



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 108 152.3**
(22) Anmeldetag: **02.05.2016**
(43) Offenlegungstag: **02.11.2017**

(51) Int Cl.: **G09B 23/28 (2006.01)**
A61B 34/10 (2016.01)
A61B 90/00 (2016.01)
B33Y 80/00 (2015.01)

(71) Anmelder:
Universität zu Lübeck, 23562 Lübeck, DE

(72) Erfinder:
Kemmling, André, Dr., 23562 Lübeck, DE

(74) Vertreter:
**Hansen und Heeschen Patentanwälte, 21680
Stade, DE**

(56) Ermittelte Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

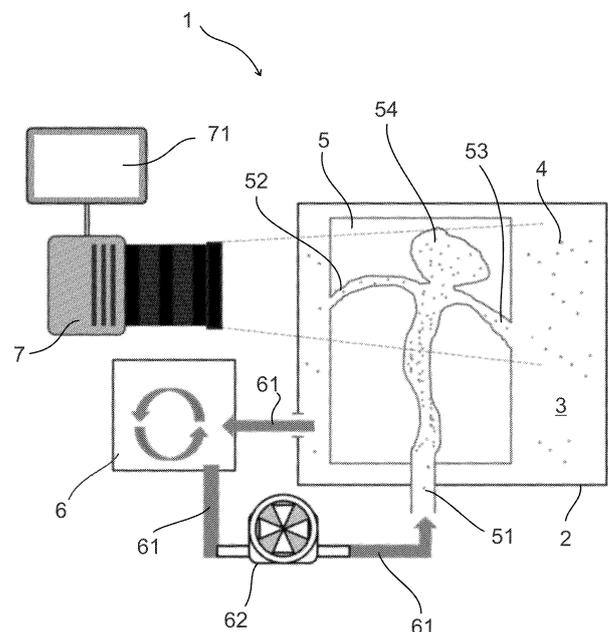
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell sowie dazugehöriges Herstellungsverfahren**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell Aufweisend:

- ein Behältnis (2) mit einem Aufnahmeraum (3) und einer in dem Aufnahmeraum (3) befindlichen Flüssigkeit (4);
 - ein künstlich hergestelltes Gefäßsystem (5) mit wenigstens einer Zuführung / zuführenden Arterie (51) und wenigstens einer Abführung / periphere abführende Arterienäste (52, 53), wobei
 - das Gefäßsystem (5) in dem Aufnahmeraum (3) des Behältnisses (2) angeordnet ist und von der Flüssigkeit (4) umströmbar ist,
 - die wenigstens eine zuführende Arterie (51) von außerhalb des Behältnisses (2) mit der Flüssigkeit (4) beströmbar ist und
 - die peripheren abführenden Arterienäste (52, 53) frei in dem Aufnahmeraum (3) des Behältnisses (2) enden, so dass die das Gefäßsystem (5) von der zuführenden Arterie (51) zu den abführenden Arterienästen (52, 53) durchströmende Flüssigkeit (4) in den Aufnahmeraum (3) des Behältnisses (2) entströmt;
 - eine Zirkulationspumpe (6) und Zirkulationsleitungen (61) zur Entnahme der Flüssigkeit (4) aus dem Aufnahmeraum (3) des Behältnisses (2) und Einbringung in die zuführende Arterie (51) des Gefäßsystems (5), wobei die Flüssigkeit (4) aus dem Aufnahmeraum (3) des Behältnisses (2) mittels der Zirkulationspumpe (6) und Zirkulationsleitungen (61) durch das Gefäßsystem (2, 51 -> 52/53) zirkulierbar ist.
- Ferner betrifft die Erfindung ein dazu gehöriges Herstellungsverfahren.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2005 050 000	A1
DE	20 2004 006 035	U1
US	7 739 090	B2
US	2005 / 0 186 361	A1
US	2007 / 0 021 816	A1
US	2008 / 0 187 895	A1
US	2013 / 0 149 214	A1
US	2013 / 0 288 218	A1
US	2016 / 0 068 385	A1
EP	2 287 823	A1
EP	2 772 897	A1
WO	2005/ 010 849	A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell sowie dazugehöriges Herstellungsverfahren.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind unterschiedliche Lösungen bekannt, um dreidimensionale gefäßchirurgische-Simulationsmodelle sowie dazugehörige Herstellungsverfahren für einen Gefäßbereich zu realisieren.

[0003] Aus der Druckschrift DE 10 2005 050 000 A1 sind Bildgebungssysteme zur Verwendung in einer medizinischen Eingriffsoperation bekannt, bei den bildgebende Systeme, z.B. eine Serie von 2D CT-Fluoroskopie Bildern in ein 3D Modell-Bild an einem Bildschirm überführt werden, um einen Operateur mit diesen Bild-Informationen direkt zu unterstützen. Ein derartiges bildgebendes Verfahren für Gefäßmodelle wird auch durch die US 7 739 090 B2 gezeigt.

[0004] Weiter ist aus der Druckschrift DE 10 2010 008 702 B4 ein Verfahren zur Herstellung einer Bohrschablone zum Einbringen von implantologischen Bohrungen bekannt, bei der auf Basis von segmentierten Bilddaten ein körperliches 3D-Modell mit einem Rapid-Prototyping-Verfahren oder 3D-Druckverfahren hergestellt wird, wobei das 3D-Modell in einem Teilbereich transparent ausgeführt ist, um Merkmale eines Zahns-, Mund- oder Kieferbereichs zu visualisieren und einen geplanten Eingriff am 3D-Modell simulieren zu können und eine Bohrschablone darauf abzustimmen. Die EP 2 287 823 A1 zeigt ein Verfahren zur Herstellung eines Gefäßmodells aus einem Polymer in Drucktechnik.

[0005] Ferner ist aus der Druckschrift DE 10 2013 004 843 A1 ein medizinisches Simulationssystem bekannt, mit einem Dummy/ Patientenmodell mit Eingabe-/Ausgabeeinrichtung und Sensorik die bei einem simulierten medizinischen Eingriff über die physiologischen Zustandsdaten informieren und damit die Operationsumgebung simulieren.

[0006] Die US 2005 0 186 361 A1 zeigt ein 3D-Modell für Blutgefäße und die Herstellungsmethode.

[0007] Aus der WO 2005 010 849 A1 ist ein Simulationsmodell für eine Eingriffssituation bei endovaskulären Eingriffen am Herzen mit einem Blutzirkulationsmodell bekannt.

[0008] Die Probleme im Stand der Technik sind im Wesentlichen die gesamte Gefäßsituation mit dynamischem Durchfluss in einem transparenten 3D-Modell mit Modellträger abzubilden, damit unter realistischen Bedingungen Störungen, z.B. ein Verschluss und die damit verbundenen Auswirkungen studiert werden können.

[0009] Wegen zeitlichem Aufwand, Preis und anatomischer Ungenauigkeit eignen sich Silikonmodelle nicht zur Herstellung in großer Stückzahl für die regelmäßige patienten-spezifische Durchführung von Device-Tests im Modell. Zudem werden Silikonmodelle bisher in eingeschlossenen Pumpensystem integriert, so dass jedes Gefäß des arteriellen Abflusses einen eigenen Anschluss braucht; dies macht die Herstellung kompliziert und sehr aufwendig. Multiple kleine Verästelungen der peripheren Hirnarterien können nicht einzeln mit einem Anschluss für den Abfluss versehen werden.

[0010] Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell mit einem Modellträger, welches das Gefäßsystem darstellt, bereit zu stellen. Eine weitere Aufgabe besteht darin, ein entsprechendes dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell-Herstellungsverfahren anzugeben, mit dem kostengünstig ein entsprechendes dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell hergestellt werden kann. Hierbei soll besonderes Augenmerk auf die Herstellungskosten, die Realitätsnähe als auch die Kontrollierbarkeit bei Verwendung des Modells gelegt werden.

[0011] Gelöst werden diese Aufgaben mit einem dreidimensionalen gefäßchirurgischen-Simulationsmodell gemäß Hauptanspruch sowie einem Herstellungsverfahren gemäß nebengeordnetem Anspruch.

[0012] Erfindungsgemäß weist das dreidimensionale gefäßchirurgische-Simulationsmodell auf:

- ein Behältnis mit einem Aufnahmeraum und einer in dem Aufnahmeraum befindlichen Flüssigkeit;
- ein künstlich hergestelltes Gefäßsystem mit wenigstens einer Zuführung / zuführenden Arterie und wenigstens einer Abführung / periphere abführende Arterienäste, wobei
- das Gefäßsystem in dem Aufnahmeraum des Behältnisses angeordnet ist und von der Flüssigkeit umströmbar ist,
- die wenigstens eine zuführende Arterie von außerhalb des Behältnisses mit der Flüssigkeit beströmbar ist

und

- die peripheren abführenden Arterienäste frei in dem Aufnahmeraum des Behältnisses enden, so dass die das Gefäßsystem von der zuführenden Arterie zu den abführenden Arterienästen durchströmende Flüssigkeit in den Aufnahmeraum des Behältnisses entströmt;
- eine Zirkulationspumpe und Zirkulationsleitungen zur Entnahme der Flüssigkeit aus dem Aufnahmeraum des Behältnisses und Einbringung in die zuführende Arterie des Gefäßsystems, wobei

die Flüssigkeit aus dem Aufnahmeraum des Behältnisses mittels der Zirkulationspumpe und Zirkulationsleitungen durch das Gefäßsystem zirkulierbar ist.

[0013] Hierdurch ist es erstmalig möglich, ein Flussmodell auf sehr günstige Weise von Gefäßsystemen, insbesondere der Hirnregion eines Patienten, zu erstellen, an dem zu Übungszwecken als auch zur Vorbereitung auf eine tatsächliche Operation geübt und trainiert werden kann. Es ist hierdurch möglich mit einer sehr hohen Auflösung und Detailtreue zu arbeiten, wobei insbesondere auch Problemstellen wie Hirnaneurysmen darstellbar sind.

[0014] In einer besonders bevorzugten Ausführungsvariante sind das Behältnis und/oder das Gefäßsystem aus einem transparenten Material oder transparenten Kunststoff hergestellt. Auf diese Weise kann beim Üben und Planen von Gefäßchirurgischen Eingriffen eine optische Kontrolle erfolgen. Gleichzeitig ist auch eine Übung mittels radiologischer Bildgebung möglich.

[0015] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform ist gegeben, wenn die Flüssigkeit in dem Behältnis eine transparente Flüssigkeit, insbesondere ein Glycerin-Wassergemisch ist. Hierdurch ist eine nahezu absolute Transparenz gegeben, so dass innerhalb des Modells die Strukturen von Außen nahezu vollständig bis vollständig transparent sind.

[0016] Das technische Detail des offenen Fluss-Systems, das einerseits die einfache Herstellung von 3D Modellen ermöglicht, wobei die peripheren abführenden Arterienäste keinen Anschluss benötigen, andererseits der Ausgleich des Brechungsindex durch die umgebende Flüssigkeit für maximale Transparenz zum Einsatz unter Sicht, sowie die zusätzlich visuelle Flusskontrolle zum Einsatz unter Röntgendurchleuchtung sind die Schlüsselkomponenten des System. Insbesondere ist die Gesamtschau dieser Eigenschaften von großer Bedeutung.

[0017] In einer weiteren Ausführungsvariante kann ein Zugang für ein oder mehrere Instrumente, Katheter und/oder Anomalien, künstliche Verschlüsse, Thromben zum Einführen und/oder Bewegen in die zuführende Arterie vorgesehen sein. Besonders vorteilhaft ist bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung, dass beim Führen von Instrumenten in den durchströmten Gefäßen der Einfluss unterschiedlichster Geräte und deren Einfluss auf die Hydromechanik des gesamten Systems studiert werden kann. Dies schließt das Studium der Untersuchung von Auswirkungen invasiver Folgen des Eingriffs mit ein. Das Aneurysmamodell hat ein zuführendes Gefäß über eine Halsarterie (Arteria Carotis interna rechts/links, Arteria vertebralis rechts/links) und viele nachgeschaltete abführende Gefäße der Hirnperipherie. Die abführenden Gefäße

des Modells bekommen keinen eigenen Anschluss (wie bisher bei Silikonmodellen), sondern enden offen in einem transparenten Behälter als Sammelbecken. Hier erfolgt die Rückführung der Flüssigkeit zu einer Pumpe. Dieses Set-up ermöglicht wiederum die einfache Herstellung und Anwendung von hochauflösenden 3D Modellen als Block mittels Laserstereolithographie (SLA), wobei sehr kleine periphere Arterien in einem Modell realisiert werden können.

[0018] Insbesondere kann das Gefäßsystem mittels 3D-Druckverfahren, Stereolithografie [STL oder SLA-Printing] und/oder Laser-Stereolithografie hergestellt werden. Hierbei bietet sich insbesondere ein mittels SLA-Print-Technologie hergestellter Kunststoff an. Insbesondere können relevante Maßstäbe, nämlich Lumendurchmesser zwischen 1 bis 10 mm kostengünstig und mit geringem Aufwand, allerdings mit sehr hoher anatomischer Genauigkeit realisiert werden, die beispielsweise im Stand der Technik durch Silikonmodell nicht erreichbar sind.

[0019] Ferner kann zur weiteren Ausgestaltung ein Regelkreis mit Sensoren, Steuerung und Regelautomatik vorgesehen sein, wobei die Zirkulation der Flüssigkeit gesteuert wird, wobei ergänzend eine Anzeige zur Visualisierung der Intensität und/oder Richtung der Strömung der Flüssigkeit oder ein rotating wheel vorgesehen werden kann.

[0020] Im Weiteren kann vorteilhafterweise das Gefäßsystem eine Replikation eines tatsächlichen menschlichen Gefäßsystems sein und/oder als Simulation für endovasculäre Eingriffe im Hirn ausgebildet werden.

[0021] Zusätzlich kann eine Beleuchtungseinrichtung und/oder eine bildgebende Aufnahmeeinheit, eine visuelle Kamera und/oder eine Röntgendiagnostik vorgesehen werden, um die Durchführung der praktischen Übung zu dokumentieren bzw. realitätsnah nachzustellen bzw. zu proben.

[0022] Weiter erfindungsgemäß ist es, ein dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell-Herstellungsverfahren für das erfindungsgemäße dreidimensionale gefäßchirurgische-Simulationsmodell anzugeben, wobei dieses die Schritte aufweist:

1. Herstellen eines computerlesbaren Druckdatensatzes für das Herstellen / Drucken / SLA Drucken des Gefäßsystems;
2. Herstellen des Gefäßsystems;
3. Einbauen des Gefäßsystems in das Behältnis;
4. Herstellen des Zirkulationskreislaufes.

[0023] Insbesondere können zum Herstellen des Druckdatensatzes MRT-, CT- und/oder nicht invasive Bildgebungsverfahren von Patienten verwendet werden.

[0024] Durch die kostengünstige Herstellung des 3D-Modells mit Modellträger eignet sich die Vorrichtung sowohl für Studien, Schulungen, Vorträge, als auch eine ggf. unabhängige Vorbereitung und in situ Fallbetrachtung bei Operationen.

[0025] Derartige dreidimensionale gefäßchirurgische-Simulationsmodelle können in Kursen angewendet werden, sog. Hands on Workshops für Neuro-radiologen. Die Möglichkeit, solche Hands On Workshops durchzuführen, ist insbesondere für Device Firmen sehr interessant

[0026] Die wesentliche Aspekte zusammengefasst sind insbesondere die Kostenreduktion und Flexibilität sowie die schnellere und kostengünstigere Herstellung des Fluss-Systems und der 3D Modelle im Vergleich zu Silikonmodellen.

[0027] Es ist somit auch möglich, auf Tiermodelle, wie Hase, Schwein und dergleichen, zu verzichten, da diese teurer sind und sich weniger gut für Kurse mit vielen Teilnehmer eignen, da diese nicht hochskalierbar und zudem ethisch bedenklich sind.

[0028] Patientenspezifische Modelle, wie sie durch Nutzung von MRT und weiteren bildgebenden Verfahren digital möglich sind, erlauben den Trainierenden an einem eigenem geplanten Fall zu üben, wobei die Bilddaten zur Verfügung gestellt werden, um ein 3D Modell herzustellen.

[0029] Zusammengefasst die Vorteile: Geringe Kosten, schnelle Produktion, hohe Auflösung, patientenspezifische Fluss-Modelle.

[0030] Der gesamte Herstellungsprozess für ein funktionierendes out of the box Fluss-System sowie für die 3D Modelle von Hirnaneurysmen ab Roh-Bilddaten bis fertiges Modell nach SLA Technik ist bereits durch den Erfinder etabliert worden.

[0031] Das Fluss-System ist in der Regel nicht zum dauerhaften Gebrauch geeignet, jedoch wird dies durch den Ansatz der geringen Herstellungskosten deutlich kompensiert. 3D Modelle können jederzeit ohne großen zeitlichen Aufwand anhand der Bilddatenverarbeitung pro Aneurysmamodell leicht reproduziert werden, da die Replikation im SLA Drucker beliebig hochskalierbar ist.

[0032] Das erfindungsgemäße Fluss-System mit Integration des transparenten 3D Modells der Hirnarterien in einem offenen transparenten Behälter ermöglicht eine einfache Handhabung und einen einfachen Aufbau, so wie sehr einfache Bilddatenverarbeitung zur Erzeugung der Aneurysmamodelle welche nur einen Zuflussadapter benötigen, durch den die Flüssigkeit in das Gefäßsystem eingebracht wird und welche

einen offenen abführenden Arterienästen in den Behälter austritt.

[0033] Zum Erreichen einer maximalen Transparenz des 3D Modells erfolgt ein Angleichen des Brechungsindex der das Modell umgebenden Flüssigkeit.

[0034] Das offene Fluss-System ermöglicht die einfache Herstellung von Modellen mittels SLA Rapid Manufacturing. Bei der SLA Technik wird mit einem optischen Verfahren mittels UV Laserlicht bei 405 nm ein lichtaushärtender Kunststoff, ein Photopolymer, ausgehärtet, das entsprechend dem auf Bilddaten basierten Modell entspricht. SLA erlaubt ein Rapid-Manufacturing von hochauflösenden Modellen. Das Photopolymer muss eine sehr gute Transparenz der Modelle gewährleisten. Dies ist notwendig zur Anwendung und Platzierung von Geräten und Devices in das Modell unter Sicht ohne Röntgenstrahlung.

[0035] Die Oberfläche des angebotenen transparenten Resins, beispielsweise FLGPCL02, ist jedoch nach Aushärtung nicht vollständig klar zur visuellen Durchsicht und präzisen Inspektion platzierter Devices im Millimeterbereich. Jedoch wird das Modell im offenen Fluss-System von Flüssigkeit umgeben, wobei der Brechungsindex der Flüssigkeit, insbesondere einem Gemisch aus Wasser und Glycerin, durch entsprechendes Mischungsverhältnis dem Brechungsindex des Resins angepasst wird, wodurch eine maximale Transparenz zur visuellen Durchsicht des 3D Modells gegeben ist. Eine aufwendige Oberflächennachbehandlung des Modells zur Verbesserung der Transparenz entfällt.

[0036] Das Fluss-System mit integrierter visueller Flusskontrolle kann zur schnellen Einstellung der Strömungsgeschwindigkeit für den realistischen Einsatz des Fluss-Systems unter Durchleuchtung bzw. für die digitale Subtraktionangiographie (DSA) verwendet werden. Es kann ein Maskenbild "Roadmap" der Gefäße zur Katheternavigation realistisch erzeugt werden.

[0037] Die Erfindung beschreibt also eine technische Lösung zur Herstellung bzw. Anwendung von patienten-spezifischen transparenten 3D Modellen insbesondere von Hals- und Hirnarterien welche in ein Fluss-System integriert werden, so dass unter Sicht oder unter Röntgendurchleuchtung das Einbringen von Devices zur Behandlung von arteriellen Hirnaneurysmen oder Stenosen, z.B. durch Coils, Flowdiverter, Stents geübt oder präoperativ getestet werden kann.

[0038] 3D-Rotationsangiographische (3D RA) Daten von Aneurysmen vor der Behandlung wurden für den Druck der Volumenmodelle mittels SLA verarbeitet. Cerebral-arterielle Modelle wurden mit transparenten Photopolymer-Harz direkt gedruckt.

[0039] In einem einfachen Aufbau eines 3D-Modells sind die arteriellen Verbindungen über einen PVC-Schlauch mit einer Umwälzpumpe verbunden worden, was eine optimale simulierte Umgebung von Aneurysmen in einem echten neurologischen Angio-Suite erlaubt.

[0040] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der beiliegenden Abbildungen in der nachfolgenden Beschreibung der Abbildungen beschrieben, wobei diese die Erfindung erläutern sollen und nicht beschränkend zu werten sind:

[0041] Es zeigen:

[0042] **Abb. 1** eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen dreidimensionalen gefäßchirurgischen-Simulationsmodells **1**;

[0043] **Abb. 2** eine schematische Darstellung des in **Abb. 1** dargestellten Ausführungsbeispiels verwendeten Gefäßsystems **5**;

[0044] **Abb. 3** eine Darstellung eines 3D-Modells eines Patientengefäßes und

[0045] **Abb. 4** eine Darstellung des tatsächlichen Patientengefäßsystems.

[0046] In **Abb. 1** ist eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen dreidimensionalen gefäßchirurgischen-Simulationsmodells **1** dargestellt.

[0047] Das Hauptelement ist das Behältnis **2** mit dem Aufnahme-raum **3**, in dem das Gefäßsystem **5** mit dem Aneurysma **54**, der zuführenden Arterie **51** und den schematisch dargestellten abführenden Arterienästen **52** und **53** dargestellt ist.

[0048] Das Zirkulationssystem ist derart ausgebildet, dass aus dem Behältnis **2** eine Zirkulationsleitung **61** zu einer Zirkulationspumpe **6** geführt ist. Von der Zirkulationspumpe **6** erfolgt ein weiterer Anschluss über eine weitere Zirkulationsleitung **61** zu einem rotating wheel **62**, welches den Fluss anzeigt, und weiter über eine weitere Zirkulationsleitung **61** hin zu der zuführenden Arterie **51** des Gefäßsystems **5**.

[0049] Die abführenden Arterienäste **52** und **53** enden offen in dem Behältnis **2**, nämlich im Aufnahme-raum **3**, in dem das Gefäßsystem **5** angeordnet ist.

[0050] Zur Kontrolle ist eine Kamera **7** mit einem daran angeordneten Monitor **71** vorgesehen.

[0051] Die Flüssigkeit **4**, die in dem gesamten System **1** verwendet wird, ist eine Glycerin-Wasser-Lösung.

[0052] Die Zirkulationspumpe **6** arbeitet mit: Pulsatile Flow 1.2 Hz, Pressure gradient ~40 mmHg und einem Volumen ~300 ml/min, um einen typischen Fluss zu realisieren.

[0053] Das Gefäßsystem **5** ist mittels 3D-SLA-Technologie erstellt worden.

[0054] **Abb. 2** zeigt eine schematische Darstellung des in **Abb. 1** dargestellten Ausführungsbeispiels verwendeten Gefäßsystems **5**. Hier sind die zuführende Arterie **51** sowie eine Vielzahl der abführenden Arterienäste exemplarisch mit **52** und **53** gekennzeichnet dargestellt. Es handelt sich um ein ICA Aneurysma.

[0055] In **Abb. 3** ist eine Darstellung eines 3D-Modells eines Patientengefäßes gezeigt.

[0056] **Abb. 4** zeigt eine Darstellung des tatsächlichen Patientengefäßsystems.

Bezugszeichenliste

1	dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell
2	Behältnis
3	Aufnahmeraum
4	Flüssigkeit
5	Gefäßsystems
51	zuführende Arterie
52, 53	abführende Arterienäste
54	Aneurysma
6	Zirkulationspumpe
61	Zirkulationsleitungen
62	rotating wheel
7	Kamera
71	Monitor

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 102005050000 A1 [0003]
- US 7739090 B2 [0003]
- DE 102010008702 B4 [0004]
- EP 2287823 A1 [0004]
- DE 102013004843 A1 [0005]
- US 20050186361 A1 [0006]
- WO 2005010849 A1 [0007]

Patentansprüche

1. Dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell (1) aufweisend

– ein Behältnis (2) mit einem Aufnahmeraum (3) und einer in dem Aufnahmeraum (3) befindlichen Flüssigkeit (4);

– ein künstlich hergestelltes Gefäßsystem (5) mit wenigstens einer Zuführung / zuführenden Arterie (51) und wenigstens einer Abführung / periphere abführende Arterienäste (52, 53), wobei

– das Gefäßsystem (5) in dem Aufnahmeraum (3) des Behältnisses (2) angeordnet ist und von der Flüssigkeit (4) umströmbar ist,

– die wenigstens eine zuführende Arterie (51) von außerhalb des Behältnisses (2) mit der Flüssigkeit (4) beströmbar ist

und

– die peripheren abführenden Arterienäste (52, 53) frei in dem Aufnahmeraum (3) des Behältnisses (2) enden, so dass die das Gefäßsystem (5) von der zuführenden Arterie (51) zu den abführenden Arterienästen (52, 53) durchströmende Flüssigkeit (4) in den Aufnahmeraum (3) des Behältnisses (2) entströmt;

– eine Zirkulationspumpe (6) und Zirkulationsleitungen (61) zur Entnahme der Flüssigkeit (4) aus dem Aufnahmeraum (3) des Behältnisses (2) und Einbringung in die zuführende Arterie (51) des Gefäßsystems (5), wobei die Flüssigkeit (4) aus dem Aufnahmeraum (3) des Behältnisses (2) mittels der Zirkulationspumpe (6) und Zirkulationsleitungen (61) durch das Gefäßsystem (2, 51 -> 52/53) zirkulierbar ist.

2. Dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Behältnis (2) und/oder das Gefäßsystem (5) aus einem transparenten Material oder transparenten Kunststoff hergestellt sind.

3. Dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell (1) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Flüssigkeit (4) in dem Behältnis (2) eine transparente Flüssigkeit, ein Glycerin-Wassergemisch ist.

4. Dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell (1) nach Anspruch 1, 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Zugang für ein oder mehrere Instrumente, Katheter und/oder Anomalien, künstliche Verschlüsse, Thromben zum Einführen und/oder Bewegen in die zuführende Arterie (51) vorgesehen ist.

5. Dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gefäßsystem (5) mittels 3D-Druckverfahren, Stereolithografie [STL oder SLA-Printing] und/oder Laser-Stereolithografie hergestellt ist.

6. Dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Regelkreis mit Sensoren, Steuerung und Regelautomatik vorgesehen ist, wobei die Zirkulation der Flüssigkeit (4) gesteuert wird, wobei ergänzend eine Anzeige zur Visualisierung der Intensität und/oder Richtung der Strömung der Flüssigkeit oder ein rotating wheel vorgesehen ist.

7. Dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Gefäßsystem (5) eine Replikation eines tatsächlichen menschlichen Gefäßsystems ist und/oder als Simulation für endovasculäre Eingriffe im Hirn ausgebildet ist.

8. Dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Beleuchtungseinrichtung und/oder eine bildgebende Aufnahmeeinheit, visuelle Kamera (7) und/oder eine Röntgendiagnostik vorgesehen ist.

9. Dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell-Herstellungsverfahren für ein dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell (1) nach einem der vorangehenden Ansprüche aufweisend die Schritte: Herstellen eines computerlesbaren Druckdatensatzes für das Herstellen / Drucken /

1. SLA Drucken des Gefäßsystems (5);
2. Herstellen des Gefäßsystems (5);
3. Einbauen des Gefäßsystems in das Behältnis (2);
4. Herstellen des Zirkulationskreislaufes.

10. Dreidimensionales gefäßchirurgisches-Simulationsmodell-Herstellungsverfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Herstellen des Druckdatensatzes MRT-, CT- und/oder nicht invasive Bildgebungsverfahren von Patienten verwendet werden.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

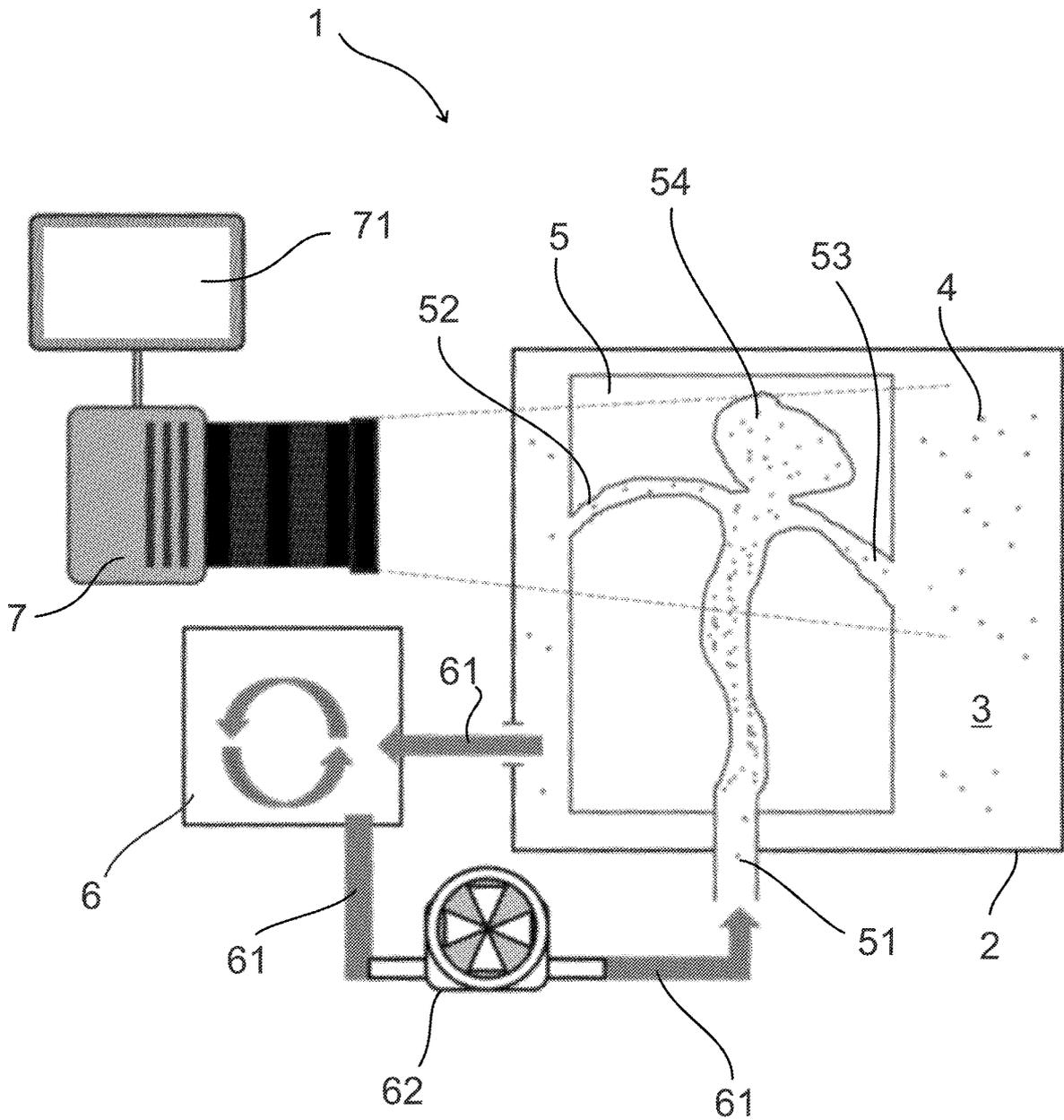


Abb. 1

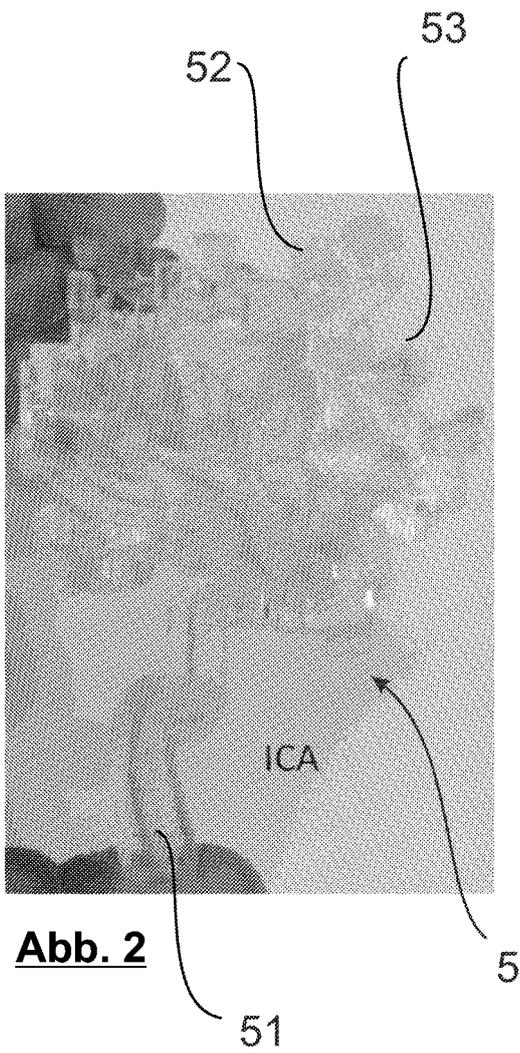


Abb. 3

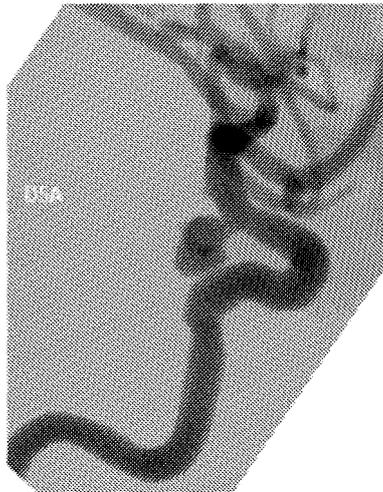


Abb. 4

