



(10) **DE 10 2010 018 460 A1** 2011.10.27

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 018 460.8**

(22) Anmeldetag: **27.04.2010**

(43) Offenlegungstag: **27.10.2011**

(51) Int Cl.: **A61B 19/00** (2006.01)

**A61B 6/03** (2006.01)

**A61B 5/055** (2006.01)

**G06T 7/40** (2006.01)

**G06T 15/00** (2011.01)

**G06K 9/00** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Siemens Aktiengesellschaft, 80333, München, DE**

(72) Erfinder:  
**Bernhardt, Dominik, 91353, Hausen, DE;**  
**Biermann, Christina, 91353, Hausen, DE**

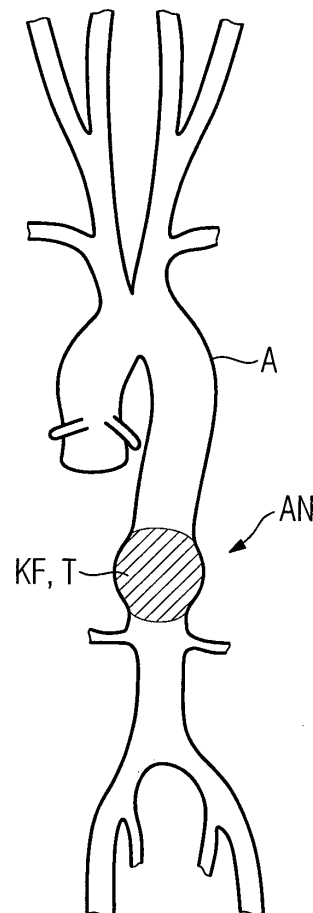
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
**siehe Folgeseiten**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Ermittlung wenigstens einer Änderung einer tubulären Gewebestruktur eines Lebewesens, Recheneinheit und Datenträger**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung wenigstens einer Änderung einer tubulären Gewebestruktur (A) eines Lebewesens (P) von einem ersten zu einem zweiten, von dem ersten verschiedenen Zeitpunkt, bei dem in einem bereitgestellten ersten, zu dem ersten Zeitpunkt erzeugten Volumendatensatz und in einem bereitgestellten zweiten, zu dem zweiten, von dem ersten verschiedenen Zeitpunkt erzeugten Volumendatensatz der tubulären Gewebestruktur (A) des Lebewesens (P) jeweils die Mittellinie (M1, M2) der tubulären Gewebestruktur (A) bestimmt wird und bei dem zur Ermittlung der wenigstens einen Änderung der tubulären Gewebestruktur (A) entlang der tubulären Gewebestruktur (A) an miteinander korrespondierenden Positionen der Mittellinien (M1, M2) der tubulären Gewebestruktur (A) des ersten Volumendatensatzes und der tubulären Gewebestruktur (A) des zweiten Volumendatensatzes wenigstens eine Änderung des minimalen und/oder des maximalen Durchmessers der Innenwand ( $\Delta d_{I_{min}}$ ,  $\Delta d_{I_{max}}$ ) und/oder wenigstens eine Änderung des minimalen und/oder des maximalen Durchmessers der Außenwand ( $\Delta d_{A_{min}}$ ,  $\Delta d_{A_{max}}$ ) der tubulären Gewebestruktur (A) ermittelt wird. Die Erfindung betrifft außerdem eine Recheneinheit (12) zur Ausführung des Verfahrens sowie einen Datenträger (13), welcher ein das Verfahren umsetzendes Rechenprogramm aufweist.



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

|           |                       |           |
|-----------|-----------------------|-----------|
| <b>DE</b> | <b>10 2007 045268</b> | <b>A1</b> |
| <b>DE</b> | <b>10 2007 028065</b> | <b>A1</b> |
| <b>US</b> | <b>73 56 367</b>      | <b>B2</b> |
| <b>US</b> | <b>2008/02 47 621</b> | <b>A1</b> |
| <b>US</b> | <b>2010/00 61 611</b> | <b>A1</b> |

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung wenigstens einer Änderung einer tubulären Gewebestruktur eines Lebewesens von einem ersten zu einem zweiten, von dem ersten verschiedenen Zeitpunkt. Die Erfindung betrifft außerdem eine Recheneinheit zur Durchführung des Verfahrens sowie einen Datenträger, welcher ein das Verfahren umsetzendes Rechenprogramm aufweist.

**[0002]** Moderne bildgebende Geräte wie Computertomographiegeräte oder Magnetresonanzgeräte ermöglichen es, hochaufgelöste Bilder vom Körperinneren eines Menschen für Untersuchungen und zur Diagnose zu erzeugen. Derartige hochaufgelöste Bilder werden auch von tubulären Gewebestrukturen von Menschen, beispielsweise von blutführenden Gefäßen oder Gefäßsystemen, z. B. bei der CT Angiographie (CTA) unter Gabe eines Kontrastmittels erzeugt, um Anomalien der Gefäße oder des Gefäßsystems, wie Stenosen oder Aneurysmata, identifizieren und in einer Nachfolgeuntersuchung, einem sogenannten Follow-up hinsichtlich Änderungen, insbesondere Vergrößerungen überwachen zu können.

**[0003]** Ist ein Aneurysma identifiziert, wird in der Regel der maximale Durchmesser des Aneurysma ermittelt und gespeichert. In einer zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführten Nachfolgeuntersuchung wird der maximale Durchmesser des Aneurysma wiederholt bestimmt, um die Zunahme des maximalen Durchmessers des Aneurysma zu ermitteln. Ist die Zunahme des maximalen Durchmessers des Aneurysma in einem Jahr größer als 1 cm, wird empfohlen, das Aneurysma operativ behandeln zu lassen (vgl. Brewster, D. C.; Cronenwett, J. L.; Hallett, J. W.; Johnston, K. W.; Krupski, W. C.; Matsumura, „Guidelines for the treatment of abdominal aortic aneurysms“, Report of a subcommittee of the Joint Council of the American Association for Vascular Surgery and Society for Vascular Surgery, *Journal of Vascular Surgery*, Volume 37, No. 5, 2003, pages 1106–1117).

**[0004]** Die kontinuierliche Verbesserung der erreichbaren Bildqualität bei modernen bildgebenden Geräten geht mit einer steigenden Anzahl der zu befundenden Bilder einher. Dies führt dazu, dass, beispielsweise bei der Befundung von Bildern von blutführenden Gefäßen im Hinblick auf Aneurysmata der Aufwand für die Sichtung und die Auswertung der Bilder, insbesondere zur Bestimmung der Änderung des maximalen Durchmessers eines jeden Aneurysma verhältnismäßig hoch ist. Zudem besteht die Gefahr ein Aneurysma zu übersehen oder falsch zu vermessen.

**[0005]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde ein Verfahren, eine Recheneinheit und einen Datenträger der eingangs genannten Art derart an-

zugeben, dass die Ermittlung einer Änderung einer tubulären Gewebestruktur eines Lebewesens besser unterstützt wird.

**[0006]** Nach der Erfindung wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Ermittlung wenigstens einer Änderung einer tubulären Gewebestruktur eines Lebewesens von einem ersten zu einem zweiten, von dem ersten verschiedenen Zeitpunkt, bei dem in einem bereitgestellten ersten, zu dem ersten Zeitpunkt erzeugten, Bilddaten aufweisenden Volumendatensatz und in einem bereitgestellten zweiten, zu dem zweiten, von dem ersten verschiedenen Zeitpunkt erzeugten, Bilddaten aufweisenden Volumendatensatz der tubulären Gewebestruktur des Lebewesens jeweils die Mittellinie der tubulären Gewebestruktur bestimmt wird. Für die Ermittlung der Mittellinie einer tubulären Gewebestruktur stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung. Beispielsweise kann auf eines der in den nicht vorveröffentlichten Patentanmeldungen 10 2009 006 414.1 und 10 2009 032 257.4 beschriebenen Verfahren, deren Offenbarung in die vorliegende Patentanmeldung miteinbezogen wird, zurückgegriffen werden.

**[0007]** In dem ersten Volumendatensatz und in dem zweiten Volumendatensatz der tubulären Gewebestruktur werden jeweils die Innenwand und/oder die Außenwand der tubulären Gewebestruktur bestimmt bzw. segmentiert. Hierzu können z. B. lernbasierte Verfahren in Anwendung auf die vorliegende tubuläre Gewebestruktur eingesetzt werden (vgl. Georgescu, B.; Zhou, X. S.; Comaniciu, D. und Gupta, A. in „Database-Guided Segmentation of Anatomical Structures with Complex Appearance“, in *CVPR 05: Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 05)-Volume 2*, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, pp. 429–436).

**[0008]** Die tubuläre Gewebestruktur des ersten Volumendatensatzes und die tubuläre Gewebestruktur des zweiten Volumendatensatzes werden anhand ihrer Mittellinien miteinander registriert, wozu insbesondere charakteristische anatomische Landmarken der tubulären Gewebestruktur verwendet werden.

**[0009]** Nach der Registrierung werden entlang der Mittellinie der tubulären Gewebestruktur des ersten Volumendatensatzes und entlang der Mittellinie der tubulären Gewebestruktur des zweiten Volumendatensatzes jeweils der minimale und/oder der maximale Durchmesser der Innenwand und/oder jeweils der minimale und/oder der maximale Durchmesser der Außenwand der tubulären Gewebestruktur ermittelt. Die Durchmesser werden vorzugsweise in korrespondierenden Querschnittsebenen der tubulären Gewebestruktur des ersten Volumendatensatzes und der tubulären Gewebestruktur des zweiten Volumendatensatzes bzw. jeweils in einer Querschnittsebene der mit-

einander registrierten ersten und zweiten Volumendatensätze ermittelt, wobei jede Querschnittsebene bevorzugt rechtwinklig zu der jeweiligen Mittellinie ausgerichtet ist.

**[0010]** Zur Ermittlung wenigstens einer Änderung der tubulären Gewebestruktur entlang der tubulären Gewebestruktur wird bevorzugt an mehreren miteinander korrespondierenden Positionen der Mittellinien bzw. in miteinander korrespondierenden Querschnittsebenen der tubulären Gewebestruktur des ersten Volumendatensatz und der tubulären Gewebestruktur des zweiten Volumendatensatz entlang der Mittellinien bzw. jeweils in einer Querschnittsebene der miteinander registrierten ersten und zweiten Volumendatensätze entlang der aus der Registrierung resultierenden Mittellinie wenigstens eine Änderung des minimalen und/oder des maximalen Durchmessers der Innenwand und/oder wenigstens eine Änderung des minimalen und/oder des maximalen Durchmessers der Außenwand der tubulären Gewebestruktur ermittelt. Die Ermittlung der Änderung erfolgt bevorzugt durch Differenz- und/oder Quotientenbildung miteinander korrespondierender Durchmesserwerte.

**[0011]** Auf diese Weise werden die Voraussetzungen geschaffen, automatisiert Änderungen einer tubulären Gewebestruktur eines Lebewesens zu identifizieren, die zwischen einem ersten Zeitpunkt, insbesondere einer ersten Untersuchung der tubulären Gewebestruktur und einem zweiten Zeitpunkt, insbesondere einer zweiten Untersuchung bzw. einer Nachuntersuchung der tubulären Gewebestruktur eingetreten sind.

**[0012]** Nach einer Variante der Erfindung wird die wenigstens eine vom ersten zum zweiten Zeitpunkt eingetretene Änderung der tubulären Gewebestruktur visualisiert. Bevorzugt werden alle eingetretenen und identifizierten Änderungen der tubulären Gewebestruktur visualisiert. Dabei kann nach einer Ausführungsform der Erfindung die wenigstens eine Änderung des minimalen und/oder des maximalen Durchmessers der Innenwand und/oder des minimalen und/oder des maximalen Durchmessers der Außenwand der tubulären Gewebestruktur visualisiert werden. Eine derartige Visualisierung könnte beispielsweise in Form von zu den aufeinander registrierten Mittellinien bzw. der daraus resultierenden Mittellinie der tubulären Gewebestruktur in Beziehung gesetzten Kurvenverläufen erfolgen, welche jeweils die Änderungen der einzelnen Durchmesser entlang der Mittellinien veranschaulichen.

**[0013]** Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung kann basierend auf der ermittelten wenigstens einen Änderung des minimalen und/oder des maximalen Innen- und/oder Außendurchmessers der tubulären Gewebestruktur in der zu der wenigstens

einen Änderung gehörigen Querschnittsebene der tubulären Gewebestruktur die Änderung der Querschnittsfläche der tubulären Gewebestruktur berechnet und visualisiert werden. Auch in diesem Fall könnte ein zu den aufeinander registrierten Mittellinien bzw. zu einer resultierenden Mittellinie der tubulären Gewebestruktur in Beziehung gesetzter Kurvenverlauf die Änderungen der Querschnittsfläche der tubulären Gewebestruktur entlang der Mittellinie der tubulären Gewebestruktur veranschaulichen.

**[0014]** Eine andere Variante der Erfindung sieht vor, dass basierend auf der ermittelten wenigstens einen Änderung des minimalen und/oder des maximalen Innen- und/oder Außendurchmessers der tubulären Gewebestruktur in der zu der wenigstens einen Änderung gehörigen Querschnittsebene der tubulären Gewebestruktur wenigstens eine die Außenwand und/oder eine die Innenwand der tubulären Gewebestruktur betreffende Differenzfläche sowie die zu der Differenzfläche gehörige Außen- und/oder Innenkontur ermittelt werden. Vorzugsweise werden basierend auf mehreren ermittelten Änderungen des minimalen und/oder des maximalen Innen- und/oder Außendurchmessers der tubulären Gewebestruktur in in Richtung der Mittellinien aufeinanderfolgenden, zu den Änderungen gehörigen Querschnittsebenen der tubulären Gewebestruktur für jede eine Änderung aufweisende Querschnittsebene wenigstens eine die Außenwand und/oder eine die Innenwand der tubulären Gewebestruktur betreffende Differenzfläche sowie die Außen- und/oder Innenkontur der jeweiligen Differenzfläche ermittelt.

**[0015]** Nach einer weiteren Variante der Erfindung bilden die Außenkonturen in Richtung der Mittellinien bzw. der resultierenden Mittellinie aufeinanderfolgender Differenzflächen eine äußere Konturfläche und die Innenkonturen in Richtung der Mittellinien bzw. der resultierenden Mittellinie aufeinanderfolgender Differenzflächen eine innere Konturfläche, wobei auf die äußere Konturfläche und/oder die innere Konturfläche eine Textur abgebildet wird, die den Grad bzw. den Umfang der Änderung an unterschiedlichen Stellen der äußeren Konturfläche und/oder der inneren Konturfläche visualisiert. Vorzugsweise werden unterschiedliche Grade der Änderung mit unterschiedlichen Farben visualisiert. Die Textur ist dabei quasi ein Bild, das auf eine Konturfläche abgebildet bzw. gemappt wird und durch unterschiedliche Farben unterschiedlich starke Änderungen der tubulären Gewebestruktur sichtbar macht, ohne Einfluss auf die Geometrie der Änderung zu nehmen.

**[0016]** Ist ein Bereich der tubulären Gewebestruktur identifiziert worden, in dem sich die Werte der Durchmesser der Innen- und/oder Außenwand der tubulären Gewebestruktur geändert haben und ist eine Konturfläche ermittelt worden, kann die Konturfläche in den ersten und/oder zweiten Volumenda-

tensatz der tubulären Gewebestruktur eingeblendet und die Textur zur anschaulichen Visualisierung der Änderungen der tubulären Gewebestruktur auf die Konturfläche abgebildet bzw. gemappt werden. Beispielsweise können geringfügige Änderungen grün, mittel schwere Änderungen gelb und schwerwiegende Änderungen rot in dem Bereich visualisiert werden, wobei die farblichen Kennzeichnungen ineinander übergehen können. Auf diese Weise sind die Stellen, an denen sich die tubuläre Gewebestruktur geändert hat, sofort ersichtlich. Des Weiteren ist sofort ersichtlich, in welcher Weise sich die tubuläre Gewebestruktur an den identifizierten Stellen geändert hat.

**[0017]** Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung weist die tubuläre Gewebestruktur wenigstens ein blutführendes Gefäß, beispielsweise die Aorta eines Menschen auf. Vorzugsweise handelt es sich bei der tubulären Gewebestruktur um ein Gefäßsystem blutführender Gefäße. Das erfindungsgemäße Verfahren kann demnach dazu verwendet werden, die lokalen Änderungen bzw. das lokale Wachstum von Aneurysmata der Aorta zu überwachen und zu visualisieren.

**[0018]** Die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird auch gelöst durch eine Recheneinheit, welche zur Ausführung eines der vorstehend beschriebenen Verfahren programmtechnisch eingerichtet ist.

**[0019]** Die der vorliegenden Erfindung zugrundeliegende Aufgabe wird außerdem gelöst durch einen Datenträger, welcher ein Rechenprogramm aufweist, das eines der vorstehend beschriebenen Verfahren umsetzt. Das Rechenprogramm ist auf dem Datenträger gespeichert und ist von einer Recheneinheit von dem Datenträger ladbar, um von der Recheneinheit ausgeführt zu werden. Bei dem Datenträger kann es sich um einen tragbaren Datenträger, wie eine CD, oder einen Server etc. handeln.

**[0020]** Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in den beigefügten schematischen Zeichnungen dargestellt. Es zeigen:

**[0021]** [Fig. 1](#) ein Computertomographiegerät zur Untersuchung eines Patienten,

**[0022]** [Fig. 2](#) ein Ablaufdiagramm des Verfahrens nach der Erfindung,

**[0023]** [Fig. 3](#) eine schematische Darstellung der in einem ersten Volumendatensatzes enthaltenen Aorta eines Patienten,

**[0024]** [Fig. 4](#) eine schematische Darstellung der in einem zweiten Volumendatensatzes enthaltenen Aorta eines Patienten,

**[0025]** [Fig. 5](#) die miteinander registrierten Aorten des ersten und zweiten Volumendatensatzes,

**[0026]** [Fig. 6](#) eine Darstellung der Querschnittsebene **43** aus [Fig. 5](#) und

**[0027]** [Fig. 7](#) die Einblendung einer mit einer Textur belegten äußeren Konturfläche in den ersten Volumendatensatz der Aorta.

**[0028]** In den Figuren sind gleiche oder funktionsgleiche Elemente, Komponenten, Gewebe etc. durchwegs mit gleichen Bezugszeichen versehen. Die Darstellungen in den Figuren sind schematisch und nicht zwingend maßstabsgetreu, wobei Maßstäbe zwischen den Figuren variieren können. Auf den in [Fig. 1](#) dargestellten Röntgencomputertomographen **1** wird im Folgenden und ohne Einschränkung der Allgemeinheit nur insoweit eingegangen als es zum Verständnis der Erfindung für erforderlich erachtet wird.

**[0029]** Der in [Fig. 1](#) gezeigte Röntgencomputertomograph **1** weist eine Patientenliege **2** zur Lagerung eines zu untersuchenden Patienten P auf. Der Röntgencomputertomograph **1** umfasst ferner eine Gantry **4** mit einem um eine Systemachse **5** drehbar gelagerten Röhren-Detektor-System. Das Röhren-Detektor-System weist einander gegenüberliegend eine Röntgenröhre **6** und eine Röntgendetektoreinheit **7** auf. Im Betrieb geht von der Röntgenröhre **6** Röntgenstrahlung **8** in Richtung der Röntgendetektoreinheit **7** aus, und wird mittels dieser erfasst.

**[0030]** Die Patientenliege **2** weist einen Liegensockel **9** auf, an dem eine zur eigentlichen Lagerung des Patienten P vorgesehene Patientenlagerungsplatte **10** angeordnet ist. Die Patientenlagerungsplatte **10** ist derart relativ zu dem Liegensockel **9** verstellbar, dass die Patientenlagerungsplatte **10** mit dem Patienten P in die Öffnung **3** der Gantry **4** zur Aufnahme von 2D-Röntgenprojektionen von dem Patienten P, z. B. in einem Spiralscan, eingeführt werden kann. Die rechnerische Verarbeitung der 2D-Röntgenprojektionen bzw. die Rekonstruktion eines Volumendatensatzes von einer Körperregion des Patienten P basierend auf den 2D-Röntgenprojektionen erfolgt mit einem schematisch dargestellten Bildrechner **11** des Röntgencomputertomographen **1**.

**[0031]** Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels der Erfindung erfolgt mit dem Röntgencomputertomographen **1** eine Untersuchung einer tubulären Gewebestruktur des Patienten P. Speziell wird vorliegend die Aorta des Patienten P auf die Größenzunahme eines Aneurysma untersucht. Hierzu wurden in einem Abstand von ca. einem Jahr jeweils nach Gabe eines Kontrastmittels zwei Volumendatensätze von der Aorta des Patienten P mit dem Röntgencomputertomographen **1** erzeugt. Unter Verwendung des zweiten Volumendatensatzes soll das Wachstum des

in dem vor ca. einem Jahr erzeugten ersten Volumendatensatz identifizierten Aneurysma untersucht werden.

**[0032]** Um z. B. einen befundenden Arzt bei dieser Untersuchung besser unterstützen zu können, ist eine Recheneinheit **12**, bei der es sich beispielsweise um eine Befundungsworkstation handeln kann mit einem entsprechenden Rechenprogramm **13** versehen, das vorliegend mittels eines tragbaren Speichermediums, beispielsweise einer CD, oder von einem Server über ein Netzwerk in die Recheneinheit **12** geladen wurde und Programmmittel zur Ermittlung wenigstens einer Änderung der Aorta des Patienten P aufweist.

**[0033]** Die Recheneinheit **12** ist mit dem Bildrechner **11** des Röntgencomputertomographen **1** verbunden, welche der Recheneinheit **12** den ersten und den zweiten Volumendatensatz der Aorta zur Verfügung stellt.

**[0034]** In [Fig. 2](#) ist der prinzipielle Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens veranschaulicht. Im Schritt **20** werden der erste, vor ca. einem Jahr erzeugte Volumendatensatz der Aorta des Patienten P und im Schritt **30** der zweite, aktuell erzeugte Volumendatensatz der Aorta des Patienten P von der Recheneinheit **12** von dem Bildrechner **11** oder auch aus einem nicht dargestellten Datenarchiv übernommen.

**[0035]** Im Schritt **21** wird in dem ersten, in [Fig. 3](#) schematisch dargestellten Volumendatensatz der Aorta A des Patienten P die Mittellinie M1 der Aorta A bestimmt. Bevorzugt wird die Mittellinie M1 der Aorta A vollautomatisch anhand der Bilddaten des ersten Volumendatensatzes der Aorta A bestimmt. Hierzu können beispielsweise die bereits eingangs genannten Verfahren verwendet werden, welche in den nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldungen 10 2009 006 414.1 oder 10 2009 032 257.4 beschrieben sind. Alternativ können auch semiautomatische Verfahren zur Bestimmung der Mittellinie verwendet werden. Dies erhöht jedoch den Zeitaufwand bei der Ermittlung der Mittellinie. Im Schritt **31** wird in entsprechender Weise die Mittellinie M2 der Aorta A in dem zweiten, in [Fig. 4](#) schematisch dargestellten Volumendatensatz der Aorta A des Patienten P bestimmt.

**[0036]** Im Schritt **22** werden die Konturen der Gefäßwände der Aorta bestimmt bzw. segmentiert, insbesondere werden in dem ersten Volumendatensatz der Aorta die Innenwand I1 und die Außenwand A1 segmentiert. Hierzu können aktive Konturmodelle verwendet werden. Im Falle eines Blutgefäßes, welches ein Aneurysma mit Plaqueablagerungen an der Gefäßwand aufweist, können Algorithmen aktiver Konturmodelle jedoch fehlschlagen, weshalb lernbasierte Verfahren wie das „Marginal Space Learning“

bevorzugt werden, welches, wie bereits eingangs erwähnt, von Georgescu, B.; Zhou, X. S.; Comaniciu, D. und Gupta, A. in „Database-Guided Segmentation of Anatomical Structures with Complex Appearance“, in CVPR 05: Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 05)-Volume 2, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, pp. 429–436 vorgestellt wurde und bereits erste Anwendung in der Herzsegmentierung gefunden hat (vgl. Zheng, Y.; Barbu, A.; Georgescu, B.; Scheuering, M. und Comaniciu, D. (2008) in „Four-chamber heart modeling and automatic segmentation for 3D cardiac CT volumes using marginal space learning and steerable features“, IEEE Transactions on Medical Imaging 27 (11), 1668–1681). In entsprechender Weise werden im Schritt **32** in dem zweiten Volumendatensatz der Aorta A die Innenwand I2 und die Außenwand A2 segmentiert.

**[0037]** Im Schritt **23** werden die Aorta des ersten Volumendatensatzes und die Aorta des zweiten Volumendatensatzes anhand Ihrer Mittellinien M1, M2 miteinander bzw. aufeinander registriert. Die Registrierung erfolgt bevorzugt unter weiterer Verwendung anatomischer Landmarken. So können verschiedene Abzweigungen der Aorta als anatomische Landmarken verwendet werden. Exemplarisch seien die in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) eingetragene Stelle **24** in der Aorta A auf Höhe des Abgangs der Arterien Renalis **25** oder die nicht in den Figuren gezeigten Abzweigungen der Arterien iliaca communis links und rechts genannt. In [Fig. 5](#) ist das Ergebnis der Registrierung veranschaulicht. Wie aus [Fig. 5](#) zu erkennen ist, decken sich die Innenwand I1 und die Innenwand I2 sowie die Außenwand A1 und die Außenwand A2 der Aorta A der beiden Volumendatensätze idealerweise zum Teil vollständig. Unterschiede bzw. Abweichungen treten jedoch im Bereich von Anomalien der Aorta auf. Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels der Erfindung liegt eine solche Anomalie in Form des Aneurysma AN vor, welches vermessen werden muss, um eine Diagnose stellen zu können.

**[0038]** Sind die Aorta des ersten Volumendatensatzes und die Aorta des zweiten Volumendatensatzes miteinander registriert, werden im Schritt **26** im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels der Erfindung entlang der Mittellinie M1 der Aorta des ersten Volumendatensatzes und entlang der Mittellinie M2 der Aorta des zweiten Volumendatensatzes, welche Mittellinien sich, wie vorliegend in [Fig. 5](#) dargestellt, idealerweise zu einer resultierenden Mittellinie decken, zumindest abschnittsweise an korrespondierenden Stellen jeweils der minimale und der maximale Durchmesser der Innenwand I1, I2 und jeweils der minimale und der maximale Durchmesser der Außenwand A1, A2 automatisiert ermittelt. Hierzu werden an korrespondierenden Stellen der Mittellinien M1, M2 Querschnittsebenen durch die Aorta gelegt, wobei eine



Querschnittsebene rechtwinklig zu der jeweiligen Mittellinie M1, M2 angeordnet ist.

**[0039]** In [Fig. 5](#) sind zur exemplarischen Veranschaulichung dieses Vorgehens an korrespondierenden Stellen der Aorta des ersten Volumendatensatzes und der Aorta des zweiten Volumendatensatzes korrespondierende Querschnittsebenen **40** bis **49** eingetragen. Die Anzahl der Querschnittsebenen ist nur exemplarisch zu verstehen, es können also auch weniger oder mehr Querschnittsebenen durch die Aorta des jeweiligen Volumendatensatzes gelegt werden.

**[0040]** In diesen Querschnittsebenen werden, wie bereits erwähnt, jeweils der minimale und der maximale Durchmesser der Innenwand I1, I2 und jeweils der minimale und der maximale Durchmesser der Außenwand A1, A2 automatisiert ermittelt. Vorliegend relevant für die Vermessung des Aneurysma AN, insbesondere für die Ermittlung des Wachstums bzw. der Größenzunahme des Aneurysma AN sind die Querschnittsebenen **41** bis **45**. [Fig. 6](#) zeigt exemplarisch in vereinfachter Weise die Vermessung in der Querschnittsebene **43**, bei der der minimale Durchmesser  $dI1_{\min}$  der Innenwand I1, der maximale Durchmesser  $dI1_{\max}$  der Innenwand I1, der minimale Durchmesser  $dA1_{\min}$  der Außenwand A1, der maximale Durchmesser  $dA1_{\max}$  der Außenwand A1, der minimale Durchmesser  $dI2_{\min}$  der Innenwand I2, der maximale Durchmesser  $dI2_{\max}$  der Innenwand I2, der minimale Durchmesser  $dA2_{\min}$  der Außenwand A2 und der maximale Durchmesser  $dA2_{\max}$  der Außenwand A2 bestimmt werden. In entsprechender Weise werden die Durchmesser in den übrigen Querschnittsebenen ermittelt.

**[0041]** Basierend auf den in den Querschnittsebenen ermittelten Werten der Durchmesser werden im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels der Erfindung folgende Differenzen pro Querschnittsebene gebildet:

$$\begin{aligned} dI2_{\min} - dI1_{\min} \\ dI2_{\max} - dI1_{\max} \\ dA2_{\min} - dA1_{\min} \\ dA2_{\max} - dA1_{\max} \end{aligned}$$

**[0042]** Die hieraus ermittelten Änderungen des minimalen Durchmessers der Innenwand  $\Delta dI_{\min}$ , des maximalen Durchmessers der Innenwand  $\Delta dI_{\max}$ , des minimalen Durchmessers der Außenwand  $\Delta dA_{\min}$  und des maximalen Durchmessers der Außenwand  $\Delta dA_{\max}$  werden in einem Schritt **27**, beispielsweise wie in [Fig. 5](#) gezeigt in Bezug auf die resultierende Mittellinie bzw. die Mittellinien M1, M2 visualisiert.

**[0043]** Alternativ oder zusätzlich kann basierend auf den Änderungen der minimalen und maximalen Durchmesser der Innen- und Außenwand der Aorta

in einer Querschnittsebene auch jeweils die Änderung der Querschnittsfläche  $\Delta QF$  ( $\Delta QF = QF2 - QF1$ ) der Aorta in der jeweiligen Querschnittsebene berechnet und die Änderungen der Querschnittsfläche entlang der resultierenden Mittellinie bzw. entlang der Mittellinien M1, M2 als zur resultierenden Mittellinie bzw. den Mittellinien in Bezug gesetzte Kurven visualisiert werden. Qualitativ ergäbe sich hierbei ein Kurvenverlauf, wie er für die Änderungen der Durchmesser in [Fig. 5](#) veranschaulicht ist. Bei der Berechnung der Querschnittsfläche kann in einfachen Fällen je nach Form des Querschnitts der Aorta auf Kreisgleichungen oder Ellipsengleichungen zurückgegriffen werden. Die Innen- und Außenwand einer Aorta sind zwar meist nahezu kreisförmig im Querschnitt, genauer kann die Innen- oder Außenwand der Aorta im Querschnitt jedoch durch einen Polygonzug beschrieben werden. Für eine genauere bzw. exaktere Berechnung der Querschnittsflächen können daher auch Polygonzüge verwendet werden.

**[0044]** Alternativ oder zusätzlich können in Schritt **26** basierend auf den Änderungen der minimalen und maximalen Durchmesser der Innen- und Außenwand der Aorta A in Richtung der Mittellinien M1, M2, insbesondere im Bereich des Aneurysma AN in jeder Querschnittsebene wenigstens eine die Außenwand A1, A2 und/oder eine die Innenwand I1, I2 der Aorta betreffende Differenzfläche sowie die Außen- und/oder Innenkontur der jeweiligen Differenzfläche ermittelt werden. Die Berechnung der Differenzfläche sowie der Außen- und Innenkontur kann z. B. wieder unter Verwendung von Kreisgleichungen, Ellipsengleichungen oder Polygonzügen erfolgen. Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels der Erfindung ist das Vorgehen in [Fig. 6](#) anhand der Querschnittsebene **43** für die Außenwand A1, A2 der Aorta A veranschaulicht. Wie aus [Fig. 6](#) zu erkennen ist, hat sich die Außenwand der Aorta A, wenn man die Außenwand A1 des ersten Volumendatensatzes und die Außenwand A2 des zweiten Volumendatensatzes miteinander vergleicht, deutlich ausgedehnt, wobei sich eine in [Fig. 6](#) schraffierte Differenzfläche DF ergibt. Die die Außenwand betreffende Differenzfläche DF weist eine Innenkontur DFK1 und eine Außenkontur DFK2 auf. Mit der in [Fig. 6](#) gezeigten, die Außenwand der Aorta A betreffenden Differenzfläche DF vergleichbare Differenzflächen, welche eine Innen- und eine Außenkontur aufweisen, lassen sich auch in den anderen Querschnittsebenen im Bereich des Aneurysma AN bestimmen. Die Gesamtheit der Außenkonturen bzw. der Innenkonturen ergeben in Richtung der Mittellinien M1, M2 gesehen eine äußere, die Außenwand der Aorta betreffende Konturfläche und eine innere, die Außenwand der Aorta betreffende Konturfläche.

**[0045]** Im Falle des vorliegenden Ausführungsbeispiels der Erfindung wird in Schritt **27** eine Textur auf die äußere Konturfläche abgebildet bzw. gemappt.

Basierend auf den zuvor ermittelten Änderungen der tubulären Gewebestruktur im Bereich des Aneurysma AN visualisiert die Textur die unterschiedlich starken Änderungen der tubulären Gewebestruktur im Bereich des Aneurysma AN durch unterschiedliche Farben. Die äußere Konturfläche wird zusammen mit der Textur als Bildelement in den ersten oder den zweiten Volumendatensatz der Aorta eingeblendet.

zwei oder drei dieser Durchmesser ermittelt und zur Visualisierung verwendet werden.

**[0046]** Fig. 7 zeigt schematisch die Einblendung der äußeren Konturfläche KF und der Textur T in den ersten Volumendatensatz der Aorta. Die Einblendung bzw. Visualisierung der äußeren Konturfläche KF und der Textur T kann beispielsweise gemäß dem in der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung 10 2009 052 315.4 beschriebenen Verfahren erfolgen.

**[0047]** Bevorzugt erfolgt die Visualisierung der Änderungen mit der Textur derart farbcodiert, dass starke Änderungen beispielsweise rot, mittelschwere Änderungen gelb und geringfügige Änderungen grün dargestellt werden.

**[0048]** Alternativ oder zusätzlich kann auch die innere, zu der Außenwand gehörige Konturfläche mit einer entsprechenden Textur visualisiert werden. In vergleichbarer Weise können auch eine die Innenwand I1, I2 betreffende äußere Konturfläche bzw. eine die Innenwand I1, I2 betreffende innere Konturfläche ermittelt und zusammen mit einer Textur visualisiert werden.

**[0049]** Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Verfahrens können demnach basierend auf zwei zu verschiedenen Zeitpunkten erzeugten Volumendatensätzen der Aorta Änderungen der Aorta, insbesondere Änderungen eines Aneurysma der Aorta ermittelt und einem Befunder visualisiert werden. Dies ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn nicht nur ein Aneurysma bzw. wenn nicht nur eine Anomalie der Aorta, sondern mehrere zu untersuchende Anomalien vorliegen. Dem Befunder können anhand eines der beiden Volumendatensätze die zu befundenden Stellen visualisiert werden, so dass der Befunder nur die zu diesen Stellen bereits vorliegenden Daten auswerten muss, um zu einer Diagnose zu gelangen.

**[0050]** Im Unterschied zu dem beschriebenen Ausführungsbeispiel der Erfindung können auch andere tubuläre Gewebestrukturen als die Aorta, beispielsweise die Herzkranzgefäße auf Anomalien untersucht werden.

**[0051]** Im Zuge des Verfahrens müssen auch nicht, wie vorstehend beschrieben der minimale Durchmesser der Innenwand, der maximale Durchmesser der Innenwand, der minimale Durchmesser der Außenwand und der maximale Durchmesser der Außenwand. Vielmehr kann auch nur einer oder es können



**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 102009006414 [0035]
- DE 102009032257 [0035]
- DE 102009052315 [0046]

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- vgl. Brewster, D. C.; Cronenwett, J. L.; Hallett, J. W.; Johnston, K. W.; Krupski, W. C.; Matsumura, „Guidelines for the treatment of abdominal aortic aneurysms”, Report of a subcommittee of the Joint Council of the American Association for Vascular Surgery and Society for Vascular Surgery, Journal of Vascular Surgery, Volume 37, No. 5, 2003, pages 1106–1117 [0003]
- Georgescu, B.; Zhou, X. S.; Comaniciu, D. und Gupta, A. in „Database-Guided Segmentation of Anatomical Structures with Complex Appearance”, in CVPR 05: Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 05)-Volume 2, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, pp. 429–436 [0007]
- Georgescu, B.; Zhou, X. S.; Comaniciu, D. und Gupta, A. in „Database-Guided Segmentation of Anatomical Structures with Complex Appearance”, in CVPR 05: Proceedings of the 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 05)-Volume 2, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, pp. 429–436 [0036]
- Zheng, Y.; Barbu, A.; Georgescu, B.; Scheuring, M. und Comaniciu, D. (2008) in “Four-chamber heart modeling and automatic segmentation for 3D cardiac CT volumes using marginal space learning and steerable features”, IEEE Transactions on Medical Imaging 27(11), 1668–1681 [0036]

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung wenigstens einer Änderung einer tubulären Gewebestruktur (A) eines Lebewesens (P) von einem ersten zu einem zweiten, von dem ersten verschiedenen Zeitpunkt, bei dem
  - in einem bereitgestellten ersten, zu dem ersten Zeitpunkt erzeugten Volumendatensatz und in einem bereitgestellten zweiten, zu dem zweiten, von dem ersten verschiedenen Zeitpunkt erzeugten Volumendatensatz der tubulären Gewebestruktur (A) des Lebewesens (P) jeweils die Mittellinie (M1, M2) der tubulären Gewebestruktur (A) bestimmt wird,
  - in dem ersten Volumendatensatz und in dem zweiten Volumendatensatz der tubulären Gewebestruktur (A) jeweils die Innenwand (I1, I2) und/oder die Außenwand (A1, A2) der tubulären Gewebestruktur (A) bestimmt werden,
  - die tubuläre Gewebestruktur (A) des ersten Volumendatensatzes und die tubuläre Gewebestruktur (A) des zweiten Volumendatensatzes anhand ihrer Mittellinien (M1, M2) miteinander registriert werden,
  - entlang der Mittellinie (M1) der tubulären Gewebestruktur (A) des ersten Volumendatensatzes und entlang der Mittellinie (M2) der tubulären Gewebestruktur (A) des zweiten Volumendatensatzes jeweils der minimale und/oder der maximale Durchmesser der Innenwand ( $dI1_{\min}$ ,  $dI2_{\min}$ ,  $dI1_{\max}$ ,  $dI2_{\max}$ ) und/oder jeweils der minimale und/oder der maximale Durchmesser der Außenwand ( $dA1_{\min}$ ,  $dA2_{\min}$ ,  $dA1_{\max}$ ,  $dA2_{\max}$ ) der tubulären Gewebestruktur (A) ermittelt werden und bei dem
  - zur Ermittlung der wenigstens einen Änderung der tubulären Gewebestruktur (A) entlang der tubulären Gewebestruktur (A) an miteinander korrespondierenden Positionen der Mittellinien (M1, M2) der tubulären Gewebestruktur (A) des ersten Volumendatensatzes und der tubulären Gewebestruktur (A) des zweiten Volumendatensatzes wenigstens eine Änderung des minimalen und/oder des maximalen Durchmessers der Innenwand ( $\Delta dI_{\min}$ ,  $\Delta dI_{\max}$ ) und/oder wenigstens eine Änderung des minimalen und/oder des maximalen Durchmessers der Außenwand ( $\Delta dA_{\min}$ ,  $\Delta dA_{\max}$ ) der tubulären Gewebestruktur (A) ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die wenigstens eine vom ersten zum zweiten Zeitpunkt eingetretene Änderung der tubulären Gewebestruktur (A) visualisiert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die wenigstens eine Änderung des minimalen und/oder des maximalen Durchmessers der Innenwand ( $\Delta dI_{\min}$ ,  $\Delta dI_{\max}$ ) und/oder des minimalen und/oder des maximalen Durchmessers der Außenwand ( $\Delta dA_{\min}$ ,  $\Delta dA_{\max}$ ) der tubulären Gewebestruktur (A) visualisiert wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem basierend auf der ermittelten wenigstens einen

Änderung des minimalen und/oder des maximalen Innen- und/oder Außendurchmessers ( $\Delta dI_{\min}$ ,  $\Delta dI_{\max}$ ,  $\Delta dA_{\min}$ ,  $\Delta dA_{\max}$ ) der tubulären Gewebestruktur (A) in der zu der wenigstens einen Änderung gehörigen Querschnittsebene der tubulären Gewebestruktur die Änderung der Querschnittsfläche der tubulären Gewebestruktur (A) berechnet und visualisiert wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem basierend auf der ermittelten wenigstens einen Änderung des minimalen und/oder des maximalen Innen- und/oder Außendurchmessers ( $\Delta dI_{\min}$ ,  $\Delta dI_{\max}$ ,  $\Delta dA_{\min}$ ,  $\Delta dA_{\max}$ ) der tubulären Gewebestruktur (A) in der zu der wenigstens einen Änderung gehörigen Querschnittsebene der tubulären Gewebestruktur wenigstens eine die Außenwand (A1, A2) und/oder eine die Innenwand (I1, I2) der tubulären Gewebestruktur (A) betreffende Differenzfläche (DF) sowie die zu der Differenzfläche (DF) gehörige Außen- (DFK2) und/oder Innenkontur (DFK1) ermittelt werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem basierend auf ermittelten Änderungen des minimalen und/oder des maximalen Innen- und/oder Außendurchmessers ( $\Delta dI_{\min}$ ,  $\Delta dI_{\max}$ ,  $\Delta dA_{\min}$ ,  $\Delta dA_{\max}$ ) der tubulären Gewebestruktur (A) in in Richtung der Mittellinien (M1, M2) aufeinanderfolgenden, zu den Änderungen gehörigen Querschnittsebenen der tubulären Gewebestruktur (A) für jede eine Änderung aufweisende Querschnittsebene wenigstens eine die Außenwand (A1, A2) und/oder eine die Innenwand (I1, I2) der tubulären Gewebestruktur (A) betreffende Differenzfläche (DF) sowie die Außen- (DFK2) und/oder Innenkontur (DFK1) der jeweiligen Differenzfläche (DF) ermittelt werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die Außenkonturen (DFK2) aufeinanderfolgender Differenzflächen (DF) eine äußere Konturfläche (KF) und die Innenkonturen (DFK1) aufeinanderfolgender Differenzflächen (DF) eine innere Konturfläche bilden, wobei auf die äußere Konturfläche (DF) und/oder die innere Konturfläche eine Textur (T) abgebildet wird, die den Grad der Änderung an unterschiedlichen Stellen der äußeren Konturfläche (KF) und/oder der inneren Konturfläche visualisiert.

8. Verfahren nach Anspruch 7, bei dem unterschiedliche Grade der Änderung mit unterschiedlichen Farben visualisiert werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die tubuläre Gewebestruktur wenigstens ein blutführendes Gefäß aufweist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das wenigstens eine blutführende Gefäß die Aorta (A) eines Menschen ist.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, bei dem die wenigstens eine zu ermittelnde Änderung des wenigstens einen blutführenden Gefäßes die Änderung eines Aneurysma (AN) des blutführenden Gefäßes ist.

12. Recheneinheit, welche zur Ausführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 11 programmtechnisch eingerichtet ist.

13. Datenträger, aufweisend ein ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 umsetzendes Rechenprogramm, welches auf dem Datenträger (**13**) gespeichert und von einer Recheneinheit (**12**) von dem Datenträger (**13**) ladbar ist, um ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11 auszuführen, wenn das Rechenprogramm in der Recheneinheit (**12**) geladen ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

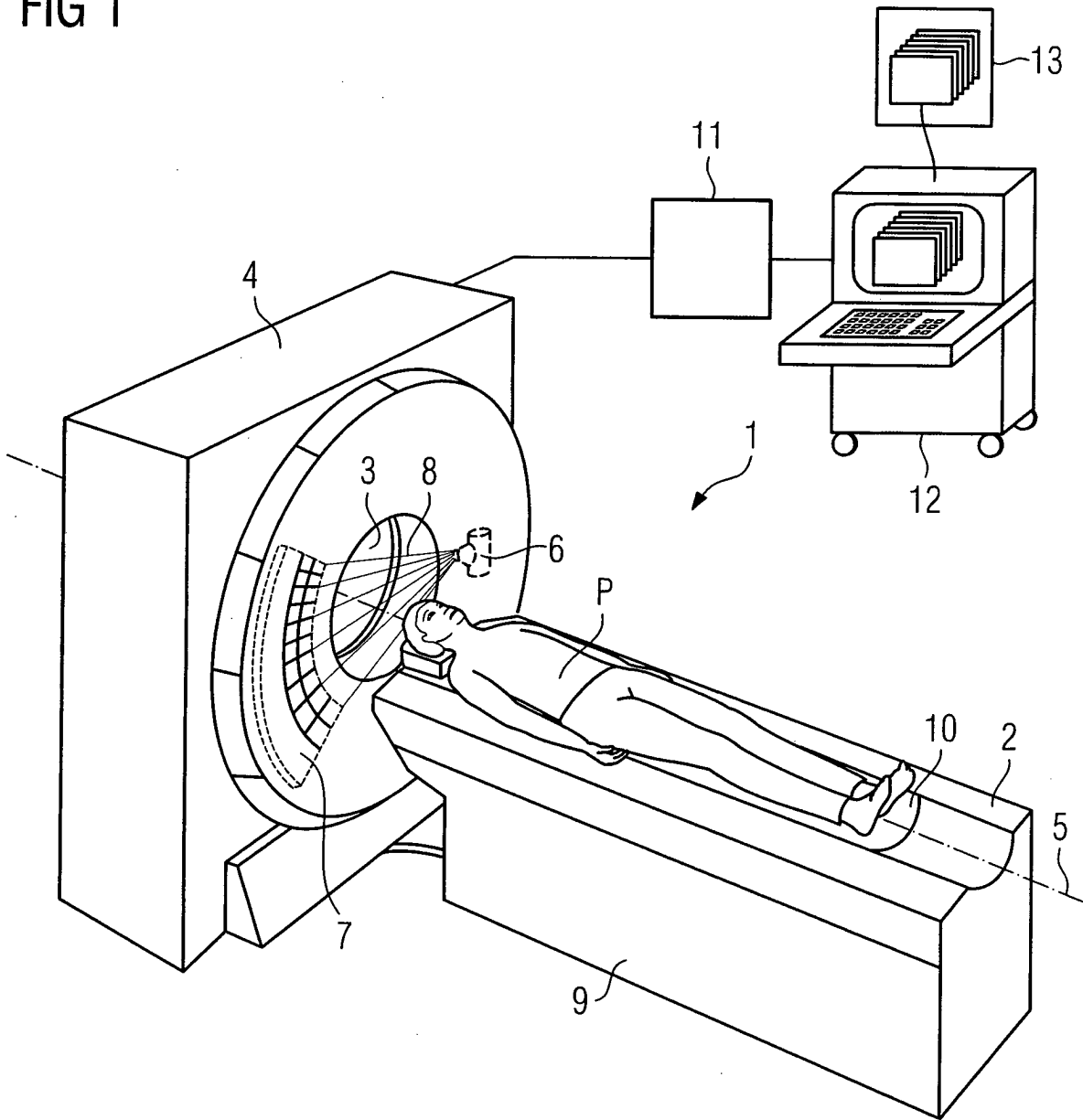


FIG 2

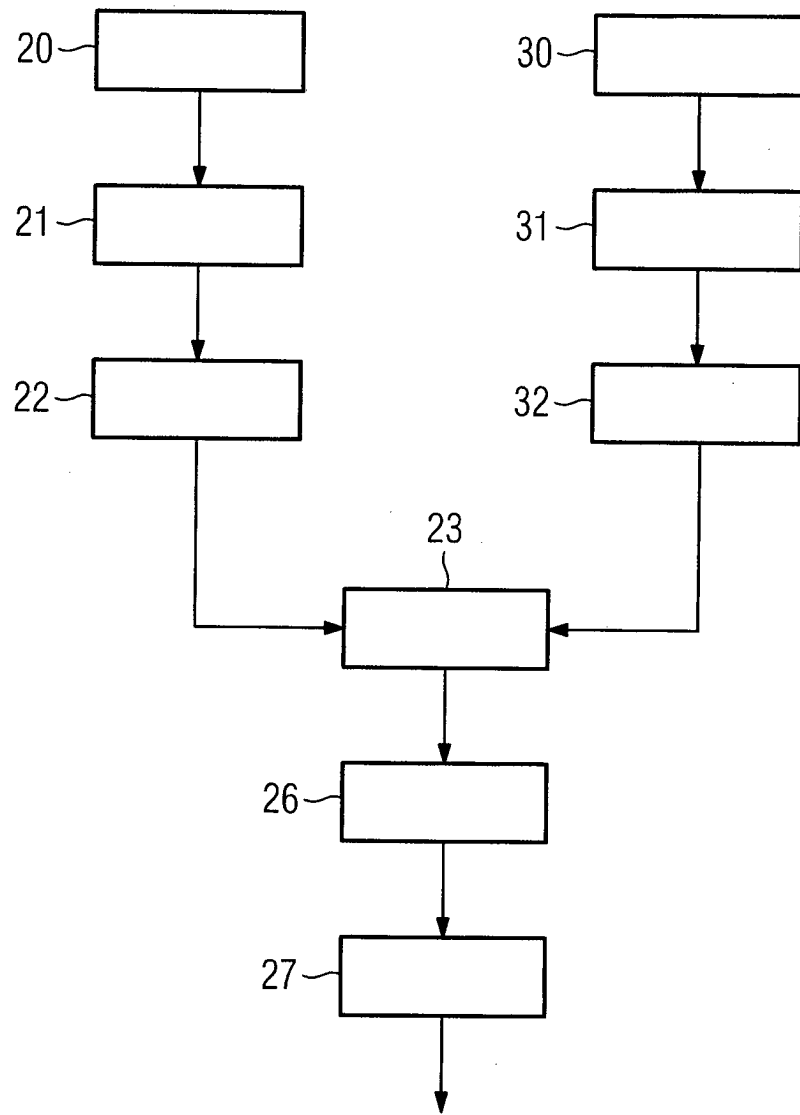


FIG 3

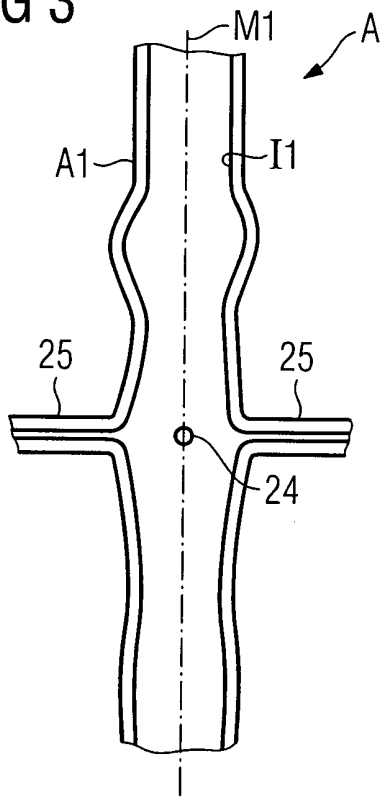


FIG 4

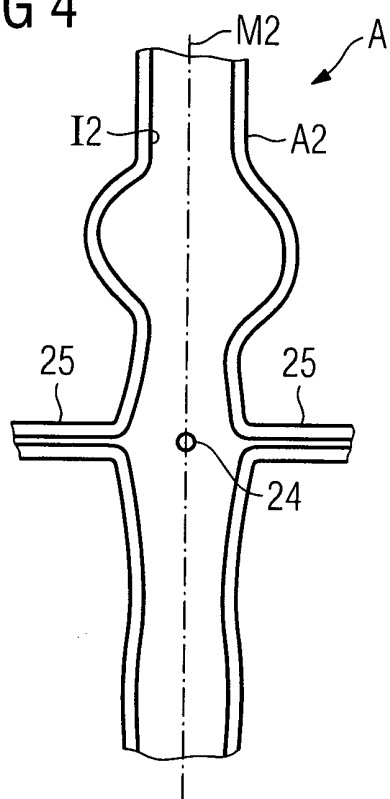


FIG 5

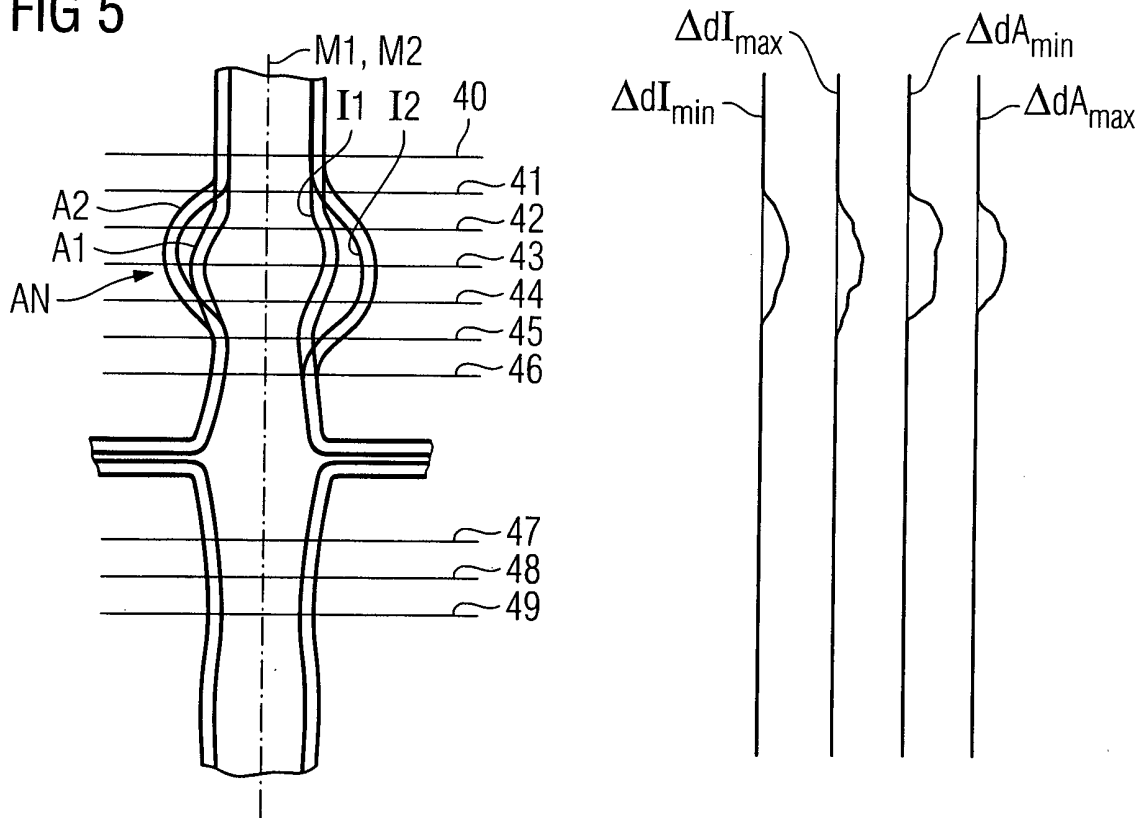




FIG 6

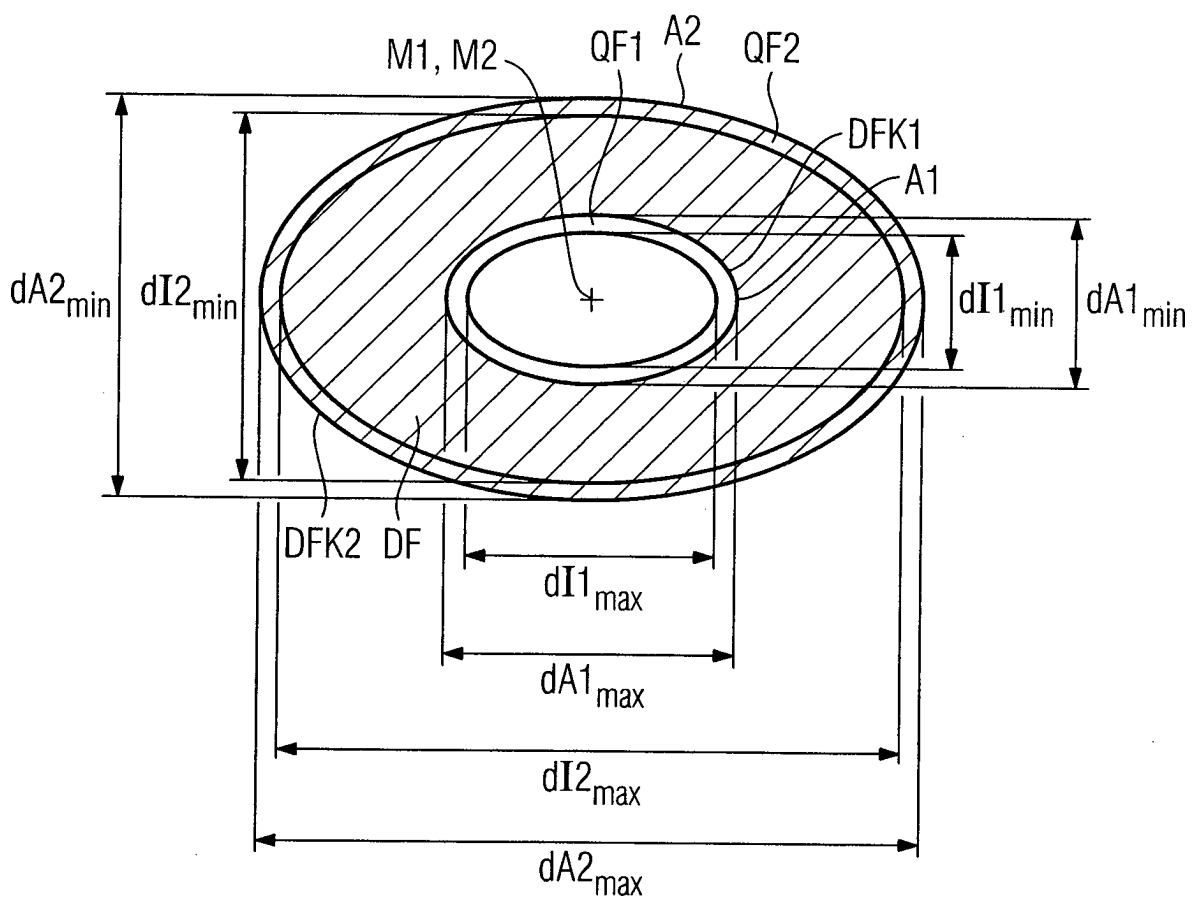


FIG 7

