



(10) **DE 10 2011 083 522 A1** 2013.03.28

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 083 522.9**

(22) Anmeldetag: **27.09.2011**

(43) Offenlegungstag: **28.03.2013**

(51) Int Cl.: **A61B 19/00** (2011.01)

A61B 18/02 (2011.01)

A61B 18/12 (2011.01)

(71) Anmelder:

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, 91054, Erlangen, DE; Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 10 2005 045 363 A1

(72) Erfinder:

**Kurzidim, Klaus, Dr., 93053, Regensburg, DE;
Bourier, Felix, 93138, Lappersdorf, DE; Brost,
Alexander Benjamin, 91054, Erlangen, DE;
Kleinöder, Andreas, 91052, Erlangen, DE; Strobel,
Norbert, 91336, Heroldsbach, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung beschreibt ein Verfahren zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs mit Hilfe eines Rechen- und Anzeigemittels (101), wobei das Verfahren folgende Verfahrensschritte umfasst:

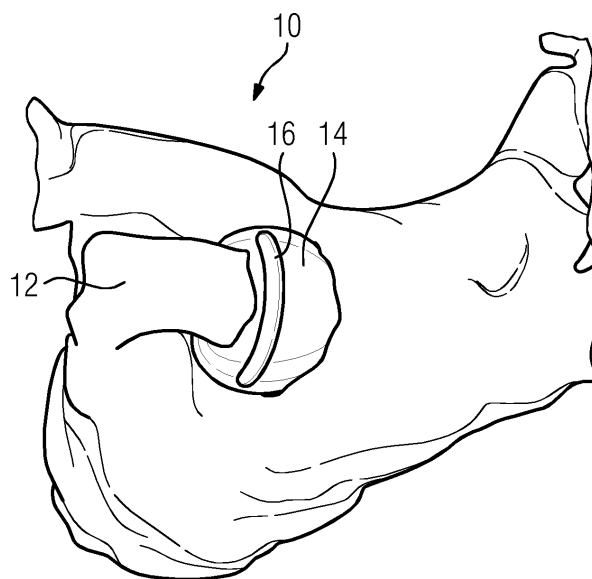
S1) Bereitstellen eines 3D-Datensatzes wenigstens eines anatomischen Objektes (10) eines Untersuchungsobjektes (106);

S2) Bereitstellen mindestens eines 3D-Bildmodells eines Ablationsinstrumentes (1), wobei das 3D-Bildmodell wenigstens die Oberfläche des Ablationsinstrumentes (1) modelliert;

S3) Vorgabe mindestens einer Position und einer Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) innerhalb des wenigstens einen anatomischen Objektes (10);
S4) Lagerichtiges Einblenden des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) in den 3D-Datensatz des wenigstens einen anatomischen Objektes (10);

S5) Darstellung zumindest eines Teils des eingeblendeten 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) und des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes (10);

S6) Bestimmung wenigstens eines Qualitätskennwertes in Abhängigkeit der Lage des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) zu dem wenigstens einen anatomischen Objekt (10).



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Planung und Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs. Darüber hinaus betrifft die vorliegende Erfindung eine entsprechende Vorrichtung zur Planung und Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs.

[0002] Ein Krankheitsbild, das in der Medizin zunehmend an Bedeutung gewinnt und epidemiologisch einen immer größeren Prozentsatz der Bevölkerung betrifft, zur Zeit etwa 4%, ist das Vorhofflimmern. Bei Patienten, die an Vorhofflimmern leiden, gehen aus den Lungenvenen (Pulmonalvenen) Störimpulse in das Reizleitungssystem des Herzens über, wodurch das Herz des Patienten nur noch unregelmäßig oder sehr schnell schlägt. Ein übliches Verfahren der interventionellen Therapie des Vorhofflimmerns ist die elektrische Isolation der Lungenvenen. Dazu werden Katheter in den linken Herzvorhof eingebracht und das Gewebe im Bereich der Lungenvenen, aus welchen die Störsignale ausgehen, wird verödet. Diese Verödung oder Ablation wird einerseits mit herkömmlichen Radio-Frequency-Kathetern (RF-Kathetern) angestrebt. RF-Katheter setzen kleine punktförmige Läsionen (ca. 4 mm × 4 mm). Um Lungenvenen mit dieser Technik in einem großflächigen Bereich zu isolieren, sind viele Arbeitsschritte mit hohem Zeitaufwand nötig. Eine neue Entwicklung auf dem Gebiet der Kathetertechnik sind sogenannte Single-Shot-Devices, die durch ihre größere Bauart in der Lage sind, mit einer einzigen Applikation, Gewebe großflächig zu veröden. In einem bevorzugten Fall handelt es sich um einen sogenannten Cryo-Ballon, wie er beispielsweise unter dem Namen Arctic Front Cryoballoon, von der Firma Medtronic Cryo-Cath, PointeClaire, Quebec, Canada, angeboten wird, der im Bereich der zu verödenden Lungenvene platziert wird und dann auf eine Temperatur von ca. -40° bis -50° Celsius gekühlt wird. Weitere Beispiele für Single-Shot-Devices sind der Laser-Ballon, z. B. von der Firma CardioFocus, Marlborough, MA, USA, oder der PVAC Multielektroden-Katheter der Firma Medtronic Ablation Frontiers, Carlsbad, CA, USA. Auch der mittlerweile zurückgezogene "High-Intensity Focused Ultrasound (HIFU)" Katheter der Firma ProRhythm, Inc., Ronkonkoma, NY, USA, fällt in die Kategorie der Single-Shot-Devices.

[0003] Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung von Single-Shot-Devices, wie z. B. dem Cryo-Ballon, ist in der Regel ein guter Kontakt zwischen Katheteroberfläche und Herzgewebe, da nur so Energie, z. B. in Form von Wärme oder Kälte, in ausreichender Menge übertragen und das Gewebe dadurch verödet, d. h. gezielt permanent zerstört, werden kann. Single-Shot-Devices müssen zusätzlich oft in einem genau definierten anatomischen Bereich platziert werden, um eine effektive und sichere Ab-

lation zu ermöglichen. Der Cryo-Ballon muss beispielsweise im Antrum des linken Vorhofes platziert werden. Energieabgaben in falschen Bereichen sind nicht effektiv und sogar gefährlich, z. B. wenn sie innerhalb einer Pulmonalvene erfolgen. Die anatomische Konfiguration der Lungenvenen und des linken Vorhofes ist in besonders hohem Maße komplex und interindividuell sehr variabel, so dass Single-Shot-Devices, wie z. B. Cryo-Ballone, nicht bei jedem Patienten mit ausreichender Passgenauigkeit eingesetzt werden können. Können Single-Shot-Devices mit guter Passgenauigkeit angewendet werden, wird damit in der Regel eine im Vergleich zu einem RF-Kathetereinsatz sehr viel schnellere und sicherere Isolation der Lungenvenen bewirkt.

[0004] Eine entscheidende Frage vor Prozedurbeginn ist also, ob ein Single-Shot-Device, z. B. ein Cryo-Ballon, eingesetzt werden kann oder ob auf einen herkömmlichen RF-Katheter zurückgegriffen werden muss. Die klinische Praxis zeigt, dass beispielsweise ein Cryo-Ballon bei unselektiertem Patientengut in 25% der Fälle eine sehr gute Verödung erzielen kann, in 75% der Fälle muss eine ergänzende Ablation mit RF-Kathetern im Anschluss an die Cryo-Prozedur stattfinden.

[0005] Hier sei beispielhaft eine gängige Methode bei Verwendung eines Cryo-Ballons als Single-Shot-Device zur Pulmonalvenenisolation im linken Atrium vorgestellt. Bei anderen Single-Shot-Devices wird in der Regel ähnlich verfahren. Bei deviceabhängigen Details kann es jedoch zu Abweichungen kommen. Derzeit wird bei Einsatz eines Cryo-Ballons vor Prozedurbeginn über dessen Einsatzmöglichkeit anhand einer zuvor akquirierten 3D-Bildgebung entschieden. Der geeignete Ballondurchmesser wird bei vorhandenen 3D-Daten mittels Ausmessen in den Schichtbildern dieser präoperativen Datensätze bestimmt. Unter Umständen wird dies auch in einer 3D-Ansicht eines segmentierten linken Vorhofs durchgeführt. Sollten nur zweidimensionale Messung vorgenommen werden können, so besteht die Gefahr von Ungenauigkeiten. Das Ausmessen aller denkbaren Ballon-Positionen im Antrum-Bereich aller vier Lungenvenen, wäre mit einem unangemessen hohen Zeitaufwand verbunden.

[0006] Ob die Größenwahl des Cryo-Ballons richtig war und dieser richtig platziert werden konnte, kann in der Fluoroskopie mittels Kontrastmittel-Injektion oder Dopplerultraschall überprüft werden. Laser-Ballons, die mit einem Endoskop ausgestattet sind, erlauben eine optische Überprüfung, ob sie gut anliegen oder nicht. Diese Beispiele zeigen, dass die Überprüfung jedoch in der Regel erst während der interventionellen Prozedur stattfinden kann. War die Wahl des Ablationsinstrumentes nicht optimal oder das Ablationsinstrument konnte nicht richtig platziert werden, sind weitere Maßnahmen, die den Patienten belasten kön-

nen und zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand bedeuten, notwendig.

[0007] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht nun darin, ein Verfahren anzugeben, mit dem die Auswahl und der Einsatz eines Ablationsinstrumentes gegenüber der bisherigen Vorgehensweise verbessert werden.

[0008] Die Erfindung löst diese Aufgabe mit einem Verfahren zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs mit den Merkmalen des ersten unabhängigen Patentanspruchs und einer Vorrichtung zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs mit den Merkmalen des zweiten unabhängigen Patentanspruchs.

[0009] Der Grundgedanke der Erfindung ist ein Verfahren zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs mit Hilfe eines Rechen- und Anzeigemittels. Das Verfahren umfasst dabei folgende Verfahrensschritte:

- S1) Bereitstellen eines 3D-Datensatzes wenigstens eines anatomischen Objektes eines Untersuchungsobjektes;
- S2) Bereitstellen mindestens eines 3D-Bildmodells eines Ablationsinstrumentes, wobei das 3D-Bildmodell wenigstens die Oberfläche des Ablationsinstrumentes modelliert;
- S3) Vorgabe mindestens einer Position und einer Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes innerhalb des wenigstens einen anatomischen Objektes;
- S4) Lagerichtiges Einblenden des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes in den 3D-Datensatz des wenigstens einen anatomischen Objektes;
- S5) Darstellung zumindest eines Teils des eingeblendeten 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes und des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes;
- S6) Bestimmung wenigstens eines Qualitätskennwertes in Abhängigkeit der Lage des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes zu dem wenigstens einen anatomischen Objekt.

[0010] Nachdem der Erfolg beim Einsatz von Single-Shot-Devices davon abhängt, wie passgenau sich diese in die Anatomie der Patienten einfügen und im linken Vorhof platzieren lassen, unterstützt das erfindungsgemäße Verfahren, das mit Hilfe eines Rechen- und Anzeigemittels, z. B. eines Computers mit Bildschirm, ausgeführt werden kann, z. B. einen Arzt in der initialen Planungsphase bei der Auswahl des Ablationsinstrumentes und bei der Platzierung desselben. Kann ein Arzt die Qualität eines Ablationsvorgangs abschätzen, so wird er in die Lage versetzt, verschiedene Ablationspositionen zu bewerten und den Vorgang so zu planen.

[0011] Im ersten Verfahrensschritt wird ein 3D-Datensatz wenigstens eines anatomischen Objektes eines Untersuchungsobjektes bereitgestellt. Die Bereitstellung kann beispielsweise durch Akquisition, z. B. mit Hilfe einer bildgebenden Vorrichtung, durch Entgegennahme von einer solchen Vorrichtung oder allgemein durch Laden in einen Speicher des Rechen- und Anzeigemittels, erfolgen. Bei dem Untersuchungsobjekt, dem Patienten, kann es sich um einen Menschen oder um ein Tier handeln. Durch Computertomographie (CT), Magnetresonanztomographie (MR) oder ein anderes, räumliches bildgebendes Verfahren kann ein räumliches Bild gewonnen werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, ein Röntgengerät zu verwenden. Durch eine geeignete Serie von Röntgenaufnahmen aus verschiedenen Richtungen rund um den Patienten ist nach dem Stand der Technik ein räumliches Bild berechenbar. Aus diesem räumlichen Bild kann, z. B. mit Hilfe eines Segmentierungsalgorithmus, ein 3D-Datensatz berechnet werden, der wenigstens ein anatomisches Objekt aufweist. Segmentierung ist ein gängiges Verfahren in der medizinischen Bildverarbeitung. In diesem Zusammenhang kann darunter das Freistellen des anatomischen Objektes von umgebendem Gewebe, Knochen und anderen, nicht zu dem anatomischen Objekt zugehörigen Bildbestandteilen verstanden werden. Das anatomische Objekt ist beispielsweise ein Organ oder ein Gefäß, das mit einem Ablationsinstrument in Kontakt kommen soll.

[0012] Im nächsten Verfahrensschritt wird mindestens ein 3D-Bildmodell eines Ablationsinstrumentes, wobei wenigstens die Oberfläche des Ablationsinstrumentes modelliert ist, bereitgestellt. Ein 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes kann z. B. aus einer Datei oder aus einer Datenbank, z. B. des Herstellers, bezogen werden oder wird anhand von Konstruktionszeichnungen oder Vermessen, z. B. durch 3D-Scannen, bestimmt. Bei Verwendung von Cryo-Ballons zur Pulmonalvenenisolation bieten sich derzeit beispielsweise Ballonmodelle mit variablem Durchmesser, z. B. 23 mm oder 28 mm, an.

[0013] Im dritten Verfahrensschritt werden mindestens eine Position und mindestens eine Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes innerhalb des wenigstens einen anatomischen Objektes vorgegeben oder bereitgestellt. Dies kann prinzipiell manuell durch ein Eingabeinstrument z. B. an dem Rechen- und Anzeigemittel erfolgen, das zum Beispiel den 3D-Datensatz des Untersuchungsgebietes auf einem Bildschirm darstellt, oder Position und Ausrichtung werden durch einen Algorithmus vorgegeben.

[0014] Im nächsten Verfahrensschritt erfolgt das lagerichtige Einblenden des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes in den 3D-Datensatz des wenigstens einen anatomischen Objektes. Lagerichti-

ges Einblenden bedeutet, dass das 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes an der bereitgestellten Position und mit der bereitgestellten Ausrichtung innerhalb des 3D-Datensatzes des Untersuchungsgebietes eingeblendet wird. Das Ablationsinstrument wird quasi virtuell im Untersuchungsgebiet platziert.

[0015] Im nächsten Verfahrensschritt wird zumindest ein Teil des eingeblendeten 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes und des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes, z. B. auf dem Monitor, dargestellt.

[0016] Im sechsten Verfahrensschritt wird wenigstens ein Qualitätskennwert in Abhängigkeit der Lage des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes zu dem wenigstens einen anatomischen Objekt bestimmt. Da die Lage, d. h. die Position und die Ausrichtung, des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes zu dem anatomischen Objekt bekannt ist und weiter auch wenigstens die Koordinaten der Oberfläche des Ablationsinstrumentes, kann, z. B. durch aus dem Stand der Technik bekannte digitale Bildverarbeitungsalgorithmen, berechnet werden, inwieweit die Oberfläche des Ablationsinstrumentes an der Innenwand von beispielsweise einem Gefäß anliegt. Ein möglicher Qualitätskennwert ist somit z.B. ein Prozentwert, der das Verhältnis aus anliegender Fläche zu nicht anliegender Fläche angibt. Weitere Qualitätskennwerte sind beispielsweise für jeden Punkt auf der Oberfläche des 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes die Zuordnung des Wertes „1“, wenn der entsprechende Punkt an der Innenwand des anatomischen Objektes anliegt, sonst der Wert „0“. Es ist dabei auch möglich, die Verformung der Anatomie und des Ablationsinstrumentes zu berücksichtigen.

[0017] Vorzugsweise wird der wenigstens eine Qualitätskennwert bei der Darstellung des zumindest einen Teils des eingeblendeten 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes und des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes visualisiert. Im Fall des letzten Beispiels können die Punkte mit dem Wert „1“ z. B. weiß, die Punkte mit dem Wert „0“ schwarz dargestellt werden. Somit ist leicht erkennbar, welche Punkte der Oberfläche des 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes an der Innenwand des anatomischen Objektes anliegen.

[0018] Mit besonderem Vorteil wird nach dem sechsten Verfahrensschritt ein weiterer Verfahrensschritt ausgeführt:

S7) Überprüfen eines Abbruchkriteriums, insbesondere das Betätigen eines Tasters, und bei Nichterfülltheit des Abbruchkriteriums Sprung zu Verfahrensschritt S3.

[0019] Es wird somit ein Abbruchkriterium, z. B. ob ein Taster oder ein Schalter betätigt ist, überprüft. Ist das Abbruchkriterium erfüllt, wird das Verfahren

beendet, ansonsten wird es mit dem dritten Verfahrensschritt, dem Bereitstellen einer Position und einer Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes innerhalb des anatomischen Objektes, weitergeführt, wodurch eine wiederholbare Schleife und somit ein iteratives Verfahren entsteht.

[0020] Vorzugsweise umfasst der 3D-Datensatz des wenigstens einen anatomischen Objektes wenigstens eine Lungenvene und den linken Herzvorhof des Untersuchungsgebietes. Wie eingangs beschrieben entsteht Vorhofflimmern durch Störimpulse aus den Lungenvenen, die in das Reizleitungssystem des Herzens übergehen. Das Ablationsinstrument wird zur Ablation im Bereich des linken Herzvorhofs eingesetzt, so dass es für den Fall einer Behandlungsplanung von Vorhofflimmern zweckmäßig ist, wenn dieser Bereich als 3D-Datensatz vorliegt.

[0021] In einer vorteilhaften Weiterbildung weist der 3D-Datensatz des wenigstens einen anatomischen Objektes weitere Informationen, insbesondere Informationen über eine Position von Narbengewebe, eine Wanddicke und/oder eine Wandeigenschaft, wie Wärmeleitwert oder Elastizitätsmodul, auf. Das Anatomiemodell kann neben der eigentlichen Anatomie auch noch weitere Informationen abbilden, beispielsweise Vorhandensein von Narbengewebe, die Aufschluss über die zugrundeliegenden elektrischen Eigenschaften bieten. Günstig ist ein Modell, das sowohl die zelluläre Zusammensetzung als auch die Funktion der gezeigten Anatomie bereitstellt. Ausgehend von diesen Informationen ist es dann möglich, eine individualisierte Therapie zu planen.

[0022] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung werden die weiteren Informationen bei der Darstellung des zumindest einen Teils des eingeblendeten 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes und des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes visualisiert. Dies ermöglicht dem Arzt eine bessere Beurteilung, ob eine Position des Ablationsinstrumentes geeignet ist, da dort eventuell Gewebe schon vernarbt ist und deshalb eine weitere Behandlung nicht sinnvoll wäre.

[0023] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung gehen die weiteren Informationen in die Bestimmung des wenigstens einen Qualitätskennwertes in Abhängigkeit der Lage des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes zu dem wenigstens einen anatomischen Objekt ein. Bei der Bestimmung des Qualitätskennwertes „Prozentsatz des am Innern eines Organs anliegender Ablationsinstrumentenfläche“ kann z. B. Narbengewebe berücksichtigt werden.

[0024] Vorzugsweise umfasst das Ablationsinstrument einen rotationssymmetrischen, insbesondere einen ballonförmigen, einen birnenförmigen oder einen reifenförmigen, Objektteil. Weiter bestimmt die

Rotationsachse des rotationssymmetrischen Objektteils die Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes und ein bestimmbarer Punkt des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes bestimmt die Position des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes. Das Ziel von Single-Shot-Devices ist es, mit einer einzigen Applikation, Gewebe großflächig zu veröden. Werden diese Ablationsinstrumente in röhrenförmigen Objekten, wie Gefäßen oder zumindest teilweise zylinderförmigen Organen eingesetzt, ist eine Form mit rundem Querschnitt, also insbesondere eine Kugel-, Birnen oder Reifenform, günstig. Die Rotations- oder Längsachse von rotationssymmetrischen Objekten bietet sich als Bestimmungsmerkmal für die Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes an. Mit der Festlegung eines Punktes des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes kann die Position des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes durch Angabe dieses Punktes definiert werden. Beispielsweise kann der Schwerpunkt des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes oder ein Punkt auf der Rotationsachse oder ein Punkt auf dem Umfang des Ablationsinstrumentes als Positions- oder Lagebestimmungspunkt gewählt werden.

[0025] Weiter ist es vorteilhaft, zumindest einen Teil der Rotationsachse des rotationssymmetrischen Objektteils, insbesondere einen Teil, der einen Führungsdraht des Ablationsinstrumentes repräsentiert, im 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes zu markieren. Ablationsinstrumente werden häufig mit Hilfe von einem Führungsdraht, der in der Verlängerung der Rotations- oder Längsachse an dem Ablationsinstrument angeordnet ist, in einem Gefäß navigiert. Bei der Planung der Platzierung von Single-Shot-Devices ist darauf zu achten, dass deren Ausrichtung auch realisierbar ist. Nur so ist gewährleistet, dass ein Arzt z.B. einen Cryo-Ballon per Kathetermanipulation entlang einer gewünschten Orientierung platzieren kann. Das Markieren der Lage des Führungsdrahtes ergänzt das 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes um diese Komponente.

[0026] Weiter verfügen Single-Shot-Devices über Bereiche, an denen die meiste Energie abgegeben wird. Diesen kann man eine entsprechende Device-Geometrie zuordnen. Bei einem Cryoballon, bei dem die meiste Energie entlang des Äquators abgegeben wird, bietet es sich an, dem Ballon eine Äquatorebene zuordnen. Als Orientierung bietet sich eine Achse senkrecht zur Äquatorebene an, die durch den Mittelpunkt des Ballons läuft. Sie entspricht einer Achse durch die beiden Pole, der Polachse.

[0027] Vorzugsweise geht in die Bestimmung des wenigstens einen Qualitätskennwertes ein Energieabgabeprofil des Ablationsinstrumentes ein, das jedem Punkt des Ablationsinstrumentes einen Energieabgabewert zuordnet. Die Wirkung von Single-Shot-Devices unterschiedlicher Energieformen, z. B.

Laserballone oder Cryo-Ballons, kann quantifiziert und visualisiert werden, indem derjenige Bereich des Single-Shot-Devices betrachtet wird, durch den bevorzugt Energie abgegeben wird. Dort wird der Ort der höchsten Energieabgabe festgelegt. Bei einem Cryo-Ballon wird beispielsweise die meiste Energie entlang des Äquators abgegeben. Weitere Energieabgabebereiche, bzw. eine quantitativ genauere Bestimmung der Energieabgabe über der Device-Geometrie, kann man durch ein Energieabgabeprofil definieren. Das Energieabgabeprofil sagt aus, wie sich die Energieabgabe ändert, wenn man sich vom Zentrum entfernt.

[0028] Eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung sieht vor, dass die Qualitätskennwerte Energieabgabewerte jedes Punktes des Ablationsinstrumentes an das wenigstens eine anatomische Objekt sind. Platziert man das 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes im Untersuchungsbereich, so kann man das Energieabgabeprofil auf das umliegende Gitternetz projizieren, indem man eine Fläche durch bevorzugte Energieabgabeorte, wie z. B. die Äquatoriallinie bei Cryo-Ballons, legt, die man dann mit dem Gitternetz schneidet. Nach dem Schnitt dieser Fläche mit dem Anatomiemodell sind diejenigen Gitterpunkte bekannt, welche den maximalen Energieeintrag erfahren. Danach überträgt man das Energieabgabeprofil entsprechend auf die Nachbarorte. So erhält jeder Punkt in der Umgebung des platzierten Single-Shot-Devices einen skalaren Wert zugewiesen, der den Energieeintrag an seiner Stelle beschreibt. Diese skalaren Werte lassen sich auch visualisieren, um den Ablationseffekt des Single-Shot-Devices zu veranschaulichen.

[0029] Weiter ist denkbar, dass ein weiterer Qualitätskennwert der Gesamtenergieabgabewert ist, der durch die Summe über alle Qualitätskennwerte der Energieabgabewerte jedes Punktes des Ablationsinstrumentes an das wenigstens eine anatomische Objekt bestimmt ist. D. h. man summiert alle Energieabgabewerte, die aus Sicht des anatomischen Objektes Energieeinträge sind, auf und erhält dadurch den Gesamtenergieeintrag für eine bestimmte Platzierung eines Single-Shot-Devices. Der Energieeintrag auf der Gitternetzstruktur lässt sich auch für mehrere Platzierungen von einem oder mehreren Ablationsinstrumenten in Summe berechnen und visualisieren.

[0030] In einer vorteilhaften Weiterbildung des Verfahrens wird mit Hilfe eines Optimierungsverfahrens diejenige Position und diejenige Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes innerhalb des wenigstens einen anatomischen Objektes mit dem größten Gesamtenergieabgabewert bestimmt. Optimierungsverfahren, wie die Methode der kleinsten Quadrate, Monte-Carlo-Methode, usw., sind in der Mathematik gängige Verfahren, um eine Zielfunktion

zu minimieren oder zu maximieren. Im vorliegenden Fall ist der Gesamtenergieabgabewert die Zielfunktion, die durch Variation von Position und Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes innerhalb des anatomischen Objektes maximiert wird. Denkbar ist weiter, die Ballonkatheterplatzierung als "constrained optimization problem" zu definieren. Der Optimierungsalgorithmus bestimmt dann alle Positionen und Ausrichtungen des Ablationsinstrumentes, die garantieren, dass ein vorgegebbarer Gesamtenergieeintrag erreicht wird. Eine andere Möglichkeit ist, dass der Benutzer Punkte vorgibt, sogenannte Wunschablationslinien, und das Verfahren platziert in einem Optimierungsverfahren das 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes, z.B. einen Cryo-Ballon so, dass dessen Äquator mit den Wunschablationslinien übereinstimmt und Gesamtenergieabgabewert maximal ist.

[0031] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist wenigstens ein Bereich innerhalb des wenigstens einen anatomischen Objektes vorgebbbar und unmittelbar nach dem dritten Verfahrensschritt wird die bereitgestellte Position auf eine vorgebbare Position oder auf die nächstliegende Position innerhalb des wenigstens einen vorgebbaren Bereiches gesetzt, wenn die bereitgestellte Position außerhalb des wenigstens einen vorgebbaren Bereiches liegt. Dieses Merkmal ermöglicht die Definition von „verbotenen Bereichen“, d. h. Bereichen, in die das Ablationsinstrument nicht platziert werden darf. Damit kann beispielsweise vermieden werden, dass der Ballon zu weit in die Pulmonalvenen geschoben wird oder zu nahe an andere, empfindliche Strukturen, wie die Speiseröhre oder das linke Herzohr, platziert wird. Wird versucht das 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes außerhalb des vorgebbaren Bereiches zu platzieren, wird die Position auf eine vorgebbare „default“ Position gesetzt, z. B. eine Ursprungsposition, oder auf die Position, die den kleinsten Abstand zu dem vorgebbaren Bereich hat.

[0032] Mit besonderem Vorteil werden unmittelbar nach dem sechsten Verfahrensschritt folgende weiteren Verfahrensschritte ausgeführt:

S6a) Bereitstellen eines 2D-Datensatzes, der wenigstens einen Teil des wenigstens einen anatomischen Objektes darstellt, insbesondere ein 2D-Datensatz einer Fluoroskopie;

S6b) In dem 2D-Datensatz Visualisierung der Position und der Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes und/oder Visualisierung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes, wobei insbesondere eine Schnittebene des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes visualisiert wird, die der Projektionsebene des 2D-Datensatzes entspricht;

S6c) Sprung zu Verfahrensschritt S6a, falls ein zweites Abbruchkriterium, insbesondere das Betätigen des Tasters, nicht erfüllt ist.

[0033] Hat man für die Isolation jeder Pulmonalvene den gewünschten Ablationsort bestimmt, so kann man unter Zuhilfenahme von Fluoroüberlagerungstechniken, die auch unter dem Stichwort "augmented fluoroscopy" bekannt sind, dem Arzt z. B. auf einem Bildschirm anzeigen, wie weit ein Ablationsinstrument von dem gewünschten Ablationsort entfernt ist. Bei genauer Modellierung des Ablationsinstrumentes, z. B. eines Ballonkatheters, ist es ebenso denkbar, weitere Details dieses Katheters, z. B. dessen Spitze, eingebaute Marker, etc., im Fluoroüberlagerungsbild zu zeigen. Dies kann den Arzt bei der Positionierung des realen Katheters unterstützen.

[0034] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird unmittelbar nach Verfahrensschritt S6a wenigstens ein Teil des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes mit dem 2D-Datensatz, insbesondere nichtrigide, registriert und dadurch eine aktualisierte Position und eine aktualisierte Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes bestimmt. Da es beim Einführen des Ballonkatheters zu Deformationen des linken Atriums kommen kann, berücksichtigt man derartige Verformungen bei den oben genannten Berechnungen. Es ist ebenfalls denkbar, dass es beim Einbringen der Ballone zu Verschiebungen kommt. Daher ist es zweckmäßig, über Methoden der Nachregistrierung, die Position und die Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes zu aktualisieren, d. h. zum Beispiel dem fluoroskopischen Bild anzupassen.

[0035] Der zweite Grundgedanke der Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs, die wenigstens ein Rechen- und Anzeigemittel umfasst, das dazu ausgeführt ist, einen 3D-Datensatz wenigstens eines anatomischen Objektes eines Untersuchungsobjektes zu akquirieren, ein 3D-Bildmodell eines Ablationsinstrumentes, wobei das 3D-Bildmodell wenigstens die Oberfläche des Ablationsinstrumentes modelliert, entgegenzunehmen, eine Position und eine Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes innerhalb des wenigstens einen anatomischen Objektes entgegenzunehmen, das 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes in den 3D-Datensatz des wenigstens einen anatomischen Objektes lage-richtig einzublenden, zumindest einen Teil des eingeblendeten 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes und des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes darzustellen und wenigstens einen Qualitätskennwert in Abhängigkeit der Lage des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes zu dem wenigstens einen anatomischen Objekt zu bestimmen.

[0036] Vorzugsweise ist die erfindungsgemäße Vorrichtung dazu ausgeführt, ein zuvor beschriebenes Verfahren auszuführen.

[0037] Die nachfolgend näher geschilderten Ausführungsbeispiele stellen bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung dar.

[0038] Weitere vorteilhafte Weiterbildungen ergeben sich aus den nachfolgenden Figuren samt Beschreibung. Es zeigt:

[0039] [Fig. 1](#) eine Ausführungsform eines Cryo-Ballons;

[0040] [Fig. 2](#) eine Ausführungsform eines Laser-Ballons;

[0041] [Fig. 3](#) eine Ausführungsform eines Multielektrodenkatheters;

[0042] [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung einer Ablationsprozedur mit einem Single-Shot-Device;

[0043] [Fig. 5](#) ein beispielhaftes Ablaufdiagramm eines ersten erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0044] [Fig. 6](#) ein beispielhaftes Ablaufdiagramm eines zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens;

[0045] [Fig. 7](#) ein Ausführungsbeispiel des Ergebnisses einer Platzierung eines Cryo-Ballons mit kleinem Durchmesser;

[0046] [Fig. 8](#) ein Ausführungsbeispiel des Ergebnisses einer Platzierung eines Cryo-Ballons mit großem Durchmesser;

[0047] [Fig. 9](#) eine schematische Darstellung einer Platzierung eines Cryo-Ballons mit Kennzeichnung der Rotationsachse und des Äquators;

[0048] [Fig. 10](#) eine beispielhafte Darstellung eines Energieabgabeprofils;

[0049] [Fig. 11](#) eine beispielhafte Darstellung einer Visualisierung von Energieabgabe;

[0050] [Fig. 12](#) ein Ausführungsbeispiel des Ergebnisses einer Platzierung eines Cryo-Ballons in endoskopischer Sicht;

[0051] [Fig. 13](#) eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs.

[0052] [Fig. 1](#) zeigt ein Single-Shot-Device **1** zur Durchführung einer Ablation in der Ausführungsform eines Cryo-Ballons. Am Ende eines röhrenförmigen Katheters **3** ist ein aufblasbarer, kugel- oder ballonförmiger Körper **2** angeordnet, der auf eine Temperatur von etwa -40° bis -50° Celsius abgekühlt werden kann. Bei Kontakt mit Gewebe vereist die-

ses Gewebe an der Kontaktstelle und es bildet sich Narbengewebe. Narbengewebe besitzt eine geringe elektrische Leitfähigkeit, wodurch die Weiterleitung unerwünschter elektrischer Impulse unterbrochen wird.

[0053] [Fig. 2](#) zeigt ein Single-Shot-Device **1** zur Durchführung einer Ablation in der Ausführungsform eines Laser-Ballons. Im Inneren des birnenförmigen Katheterteils **4**, der an einem Führungsdraht **5** angeordnet ist, befindet sich ein Laser **6**, der bei Aktivierung das umliegende Gewebe erhitzt, so dass es zu einer Narbenbildung kommt.

[0054] [Fig. 3](#) zeigt ein Single-Shot-Device **1** zur Durchführung einer Ablation in der Ausführungsform eines Multielektrodenkatheters. Über den Umfang einer offen reifen- oder ringförmigen Struktur **7**, die am Ende eines Führungsdrahtes **8** angeordnet ist, sind mehrere Elektroden **9** angeordnet. Diese ermöglichen das lokale Erhitzen von Gewebe und dadurch dessen Vernarbung.

[0055] In [Fig. 4](#) ist eine schematische Darstellung einer Ablationsprozedur an einem Herzen **10** mit einem Single-Shot-Device dargestellt. Das Single-Shot-Device **1** bzw. der Katheter wird von unten über die untere Hohlvene, den rechten Vorhof und den linken Vorhof **11** die Einmündung der linken oberen Pulmonalvene **12** geschoben. Dort wird an einer geeigneten Stelle der eigentliche Ablationsvorgang durchgeführt, bei dem durch Hitze oder Kälte eine kreisförmige Narbenzone ausgebildet wird, die eine elektrische Leitung der, das Vorhofflimmern verursachenden, Impulse zwischen Lungenvene und Herzen verhindert. Der Erfolg beim Einsatz von Single-Shot-Devices hängt davon ab, wie passgenau sich diese in die Anatomie der Patienten einfügen und im linken Vorhof platzieren lassen.

[0056] Energieabgaben in falschen Bereichen sind nicht effektiv und sogar gefährlich, z. B. wenn sie innerhalb einer Pulmonalvene erfolgen.

[0057] [Fig. 5](#) zeigt beispielhaft ein Ablaufdiagramm V1 eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs. Das Verfahren umfasst die Verfahrensschritte S1 bis S7. Die einzelnen Verfahrensschritte lauten:

S1) Akquisition eines 3D-Datensatzes wenigstens eines anatomischen Objektes eines Untersuchungsobjektes;

S2) Bereitstellen eines 3D-Bildmodells eines Ablationsinstrumentes, wobei das 3D-Bildmodell wenigstens die Oberfläche des Ablationsinstrumentes modelliert;

S3) Bereitstellen einer Position und einer Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes innerhalb des wenigstens einen anatomischen Objektes;

S4) Lagerichtiges Einblenden des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes in den 3D-Datensatz des wenigstens einen anatomischen Objektes;
 S5) Darstellung zumindest eines Teils des eingeblendeten 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes und des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes;
 S6) Bestimmung wenigstens eines Qualitätskennwertes in Abhängigkeit der Lage des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes zu dem wenigstens einen anatomischen Objekt;
 S7) Überprüfen eines Abbruchkriteriums, insbesondere das Betätigen eines Tasters, und bei Nichterfülltheit, „N“, des Abbruchkriteriums Sprung zu Verfahrensschritt S3, ansonsten, „Y“, Beenden, „End“, des Verfahrens.

[0058] **Fig. 6** zeigt beispielhaft ein Ablaufdiagramm V2 eines zweiten erfindungsgemäßen Verfahrens zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs. Das Verfahren ergänzt das in **Fig. 5** gezeigte Verfahren um die Verfahrensschritte S6a bis S6c, die zwischen die Verfahrensschritte S6 und S7 eingefügt sind. Die hinzugekommenen Verfahrensschritte lauten:

S6a) Bereitstellen eines 2D-Datensatzes, der wenigstens einen Teil des wenigstens einen anatomischen Objektes darstellt, insbesondere ein 2D-Datensatz einer Fluoroskopie;
 S6b) In dem 2D-Datensatz Visualisierung der Position und der Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes und/oder Visualisierung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes, wobei insbesondere eine Schnittebene des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes visualisiert wird, die der Projektionsebene des 2D-Datensatzes entspricht;
 S6c) Sprung zu Verfahrensschritt S6a, falls ein zweites Abbruchkriterium, insbesondere das Betätigen des Tasters, nicht erfüllt, „N“, ist, ansonsten, „Y“, Sprung zu Verfahrensschritt S7.

[0059] **Fig. 7** zeigt ein Ausführungsbeispiel des Ergebnisses einer Platzierung eines Cryo-Ballons **13** mit kleinem, z. B. 23 mm, Durchmesser. Der Cryo-Ballon **13** wurde an einer Pulmonalvene **12** platziert. Dargestellt ist ebenso ein Teil des Herzens **10**.

[0060] In **Fig. 8** ist ein Ausführungsbeispiel des Ergebnisses einer Platzierung eines Cryo-Ballons **14** mit großem Durchmesser, z. B. einem Durchmesser von 28 mm, an einer Pulmonalvene **12** gezeigt.

[0061] **Fig. 9** zeigt eine schematische Darstellung einer Platzierung eines Cryo-Ballons **14** mit Kennzeichnung der Rotationsachse **15** und des Äquators **16**. Da der Cryo-Ballon **14** an einem Führungsdraht angebracht ist und über Bereiche verfügt, an denen die meiste Energie abgegeben wird, ist es zweckmäßig, ihnen eine entsprechende Device-Geometrie zuzu-

ordnen. Bei dem Cryo-Ballon **14**, bei dem die meiste Energie entlang des Äquators **16** abgegeben wird, bietet es sich an, dem Ballon eine Äquatorebene zuzuordnen. Als Orientierung bietet sich eine Achse **15** senkrecht zur Äquatorebene an, die durch den Mittelpunkt des Ballons läuft. Sie entspricht einer Achse durch die beiden Pole, die Polachse.

[0062] In **Fig. 10** ist in einer beispielhaften Darstellung ein Energieabgabeprofil **17** gezeigt. Das Energieabgabeprofil **17** beschreibt, wie sich die Energieabgabe **19** über der Entfernung **18** von einem Zentrum ändert. In diesem Beispiel eines Cryo-Ballons liegt das Zentrum auf der Äquatorebene. Der zugehörige Energieabgabewert des Energieabgabeprofils **17** ist am Ursprung der Entfernungsachse **18** abzulesen und ist dort am größten. Man erkennt weiter, dass, mit größer werdender Entfernung vom Zentrum, der Energieabgabewert kleiner wird. Ein zweites Energieabgabeprofil **17'** weist qualitativ dieselben Eigenschaften auf wie das Energieabgabeprofil **17**, unterscheidet sich aber in dem maximalen Energieabgabewert und der Charakteristik der Energieabgabe **19** über der Entfernung **18** von dem Zentrum.

[0063] **Fig. 11** zeigt eine beispielhafte Darstellung eine Visualisierung von Energieabgabe. Auf Basis des Energieabgabeprofils des Ablationsinstrumentes kann für jeden Punkt des Ablationsinstrumentes ein Energieabgabewert an seine Umgebung, d. h. an das umgebende Herz **10** bzw. die Pulmonalvene **12**, bestimmt werden. Durch eine farbliche Zuordnung der Energieabgabewerte zu einer Farbskala, beispielsweise in einer für einen Betrachter geläufigen Form von einem kleinen Wert in grün, über orange bis zu einem großen Wert in rot, können die Energieabgabewerte visualisiert werden. In der **Fig. 11** ist durch die Kennzeichnung **20** angedeutet, wo die meiste Energie an die Pulmonalvene **12** abgegeben wird.

[0064] In **Fig. 12** ist ein Ausführungsbeispiel des Ergebnisses einer Platzierung eines Cryo-Ballons **14** in endoskopischer Sicht dargestellt. In der endoskopischen Sicht können Bereiche des Herzens **10** bzw. der Pulmonalvene **12** und der platzierte Cryo-Ballon **14** virtuell aufgeschnitten werden und bieten dadurch einen besseren Einblick in die Anatomie.

[0065] In **Fig. 13** schließlich ist eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung **100** zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs zu sehen. Die Vorrichtung **100** umfasst wenigstens ein Rechen- und Anzeigemittel **101**, in diesem Ausführungsbeispiel einen Computer mit einer Tastatur und einem Monitor. Zweckmäßig weist das Rechen- und Anzeigemittel **101**, in der Darstellung nicht gezeigte, Eingabemittel, wie eine Computermouse oder ein Grafiktablett, auf. In diesem Ausführungsbeispiel wird durch ein C-Bogen-Röntgengerät ein räumliches Bild ge-

wonnen, das durch eine geeignete Serie von Röntgenaufnahmen aus verschiedenen Richtungen rund um den Patienten berechnet wird. Dazu weist das C-Bogen-Röntgengerät einen drehbaren C-Bogen **102** auf, an dem in gegenüberliegender Lage eine Röntgenquelle **104** und ein Röntgendetektor **103** angeordnet sind. Aus dem räumlichen Bild kann, z.B. mit Hilfe eines Segmentierungsalgorithmus, ein 3D-Datensatz berechnet werden, der wenigstens ein anatomisches Objekt **10**, z.B. ein Herz und Lungenvenen, eines Untersuchungsobjektes **106**, hier ein menschlicher Patient, der auf einem Patiententisch **105** liegt, aufweist. Das Rechen- und Anzeigemittel **101** ist dazu ausgeführt, ein zuvor beschriebenes, erfindungsgemäßes Verfahren auszuführen, d. h. insbesondere 3D-Datensätze und Positions- und Lageinformationen, entgegen zu nehmen, Algorithmen aus der Mathematik und der medizinischen Bildverarbeitung durchzuführen und Grafiken, z. B. auf dem Monitor, darzustellen.

[0066] Zusammenfassend dienen die vorgestellten Verfahren und Vorrichtungen der individualisierten virtuellen Planung von Ablationstherapien, insbesondere bei Prozeduren, bei denen es auf die Platzierung von Single-Shot-Devices ankommt. Ausgehend von einem 3-D Modell das mindestens die Anatomie zeigt, aber auch Hinweise auf funktionelle Informationen beinhalten kann, z.B. in Verbindung mit Narbengewebe, wird die Platzierung eines Single-Shot-Devices vorab virtuell geplant. Beispielsweise können bei der Behandlung von linksseitigem Vorhofflimmern, unterschiedliche Positionen eines virtuellen Modells eines Cryo-Ballon-Katheters in einem segmentierten linken Atrium evaluiert werden. Somit ist es möglich, die spätere Ablation im Voraus virtuell zu bewerten und den resultierenden Wandkontakt zwischen Katheter und Gewebe zu visualisieren. Neben der Auswahl der passenden Ballon-Größe können bereits die Ballon-Positionen mit optimalem Wandkontakt bestimmt werden. Stellt sich während der virtuellen Katheter-Platzierung heraus, dass der Cryo-Ballon zur gegebenen Patientenanatomie inkompatibel ist, kann primär eine kostengünstigere RF-Ablation vorgezogen werden. Es ist außerdem möglich, den resultierenden Energieeintrag zu berechnen. Dadurch wird der behandelnde Arzt in die Lage versetzt, die Effektivität seiner Behandlung besser abzuschätzen. Um dem Arzt eine gute optische Veranschaulichung der Patientenanatomie zur Verfügung zu stellen, kann die Transparenz des 3D-Modells des linken Vorhofs verändert werden, sowie eine endoskopische Ansicht verwendet werden. Einige der vorgestellten Verfahren lassen sich auch für die Planung und Simulation bei Verwendung von RF-Kathetern anwenden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs mit Hilfe eines Rechen- und

Anzeigemittels (**101**), wobei das Verfahren folgende Verfahrensschritte umfasst:

S1) Bereitstellen eines 3D-Datensatzes wenigstens eines anatomischen Objektes (**10**) eines Untersuchungsobjektes (**106**);
 S2) Bereitstellen mindestens eines 3D-Bildmodells eines Ablationsinstrumentes (**1**), wobei das 3D-Bildmodell wenigstens die Oberfläche des Ablationsinstrumentes (**1**) modelliert;
 S3) Vorgabe mindestens einer Position und einer Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (**1**) innerhalb des wenigstens einen anatomischen Objektes (**10**);
 S4) Lagerichtiges Einblenden des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (**1**) in den 3D-Datensatz des wenigstens einen anatomischen Objektes (**10**);
 S5) Darstellung zumindest eines Teils des eingeblendeten 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (**1**) und des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes (**10**);
 S6) Bestimmung wenigstens eines Qualitätskennwertes in Abhängigkeit der Lage des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (**1**) zu dem wenigstens einen anatomischen Objekt (**10**).

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der wenigstens eine Qualitätskennwert bei der Darstellung des zumindest einen Teils des eingeblendeten 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (**1**) und des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes (**10**) visualisiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei nach Verfahrensschritt S6 folgender Verfahrensschritt ausgeführt wird:

S7) Überprüfen eines Abbruchkriteriums, insbesondere das Betätigen eines Tasters, und bei Nichterfülltheit des Abbruchkriteriums Sprung zu Verfahrensschritt S3.

4. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei der 3D-Datensatz des wenigstens einen anatomischen Objektes (**10**) wenigstens eine Lungenvene (**12**) und den linken Herzvorhof (**11**) des Untersuchungsobjektes (**106**) umfasst.

5. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei der 3D-Datensatz des wenigstens einen anatomischen Objektes (**10**) weitere Informationen, insbesondere Informationen über eine Position von Narbengewebe, eine Wanddicke und/oder eine Wandelgenschaft, aufweist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die weiteren Informationen bei der Darstellung des zumindest einen Teils des eingeblendeten 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (**1**) und des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes (**10**) visualisiert werden.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder Anspruch 6, wobei die weiteren Informationen in die Bestimmung des wenigstens einen Qualitätskennwertes in Abhängigkeit der Lage des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) zu dem wenigstens einen anatomischen Objekt (10) eingehen.

8. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei das Ablationsinstrument (1) einen rotationssymmetrischen, insbesondere einen ballonförmigen (2), einen birnenförmigen (4) oder einen reifenförmigen (7), Objektteil umfasst, und wobei die Rotationsachse (15) des rotationssymmetrischen Objektteils die Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) bestimmt, und wobei ein bestimmbarer Punkt des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) die Position des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) bestimmt.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei zumindest ein Teil der Rotationsachse (15) des rotationssymmetrischen Objektteils, insbesondere ein Teil, der einen Führungsdraht des Ablationsinstrumentes (1) repräsentiert, im 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes (1) markiert ist.

10. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei in die Bestimmung des wenigstens einen Qualitätskennwertes ein Energieabgabeprofil (17) des Ablationsinstrumentes (1) eingeht, das jedem Punkt des Ablationsinstrumentes (1) einen Energieabgabewert zuordnet.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei die Qualitätskennwerte Energieabgabewerte jedes Punktes des Ablationsinstrumentes (1) an das wenigstens eine anatomische Objekt sind.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder Anspruch 11, wobei ein weiterer Qualitätskennwert der Gesamtenergieabgabewert ist, der durch die Summe aller Qualitätskennwerte der Energieabgabewerte jedes Punktes des Ablationsinstrumentes (1) an das wenigstens eine anatomische Objekt (10) bestimmt ist.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei mit Hilfe eines Optimierungsverfahrens diejenige Position und diejenige Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) innerhalb des wenigstens einen anatomischen Objektes (10) mit dem größten Gesamtenergieabgabewert bestimmt wird.

14. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei wenigstens ein Bereich innerhalb des wenigstens einen anatomischen Objektes (10) vorgebbbar ist, und wobei unmittelbar nach Verfahrensschritt S3 die bereitgestellte Position auf eine vorgebbare Position oder auf die nächstliegende Position innerhalb des wenigstens einen vorgebbaren

Bereiches gesetzt wird, wenn die bereitgestellte Position außerhalb des wenigstens einen vorgebbaren Bereiches liegt.

15. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, wobei unmittelbar nach Verfahrensschritt S6 folgende Verfahrensschritte ausgeführt werden:

S6a) Bereitstellen eines 2D-Datensatzes, der wenigstens einen Teil des wenigstens einen anatomischen Objektes (10) darstellt, insbesondere ein 2D-Datensatz einer Fluoroskopie;

S6b) In dem 2D-Datensatz Visualisierung der Position und der Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) und/oder Visualisierung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1), wobei insbesondere eine Schnittebene des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) visualisiert wird, die der Projektionsebene des 2D-Datensatzes entspricht;

S6c) Sprung zu Verfahrensschritt S6a, falls ein zweites Abbruchkriterium, insbesondere das Betätigen des Tasters, nicht erfüllt ist.

16. Verfahren nach Anspruch 15, wobei unmittelbar nach Verfahrensschritt S6a wenigstens ein Teil des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes (10) mit dem 2D-Datensatz, insbesondere nichtrigide, registriert wird und dadurch eine aktualisierte Position und eine aktualisierte Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) bestimmt wird.

17. Vorrichtung (100) zur Visualisierung der Qualität eines Ablationsvorgangs umfassend wenigstens ein Rechen- und Anzeigemittel (101), das dazu ausgeführt ist, einen 3D-Datensatz wenigstens eines anatomischen Objektes (10) eines Untersuchungsobjektes (106) zu akquirieren, ein 3D-Bildmodell eines Ablationsinstrumentes (1), wobei das 3D-Bildmodell wenigstens die Oberfläche des Ablationsinstrumentes (1) modelliert, entgegenzunehmen, eine Position und eine Ausrichtung des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) innerhalb des wenigstens einen anatomischen Objektes (10) entgegenzunehmen, das 3D-Bildmodell des Ablationsinstrumentes (1) in den 3D-Datensatz des wenigstens einen anatomischen Objektes (10) lagerichtig einzublenden, zumindest einen Teil des eingeblendeten 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) und des 3D-Datensatzes des wenigstens einen anatomischen Objektes (10) darzustellen und wenigstens einen Qualitätskennwert in Abhängigkeit der Lage des 3D-Bildmodells des Ablationsinstrumentes (1) zu dem wenigstens einen anatomischen Objekt (10) zu bestimmen.

18. Vorrichtung (**100**) nach Anspruch 17, wobei die Vorrichtung (**100**) dazu ausgeführt ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16 auszuführen.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

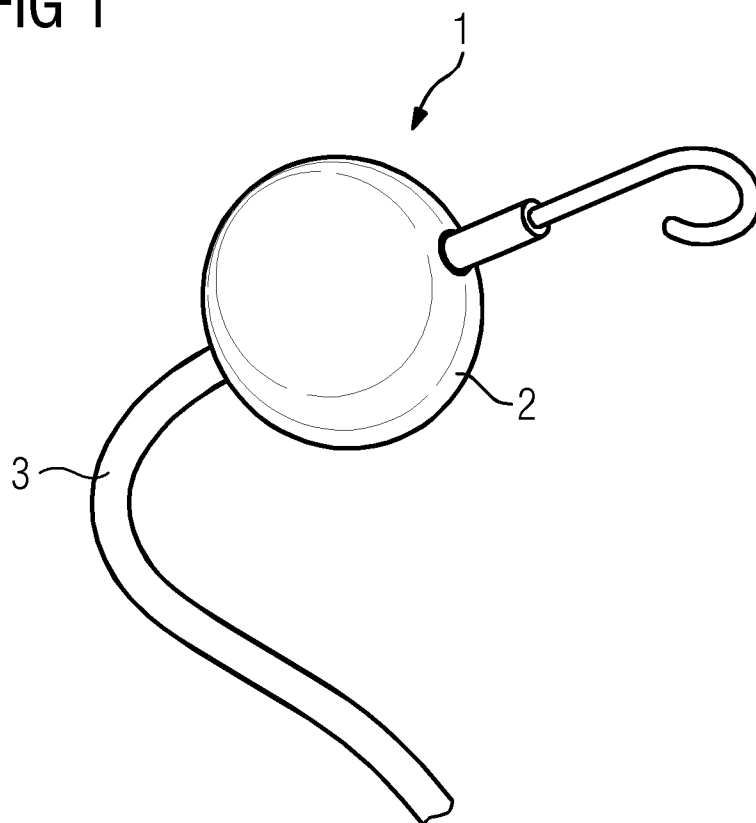


FIG 2

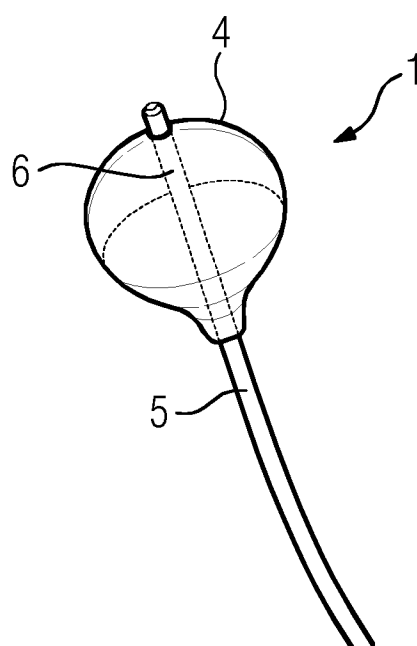


FIG 3

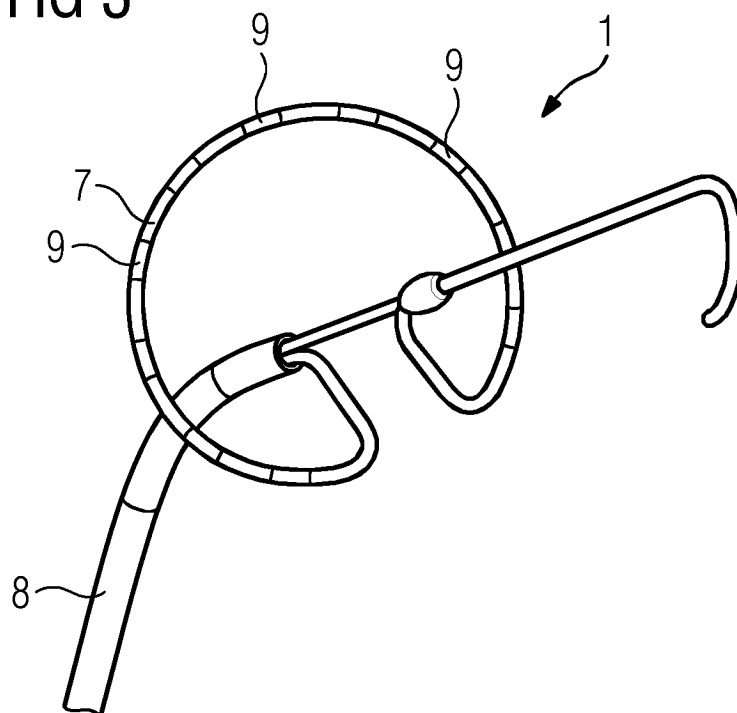


FIG 4

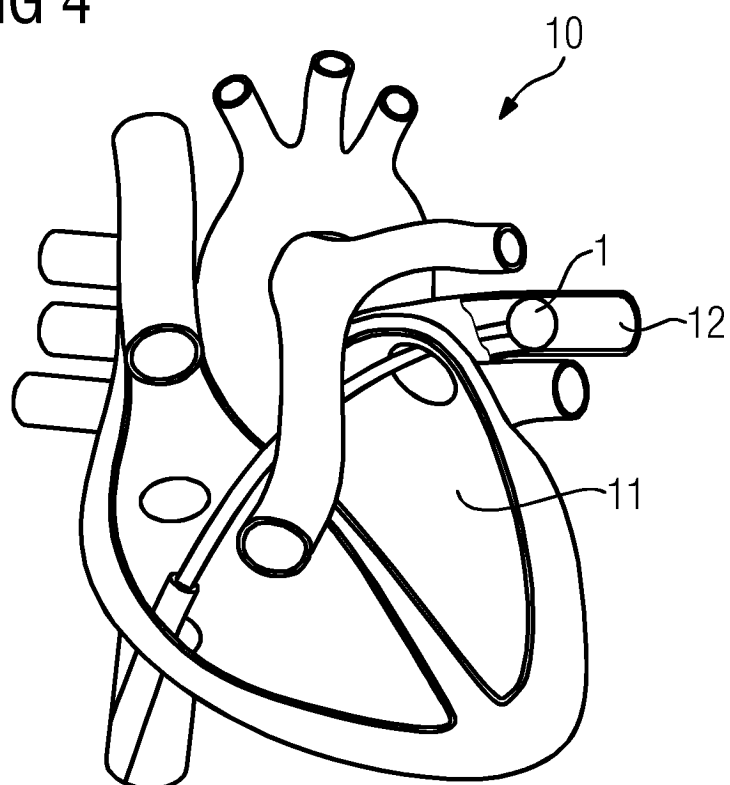


FIG 5

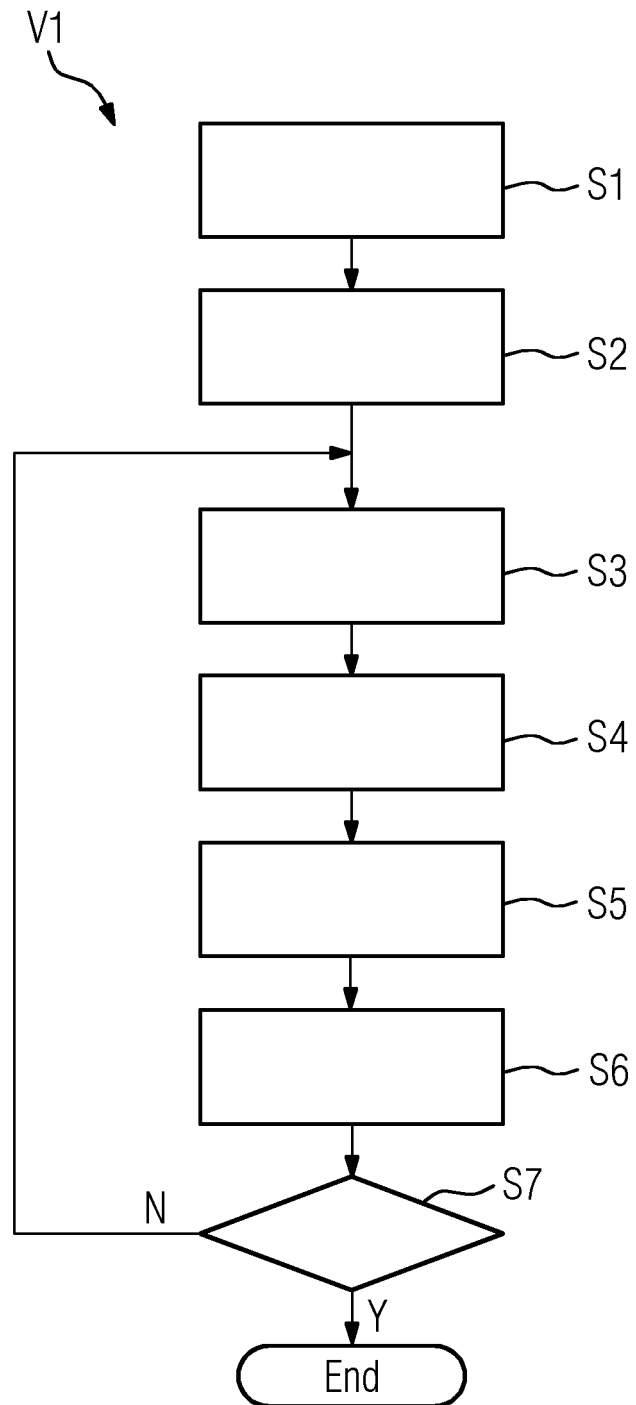


FIG 6

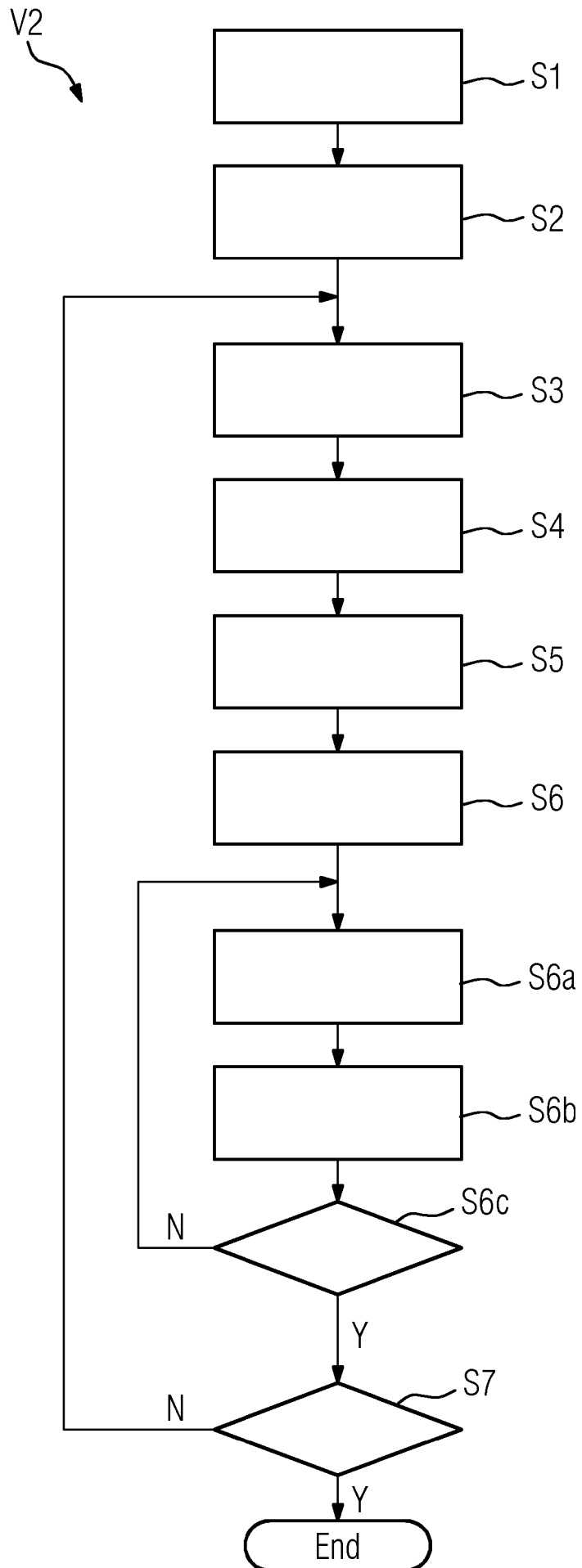


FIG 7

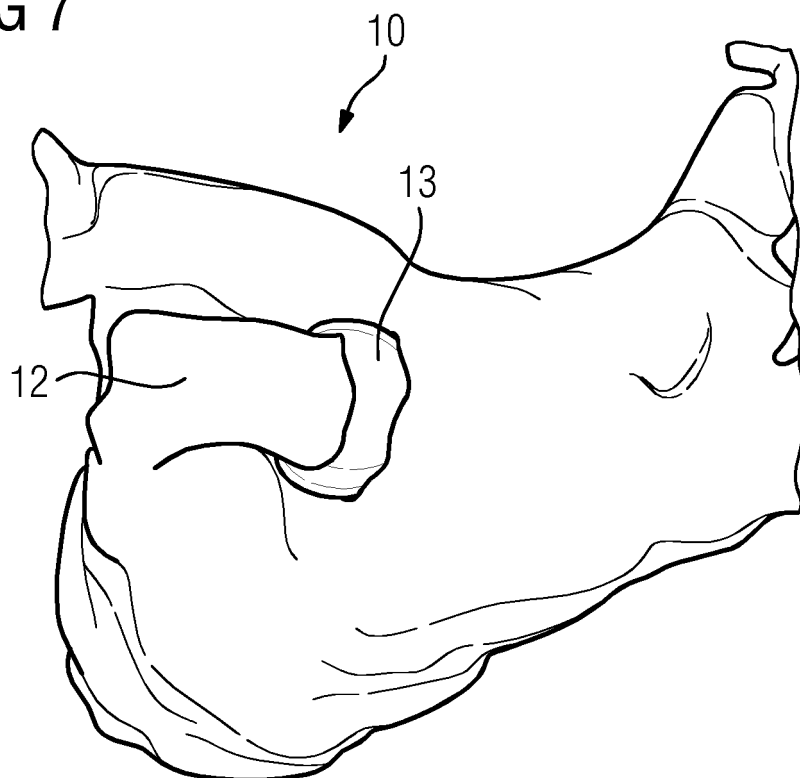


FIG 8

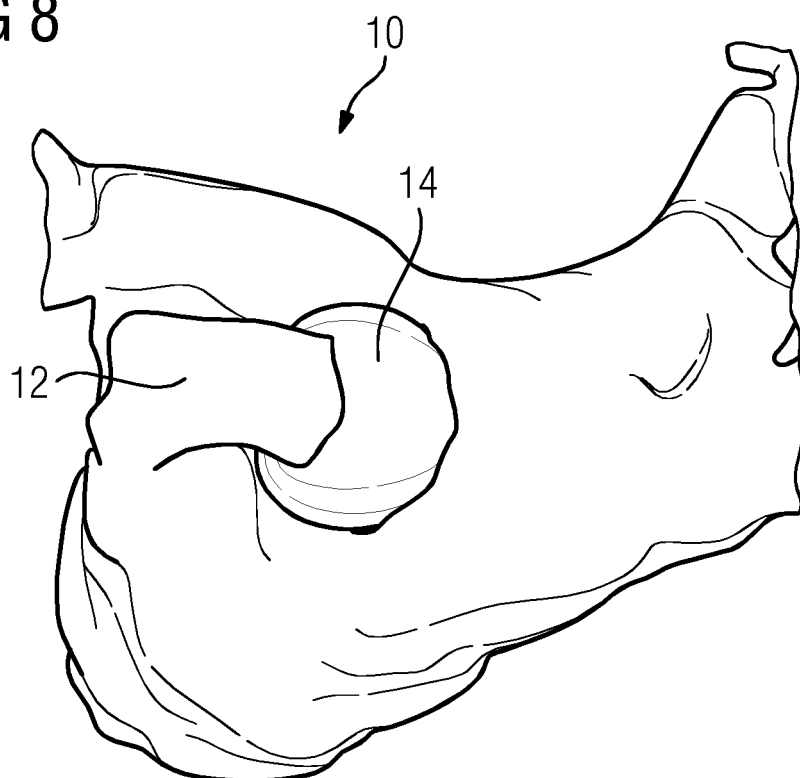


FIG 9

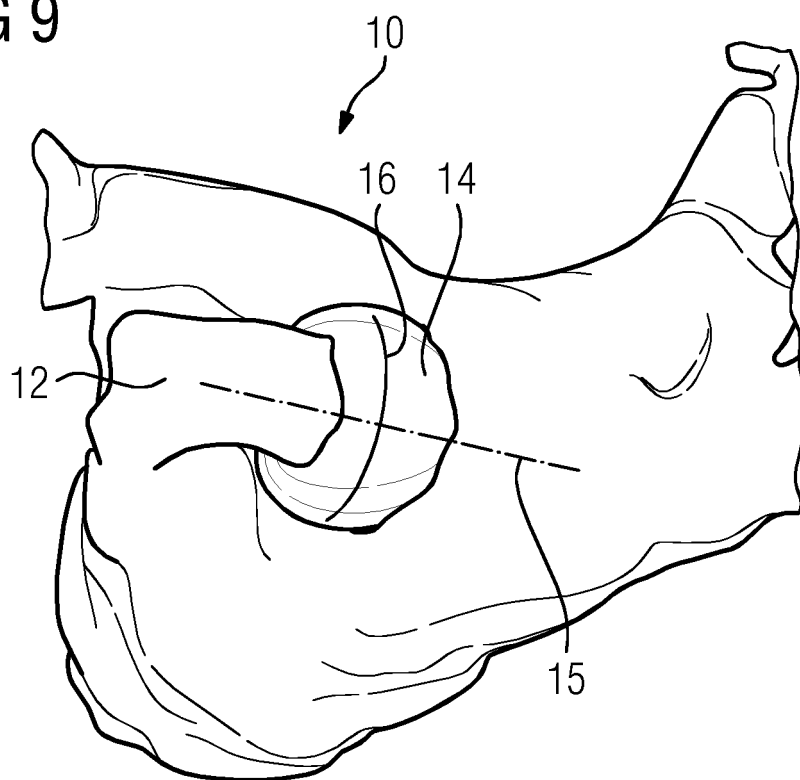


FIG 10

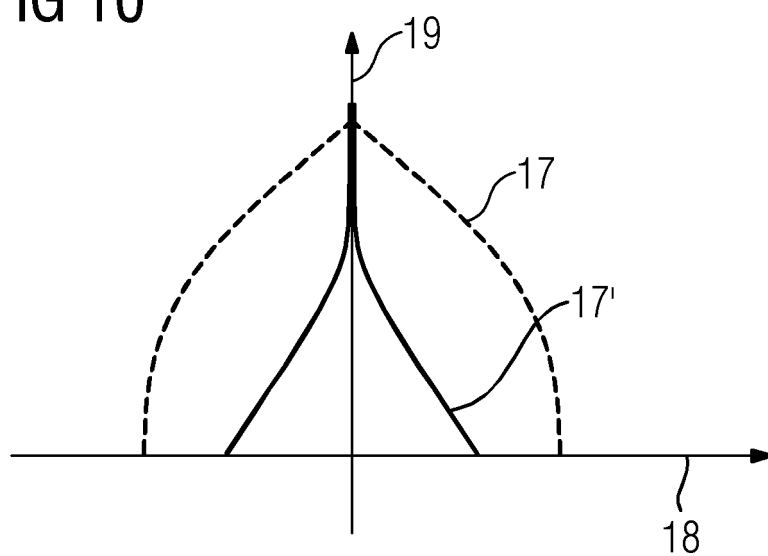


FIG 11

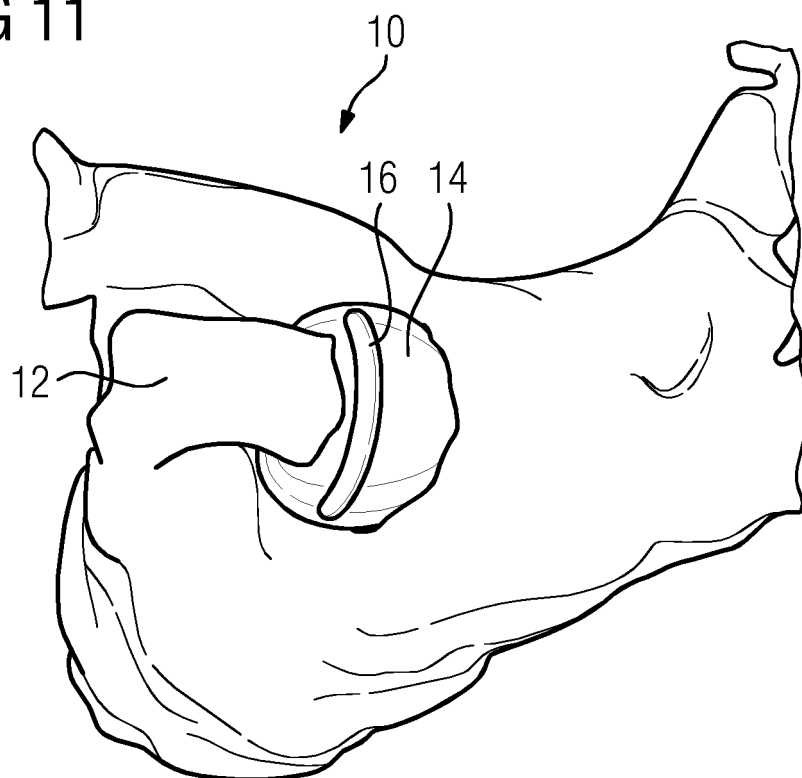


FIG 12

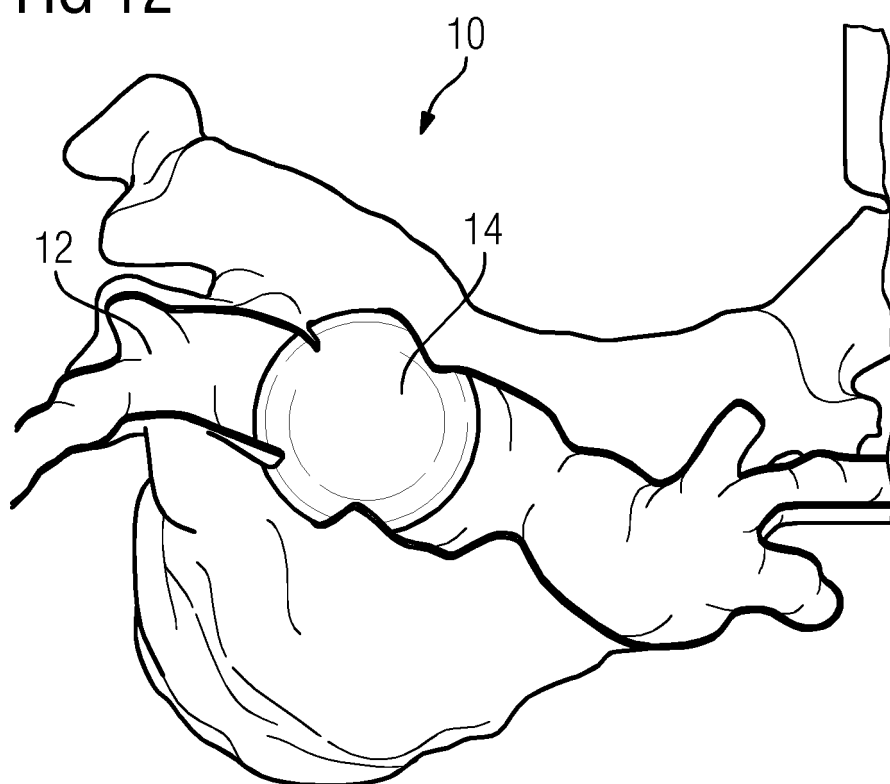


FIG 13

