerárquicamente según su importancia. Los parámetros de transformación para una transición entre los modelos dentales de valor medio MM y un modelo dental objetivo MT resultan a partir del requerimiento de que la suma de los cuadrados de los valores de la distancia del modelo dental de valor medio MM transformado con respecto al modelo dental objetivo MT sea mínimo y se mantengan a ser posible las propiedades superficiales locales. Una combinación lineal de parámetros de transformación obtenidos de esta manera da como resultado variaciones morfológicamente convenientes del modelo dental de valor medio MM. Los parámetros de la forma del modelo dental de valor medio MM comprenden entonces con preferencia los factores lineales definidos de esta manera.

Pero además de la creación de al menos partes de una base de datos de modelos sobre la base de datos de exploración de estructuras orales naturales se pueden utilizar también datos de exploración de estructuras orales artificiales. El método de creación para la base de datos de modelos correspondiente corresponde al método de creación para estructuras orales naturales y se realiza en este caso de manera totalmente similar. Entonces se puede suprimir la primera etapa de la creación de la base de datos. La primera etapa de la creación de la base de datos es decir, la segmentación de los datos de exploración, no es necesaria, en general, puesto que las estructuras orales artificiales (por ejemplo, dientes artificiales como prótesis dentales o piezas brutas de dientes) están presentes físicamente por separado y se pueden explorar individualmente.

En este lugar hay que indicar de nuevo expresamente que en las arquitecturas del sistema y los procesos representados en las figuras se trata solamente de ejemplos de realización, que pueden ser modificados por el técnico sin más en detalle. Especialmente la instalación de control, si está instalada, por ejemplo, con una consola correspondiente, puede presentar también todos los componentes correspondientes del ordenador, para realizar allí directamente el procesamiento de los datos de medición de acuerdo con el método de acuerdo con la invención. Por consiguiente, en este caso la instalación de control propiamente dicha forma el sistema de análisis según la invención y no es necesario otro ordenador o bien ordenador separado. Por lo demás, tampoco es forzosamente necesario que los diferentes componentes de un sistema de análisis estén realizados en un procesador o bien en un ordenador, etc., sino que los diferentes componentes pueden estar distribuidos también sobre varios procesadores o bien ordenadores conectados en red entre sí. Para completar, hay que indicar que la utilización de un artículo indeterminado "uno" o bien "una" no excluye que las características respectivas estén presentes también varias veces. De la misma manera, los conceptos "dispositivo", "instalación", "unidad", "módulo", etc. no excluyen que éstos estén constituidos por varios componentes, que pueden estar distribuidos, dado el caso, en el espacio.

Por lo demás, se ofrece reequipar sistemas de análisis existentes, en los que están implementados procesos de reelaboración ya conocidos, con una unidad de control de procesos de acuerdo con la invención, para utilizar también estas instalaciones de acuerdo con el método de acuerdo con la invención descrito anteriormente. En muchos casos, es suficiente, dado el caso, también una actualización del software de control con módulos de software de control adecuados.

**REIVINDICACIONES**

1.- Método para el análisis geométrico de datos de exploración (D) de estructuras orales por medio de un ordenador, en el que:

- 5 - de acuerdo con los datos de exploración (D) a analizar, se selecciona un número de modelos dentales (M) parametrizados de tipos de dientes deseados, en el que la parametrización se realiza con la ayuda de parámetros de modelos, que comprenden parámetros de la posición y/o de la forma y parámetros de las líneas y en el que cada modelo dental (M) contiene al menos una línea límite (LS, LP), cuyo desarrollo se describe por medio de los parámetros de las líneas y que divide un modelo dental (M) en al menos una zona de adaptación activa (AA) y al menos una zona de adaptación inactiva (AI),
- 10 - los modelos dentales (M) con sus líneas límites (LS, LP) son adaptados para la individualización a los datos de exploración (D), siendo la individualización a través de variación automática de parámetros del modelo y siendo ponderadas las zonas de adaptación activa (AA) de los modelos dentales (M) más fuertemente que las zonas de adaptación inactiva (AI),
- 15 - sobre la base de los modelos dentales (M) individualizados con sus líneas límites (LS, LP) individualizadas se segmentan automáticamente los datos de exploración (D) y/o se determina al menos una línea límite (LS, LP) en los datos de exploración (D).

2.- Método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que después de la individualización de los modelos dentales (M) y antes de otro análisis geométrico de los datos de exploración (D) tiene lugar una adaptación fina de los modelos dentales (M) individualizados con sus líneas límites (LS, LP) individualizadas.

3.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 2, caracterizado por que las líneas límites (LS, LP) se encuentran sobre las superficies de los modelos dentales (M) y/o por que las líneas límites (LS, LP) presentan una distancia parametrizada con respecto a las superficies de los modelos dentales (M) y/o por que los parámetros lineales se seleccionan de tal forma que las líneas límites (LS, LP) no se cortan y/o mantienen una distancia mínima entre sí.

4.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, caracterizado por que las líneas límites (LS, LP) de un modelo dental (M) comprenden al menos una línea de segmentación (LS) y/o al menos una línea de preparación (LP) y en el que

- 35 - para la individualización de las líneas de segmentación (LS) se determina con preferencia una estructura objetiva de líneas de segmentación, que está constituida por partes de datos de exploración (D) y comprende al menos una estructura superficial cóncava,
- para la individualización de las líneas de preparación (LS) se determina con preferencia una estructura objetiva de líneas de preparación, que está constituida por partes de datos de exploración (D) y comprende al menos una estructura superficial convexa.

5.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado por que las zonas de adaptación (AA, AI) se encuentran sobre las superficies de los modelos dentales y por que las zonas de adaptación activas (AA) en datos de exploración ópticos (D) son adaptadas a superficies dentales no preparadas en los datos de exploración (D) y en el caso de datos de exploración radiológicos (D) se adaptan a superficies dentales no preparadas, que se encuentran fuera de la carne dental o fuerza del hueso maxilar o están constituidas por esmalte dental.

6.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que para la individualización de modelos dentales M se calcula un valor de calidad, que resulta a partir de los valores parciales individuales de calidad, que describen el cumplimiento de criterios de individualización y estos valores parciales de calidad deciden si se requiere el usuario para la marcación de estructuras en los datos de exploración (D), introduciendo las marcaciones durante un ciclo repetido del método al mismo tiempo en la individualización de modelos dentales (M).

7.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado por que para un modelo dental (M) se realiza la ponderación de las zonas de adaptación (AA, AI) sobre la base de los valores parciales de calidad para la individualización de las líneas límites (LS, LP), en el que a medida que se incrementan los valores parciales de calidad para la individualización de las líneas límites (LS, LP) se ponderan más fuertes las zonas de adaptación activas (AA) en la adaptación a los datos de exploración.

8.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, caracterizado por que los puntos de referencia anatómicos (L1, L2, L3, L4, L5) y/o los ejes dentales (AX, AY) y/o las designaciones de la dirección y/o las regiones superficiales y/u otras estructuras geométricas características están marcados en los modelos dentales (M) y se transmiten después de la individualización sobre datos de exploración (D) y/o por que sobre la base de estas estructuras individualizadas se realiza un dimensionado geométrico (d16-26, d14-15, 117-27) de los datos de exploración (D).

- 5 9.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, caracterizado por que a partir de los modelos dentales (M) individualizados y los datos de exploración (D) se determinan restauraciones dentales virtuales (R) de dientes preparados y por que a partir de las formas geométricas características de las restauraciones dentales virtuales (R) y/o de las líneas límites (LS, LP) individualizadas que pertenecen a los modelos dentales (M) individualizados se determinan los tipos de preparación de los dientes que pertenecen a los modelos dentales (M) y por que las designaciones opcionalmente verbales y/o simbólicas para estos tipos de preparación calculados se representan con un esquema dental y/o con un esquema dental reducido y/o gráficamente con los datos de exploración (D).
- 10 10.- Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, caracterizado por que la individualización de modelos dentales (M) se realiza a través de la solución de un cometido de optimización, en el que resulta un valor de optimización con preferencia a partir de una pluralidad de valores parciales de optimización, en el que al menos algunos de los valores parciales de optimización están seleccionados de manera especialmente preferida de tal forma que corresponden al menos a uno de los siguientes criterios de individualización:
- 15
- la adaptación de modelos dentales (M) a los dientes y/o sustancias dentales residuales,
  - la adaptación de modelos dentales (M) al dentado opuesto,
  - la adaptación de modelos dentales (M) a registros de dentellada,
  - la adaptación de modelos dentales (M) a estructuras orales no naturales,
- 20
- la adaptación de líneas límites (LS, LP) de los modelos dentales (M) a estructuras en los datos de exploración (D) con curvaturas superficiales correspondientes,
  - la estabilidad mecánica de las restauraciones dentales virtuales (R) que pertenecen a los modelos dentales,
  - la acción estética de las restauraciones dentales virtuales (R) que pertenecen a modelos dentales (M),
  - los contactos de modelos dentales (M),
- 25
- las relaciones espaciales de las posiciones de modelos dentales (M),
  - las relaciones espaciales de las formas de modelos dentales (M).
- 30 11.- Método de acuerdo con la reivindicación 10, caracterizado por que se marcan estructuras en los datos de exploración (D) y se calculan valores parciales de optimización, que describen las desviaciones de las estructuras marcadas con respecto a estructuras correspondientes de los modelos dentales (M), de manera que con preferencia al menos una marca describe una de las estructuras siguientes:
- 35
- superficies no reparadas de dientes,
  - sustancias dentales residuales de dientes,
  - líneas de segmentación de dientes,
  - líneas de preparación de dientes,
  - puntos de referencia anatómicos de dientes,
  - estructuras orales no naturales,
  - puntos de contacto con dientes vecinos,
- 40
- puntos de contacto con dentado opuesto.
- 45 12.- Método para la generación de una base de datos de modelos (DB), que contiene para diferentes tipos de dientes, respectivamente, una pluralidad de modelos dentales (M) parametrizados, para la utilización en un método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que la parametrización se realiza con la ayuda de parámetros de modelos, que comprenden parámetros de la posición y/o de la forma y parámetros lineales y en el que cada modelo dental (M) contiene al menos una línea límite (LS, LP) parametrizada, cuyo desarrollo se describe por medio de los parámetros lineales, y que divide un modelo dental (M) en al menos una zona de adaptación activa (AA) y al menos una zona de adaptación inactiva (AI).
- 50 13.- Método de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado por que al menos partes de la base de datos de modelos (DB) se forman a través del análisis de una cantidad de datos de exploración (D) ópticos y/o radiológicos de estructuras orales, en el que para un tipo de diente deseado
- 55
- se segmentan opcionalmente los datos de exploración (D), para obtener datos de exploración (D) del tipo de diente deseado,
  - se construyen modelos dentales (M) de la base de datos de modelos (DB) a través de una adaptación a los datos de exploración (D) del tipo de diente deseado,
  - se realiza un análisis de desviaciones morfológicas de los modelos dentales (M) entre sí, calculando para cada pareja posible de modelos dentales (M) un valor de desviación morfológica,
- 60
- se selecciona un modelo dental de valor medio (MM) sobre la base de los valores de desviación morfológica,
  - se genera una clasificación de modelos dentales (M) añadiendo a la clasificación, a partir del modelo dental de valor medio (MM), los modelos dentales (M) restantes, sobre la base de los valores de desviación morfológica con respecto a los modelos dentales (M) ya clasificados, estando al comienzo de la clasificación aquellos modelos dentales (M), que se diferencian mucho morfológicamente,

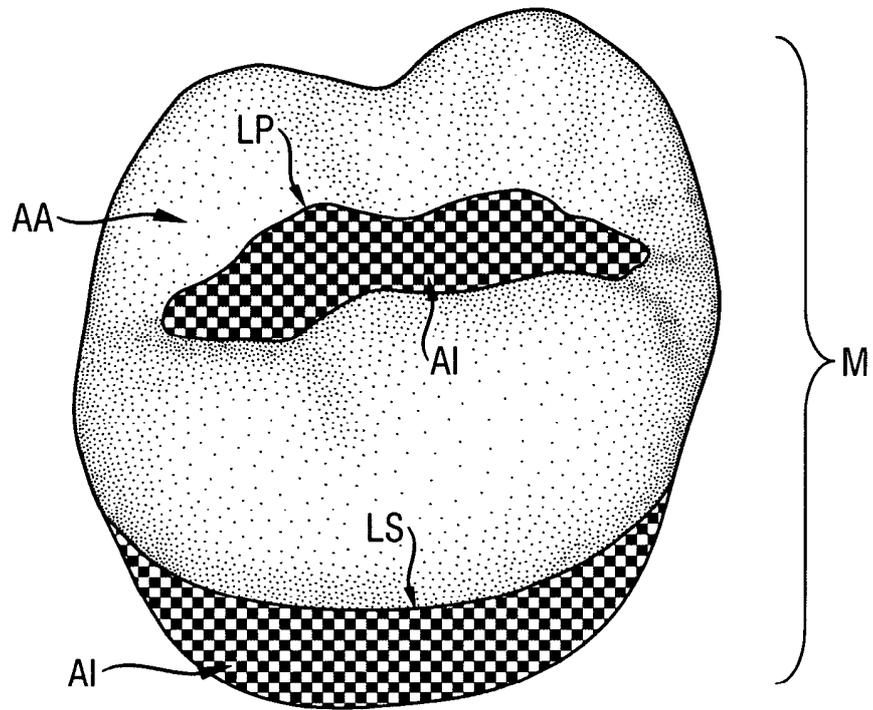
- se añade una transformación geométrica parametrizadas al modelo dental de valor medio (MM), definiendo que se puede transferir la forma del modelo dental de valor medio (M) de manera continua al menos a un modelo dental (MT) siguiente en la clasificación.

5 14.- Producto de programa de ordenador, que se puede cargar directamente en una memoria de un ordenador, con medios de códigos de programa, para ejecutar todas las etapas de un método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 13, cuando se ejecuta el programa en el ordenador.

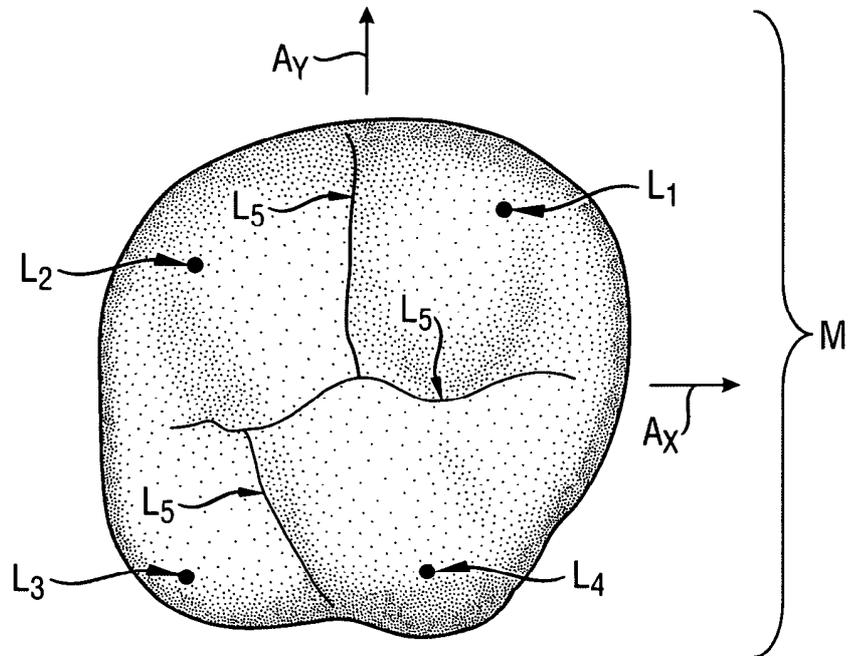
10 15.- Sistema de análisis (5) implementado en ordenador para el análisis geométrico de datos de exploración (D) de estructuras orales, con

- una interfaz (11) para la recepción de los datos de exploración (D) medidos por la instalación de medición,
- una instalación de memoria (12) con modelos dentales (M) parametrizados, en la que la parametrización se realiza con la ayuda de parámetros de modelos, que comprenden parámetros de la posición y/o de la forma y parámetros lineales y en la que cada modelo dental (MM) contiene al menos una línea límite (LS, PL) parametrizada, cuyo desarrollo se describe a través de los parámetros lineales y que divide un modelo dental (M) en al menos una zona de adaptación activa (AA) y al menos una zona de adaptación inactiva (AI),
- una unidad de selección (14), para establecer el alcance de los modelos dentales (M) a utilizar por el método,
- una unidad de individualización (15), a través de la cual se adaptan los modelos dentales (M) con sus líneas límites (LS, LP) para la individualización a los datos de exploración (D), en la que esta individualización se realiza a través de variación de parámetros de modelos y en la que las zonas de adaptación activas (AA) de los modelos dentales se ponderan más fuertes que las zonas de adaptación inactivas (AI),
- y una unidad de análisis (16), a través de la cual, sobre la base de los modelos dentales (M) individualizados con sus líneas límites (LS, LP) individualizadas se segmentan los datos de exploración (D) y/o se determina al menos una línea límite (LS, LP) en los datos de exploración (D).

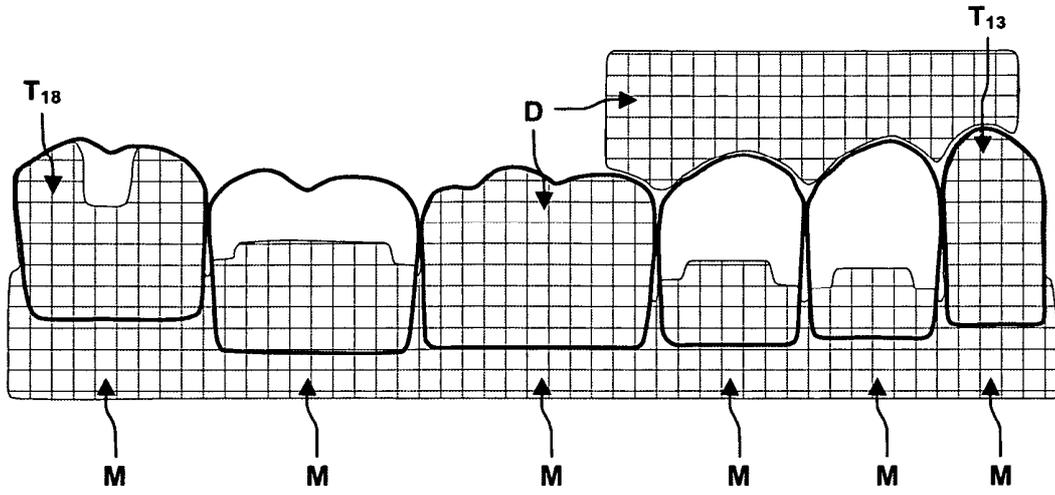
**Fig. 1**



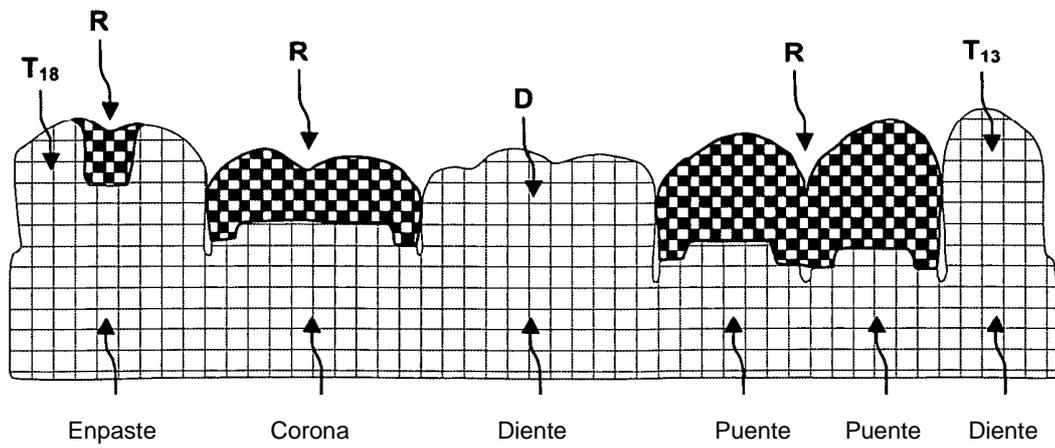
**Fig. 2**



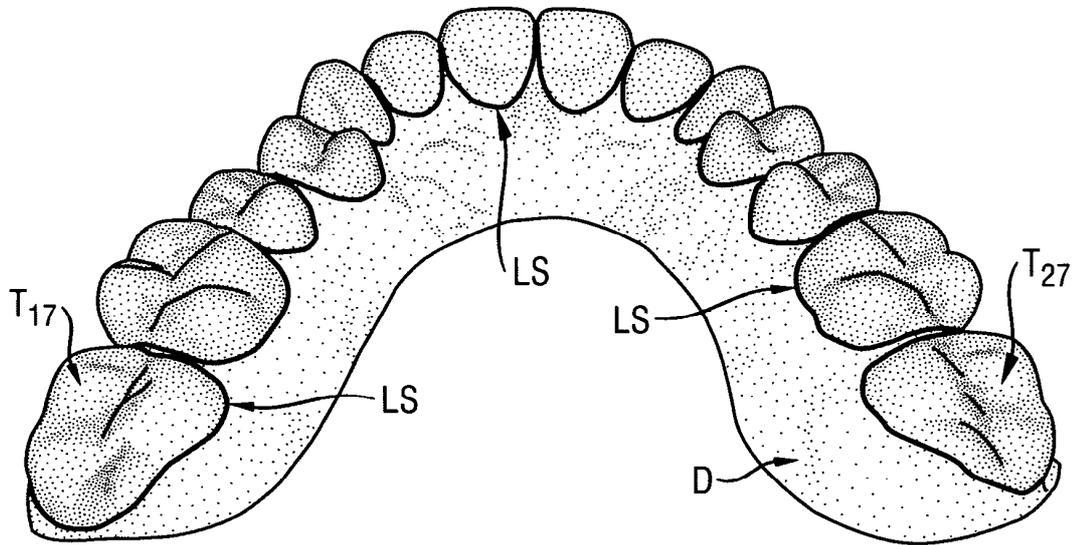
**Fig. 3**



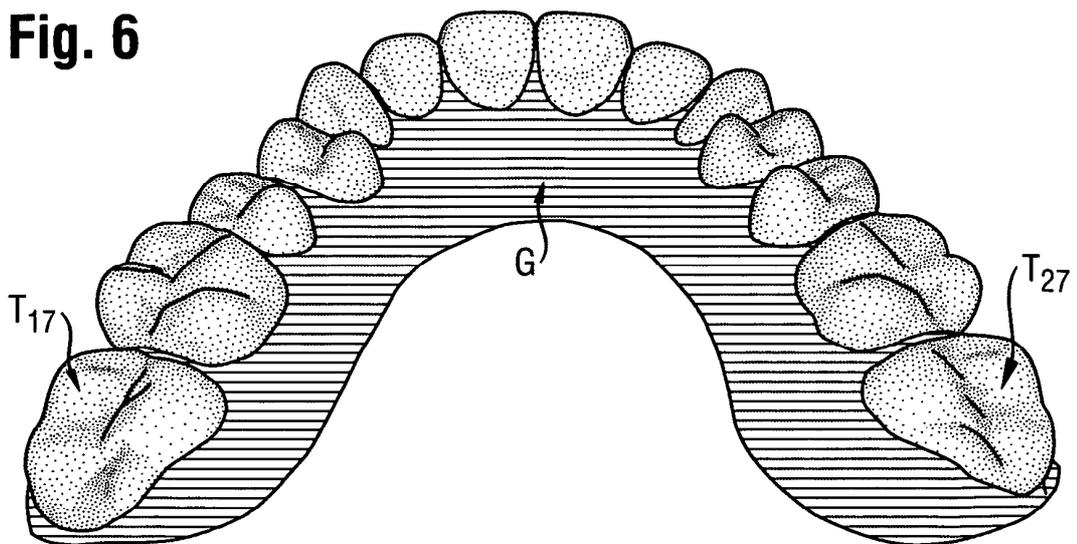
**Fig. 4**



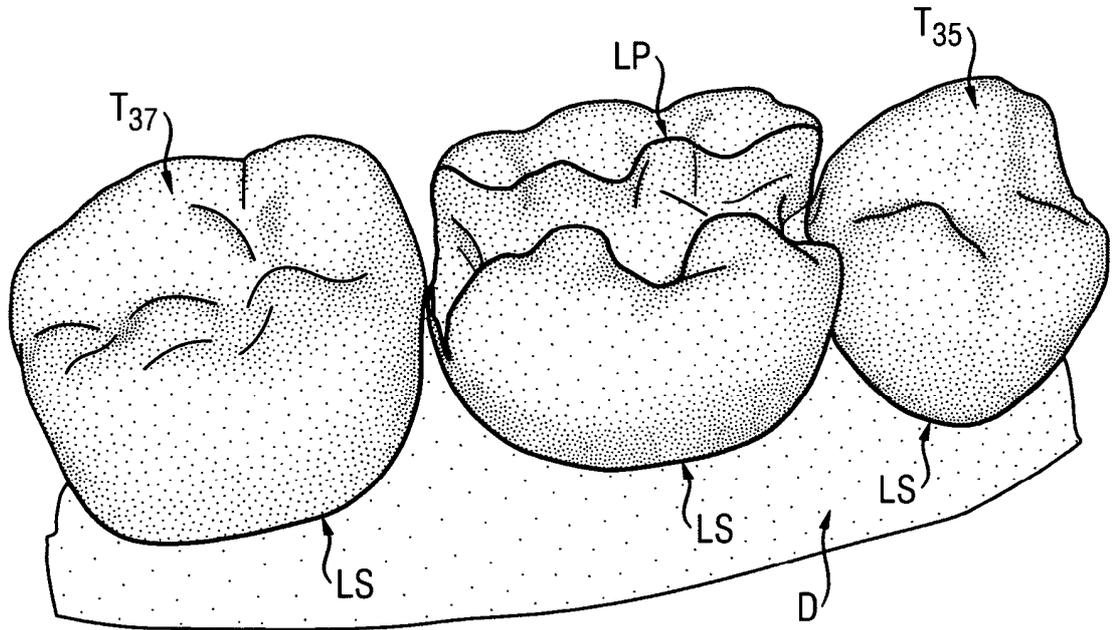
**Fig. 5**



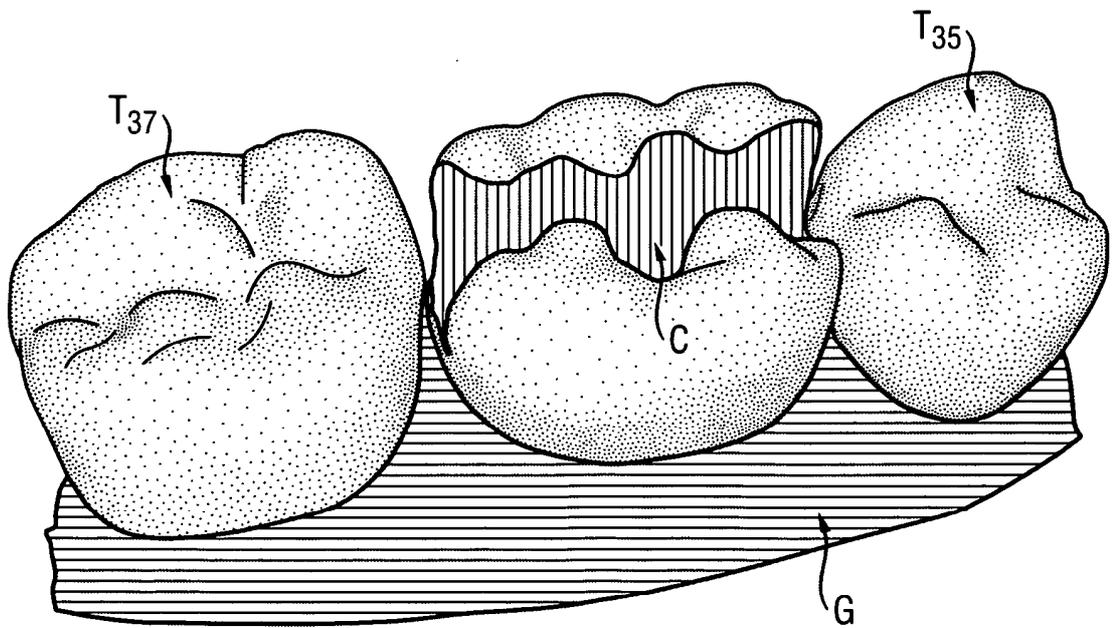
**Fig. 6**



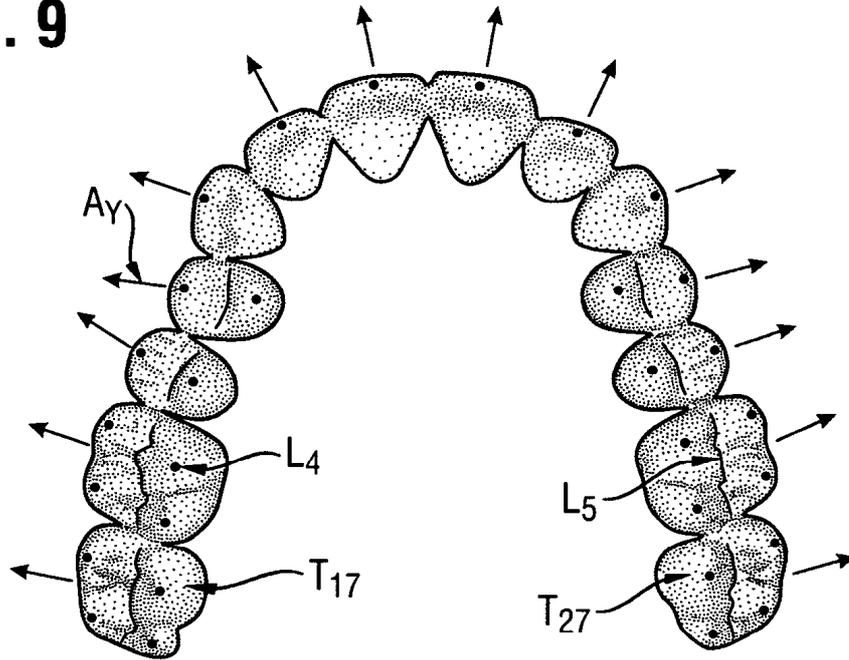
**Fig. 7**



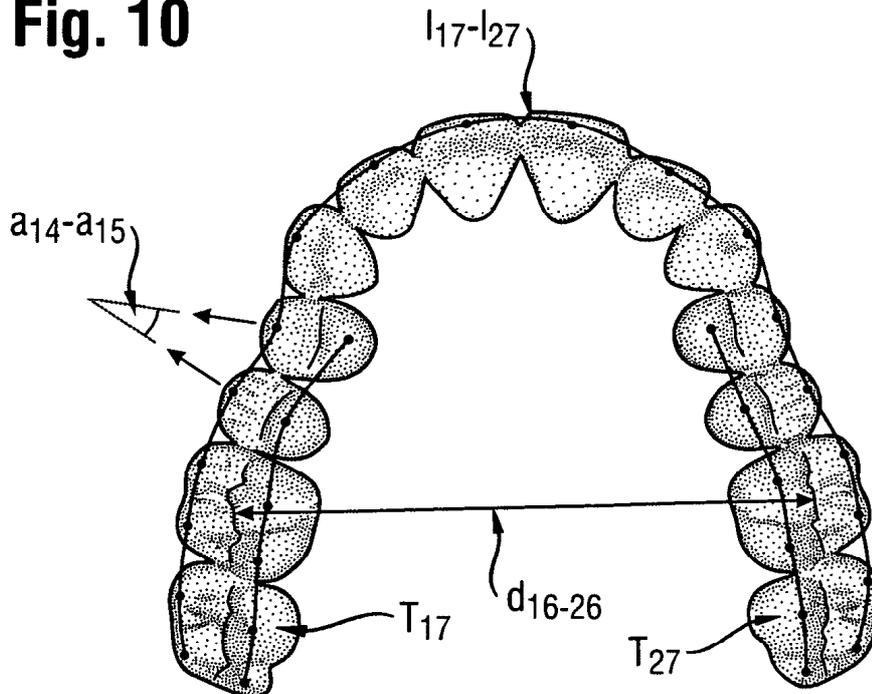
**Fig. 8**



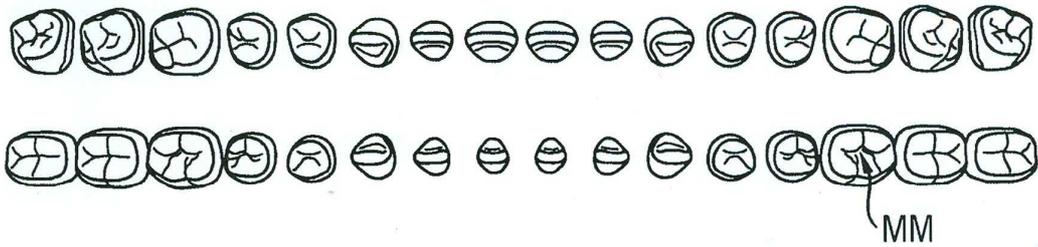
**Fig. 9**



**Fig. 10**



**Fig. 11**



**Fig. 12**

18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28
x	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

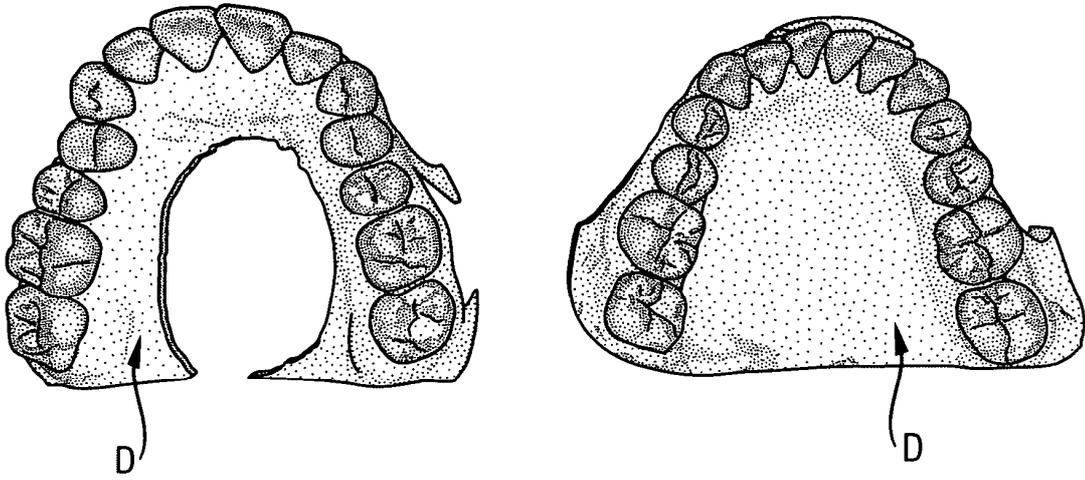
**Fig. 13**

18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28
Incris- tación	Corona	Diente	Puente	Puente	Diente	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	47	46	45	44	43	42	41	31	32	33	34	35	36	37	38
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

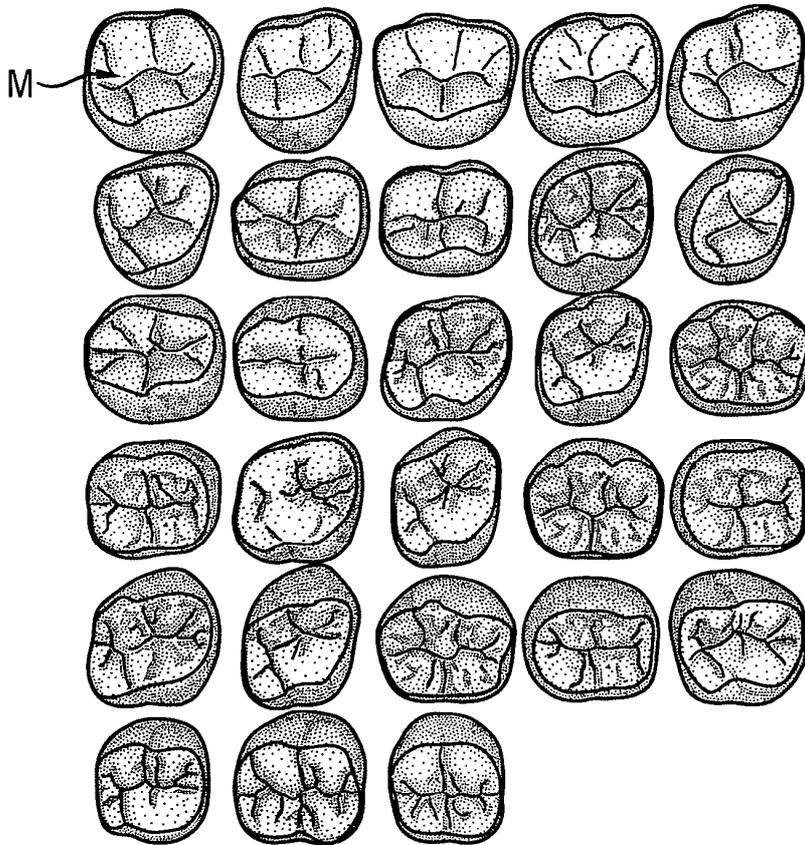
**Fig. 14**

18	17	16	15	14	13
Incris- tación	Corona	Diente	Puente	Puente	Diente

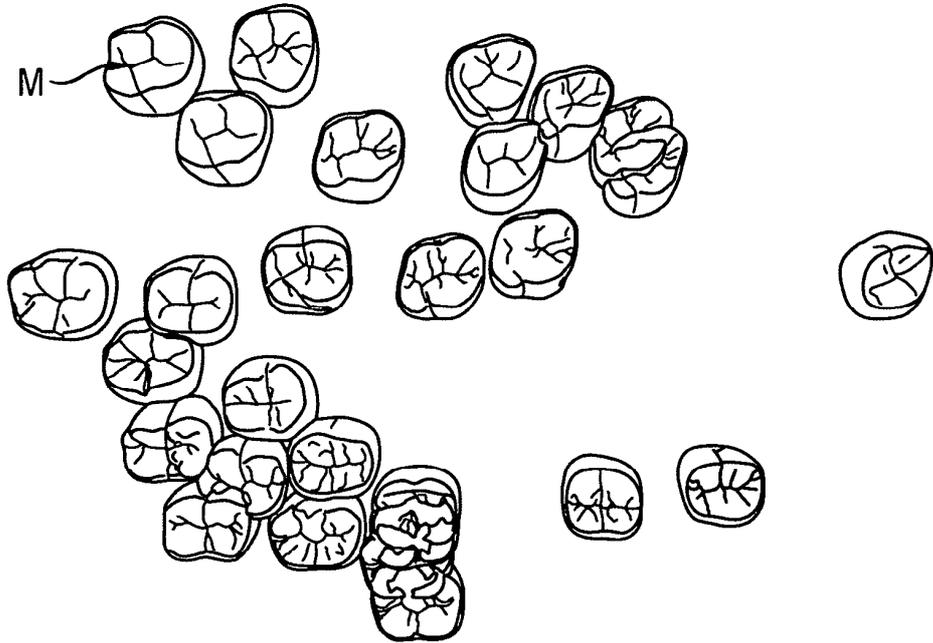
**Fig. 15**



**Fig. 16**



**Fig. 17**



**Fig. 18**

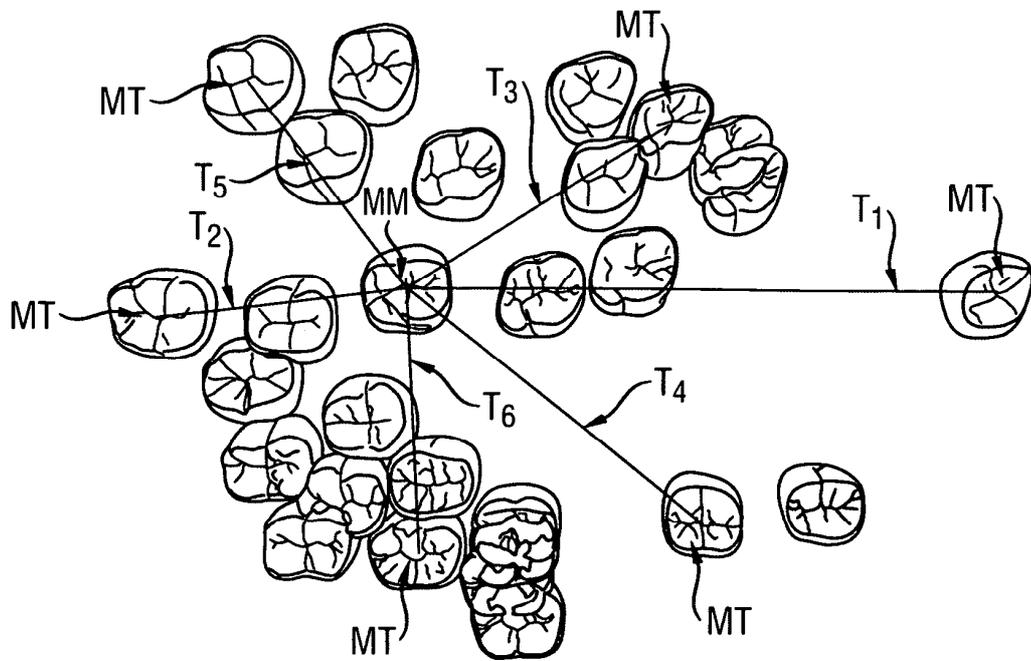


Fig. 19

