



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

A61B 6/032 (2018.08); A61B 6/487 (2018.08); G06T 7/0012 (2018.08); G06T 7/68 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2017104807, 13.07.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.07.2015

Дата регистрации:
22.07.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
18.07.2014 EP 14177627.8

(43) Дата публикации заявки: 20.08.2018 Бюл. № 23

(45) Опубликовано: 22.07.2019 Бюл. № 21

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 20.02.2017

(86) Заявка РСТ:
EP 2015/065950 (13.07.2015)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2016/008837 (21.01.2016)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр. 3, ООО
"Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

ГРАСС Михаэль (NL),
ПРОКСА Роланд (NL)

(73) Патентообладатель(и):

КОНИНКЛЕЙКЕ ФИЛИПС Н.В. (NL)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2011211742 A1, 01.09.2011. US
2010125197 A1, 20.05.2010. US 2012296199 A1,
22.11.2012. RU 2457787 C1, 10.08.2012.

(54) ОЦЕНКА СТЕНОЗА

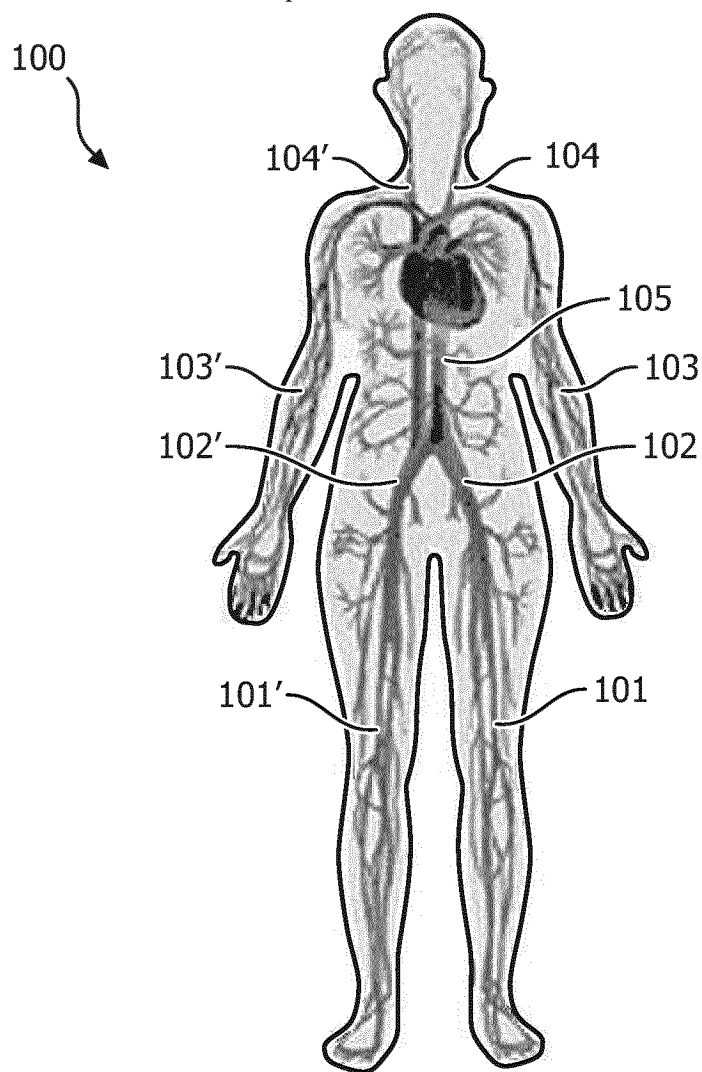
(57) Реферат:

Группа изобретений относится к оценке стеноза кровеносного сосуда в теле путем сравнения гемодинамических свойств стенозированного кровеносного сосуда и по существу симметричного другого кровеносного сосуда в том же теле. Способ оценки стеноза кровеносного сосуда в теле содержит этапы одновременной визуализации первого кровеносного сосуда и второго кровеносного сосуда, определения гемодинамических свойств участка второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного

сосуда, содержащего стеноз, определения гемодинамических свойств участка первого кровеносного сосуда посредством использования модели гемодинамических свойств, основанных на входных параметрах, включающих в себя трехмерную сегментацию данных изображения и данных о структуре первого кровеносного сосуда и граничных условиях на входах и выходах первого кровеносного сосуда, и в котором указанные входные параметры частично основываются на свойствах, полученных из данных изображения участка второго

кровеносного сосуда, генерирование данных стеноза на основании определенных гемодинамических свойств кровеносных сосудов, отображение определенных гемодинамических свойств по отношению к относительной длине сосуда. Способ осуществляется системой для оценки тяжести кровеносных сосудов в теле. Машиночитаемый носитель данных содержит

компьютерную программу со средствами программного кода для оценки стеноза кровеносного сосуда в теле, сконфигурированный для выполнения компьютером этапов способа. Использование группы изобретений позволяет повысить надежность входных данных, которые предоставляются врачу для определения степени тяжести стеноза. 3 н. и 11 з.п. ф-лы, 5 ил.



ФИГ. 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

A61B 6/032 (2018.08); *A61B 6/487* (2018.08); *G06T 7/0012* (2018.08); *G06T 7/68* (2018.08)(21)(22) Application: **2017104807, 13.07.2015**(24) Effective date for property rights:
13.07.2015Registration date:
22.07.2019

Priority:

(30) Convention priority:
18.07.2014 EP 14177627.8(43) Application published: **20.08.2018 Bull. № 23**(45) Date of publication: **22.07.2019 Bull. № 21**(85) Commencement of national phase: **20.02.2017**(86) PCT application:
EP 2015/065950 (13.07.2015)(87) PCT publication:
WO 2016/008837 (21.01.2016)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, str. 3, OOO
"Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**GRASS, Michael (NL),
PROKSA, Roland (NL)**

(73) Proprietor(s):

Koninklijke Philips N.V. (NL)(54) **STENOSIS ASSESSMENT**

(57) Abstract:

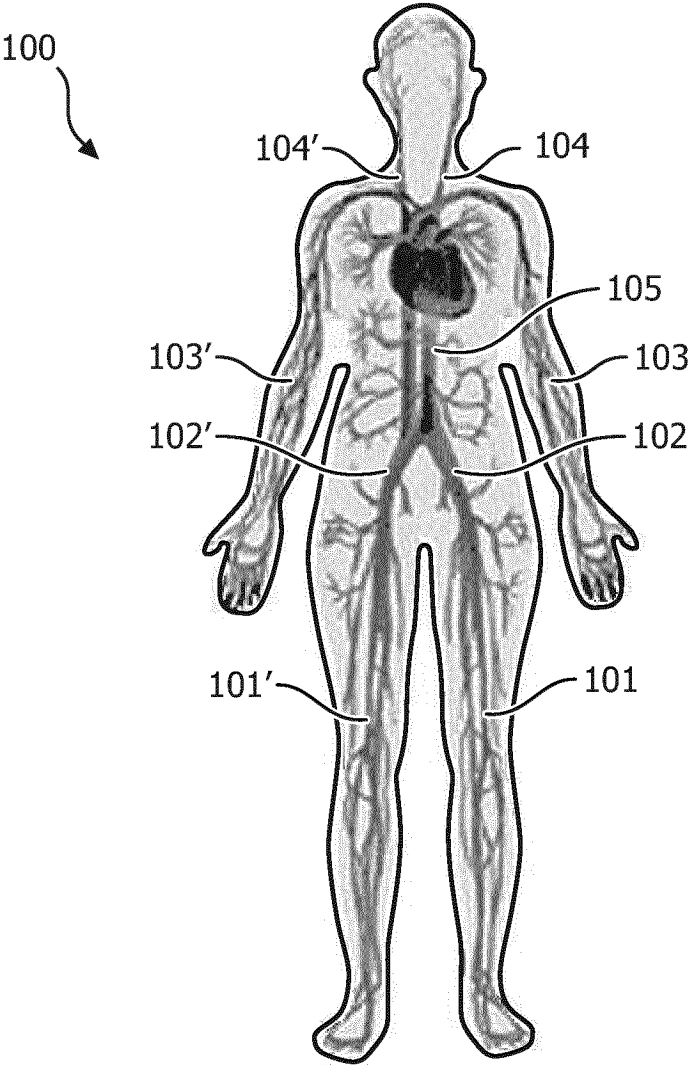
FIELD: medicine.

SUBSTANCE: group of inventions relates to assessment of blood vessel stenosis by comparing haemodynamic properties of a blood vessel stenosis and, in fact, a symmetric other blood vessel in the same body. Method of assessing blood vessel stenosis comprises stages of simultaneous visualization of a first blood vessel and a second blood vessel, determining the haemodynamic properties of the second blood vessel portion corresponding to the first blood vessel portion containing the stenosis, determining the haemodynamic properties of the first blood vessel portion by using the haemodynamic properties model based on the input parameters, including three-dimensional segmentation

of image data and data on the structure of the first blood vessel and boundary conditions on the inputs and outputs of the first blood vessel, and in which said input parameters are partially based on properties, derived from the image data of the second blood vessel, generating stenosis data based on the determined haemodynamic properties of the blood vessels, displaying the determined haemodynamic properties with respect to the relative length of the vessel. Method is implemented by a system for assessing the severity of blood vessels in the body. Computer-readable data medium comprises a computer program with software code means for evaluating a blood vessel stenosis, configured to perform computer steps of the method.

EFFECT: using the group of inventions makes it possible to increase the reliability of input data, which are provided to the doctor to determine the severity of

stenosis.
14 cl, 5 dwg



ФИГ. 2

RU 2 6 9 5 2 6 2 C 2

RU 2 6 9 5 2 6 2 C 2

Настоящее изобретение в целом относится к системе, способу и компьютерной программе для оценки стеноза кровеносного сосуда в теле.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Стеноз кровеносного сосуда, препятствующий кровотоку в теле пациента, может вызвать серьезные проблемы со здоровьем пациента. Может потребоваться лечение, катетеризационное вмешательство или даже хирургическая операция, если степень тяжести стеноза высока и/или если стеноз имеет особо опасную локализацию. Поэтому крайне важно, чтобы врач имел достаточные и надежные доступные данные о локализации и степени тяжести стеноза.

Степень стеноза является наиболее широко используемым параметром для установления диагноза. Гемодинамическая тяжесть стеноза может быть функционально оценена путем оценки давления внутри артерии (исследовано с помощью катетера) или измерений параметров потока, из которых можно определить фракционный резерв кровотока (ФРК), перепад давления или вызванное стенозом сопротивление. Эта инвазивная процедура требует точности и кропотливой работы, относящейся к процедуре, дорогостоящих катетеров, а также интервенционными рисками, поскольку через стеноз необходимо провести катетер. В качестве альтернативы, известны неинвазивные измерения с использованием и радиационной визуализации, например, с помощью рентгеновской радиационной визуализации, такой как, например, визуализация (смотри Фиг. 1a) с помощью компьютерной томографии (КТ), двумерная рентгеновская ангиография или (вращательная) рентгеновская визуализация с использованием С-образной рамы (смотри Фиг. 1b). С помощью этих методов генерируются изображения части тела, содержащей стенозированную артерию. Посредством вычислительных моделей, таких как моделирование методами вычислительной гидродинамики (ВГД), можно моделировать ФРК в различных местах стенозированной артерии, например, как описано в патенте США 8321150 В2. Другие функциональные параметры, такие как вызванное стенозом сопротивление или смоделированная функциональная оценка, также могут быть рассчитаны на основе ВГД моделей, таких как например, раскрытая в Michail I. Papafaklis и др., «Fast virtual functional assessment of intermediate coronary lesions using routine angiographic data and blood flow simulation in humans: comparison with pressure wire - fractional flow reserve», EuroIntervention 2014; Июль 2014 год.

ВГД моделирование использует трехмерную сегментацию, полученную из КТ или рентгеновских изображений, и конкретные граничные условия на входах (например, до или после аорты) и выходах (например, отводы в микроциркуляторное русло). Граничные условия, как правило, оцениваются из законов подобия, системных параметров, таких как кровяное давление, измеренное в конечностях, или объема мышцы/ткани, принимающей артериальный кровоток. Поскольку смоделированный ФРК чувствителен к этим граничным условиям, такой подход может быть ненадежным в некоторых случаях.

Также граничные условия, в известных ВГД моделях, как правило, оцениваются из предыдущих измерений давления/расхода или ВГД моделирований одного и того же, или даже другого, пациента. Однако они могут существенно отличаться от реальной ситуации у пациента, исследуемого в данный момент. Во-первых, условия могут изменяться у каждого пациента по времени. Например, локальные геометрические формы в сосудистой системе могут значительно отличаться между различными пациентами или возможно изменились с течением времени у того же самого пациента, возможно, даже (частично) из-за наличия стеноза. Кроме того, условия возможно были

определены в разные моменты сердечного цикла и/или, возможно, была разница в частоте, силе и т.д. самого сердечного цикла, который может меняться.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Варианты осуществления в соответствии с настоящим изобретением относятся к способу оценки стеноза кровеносного сосуда в теле по п. 1. Изобретение также относится к соответствующей системе и компьютерному программному продукту для системы для оценки тяжести стеноза кровеносного сосуда в теле.

Преимущество настоящего изобретения состоит в том, что используются данные изображения второго, одновременно отображаемого и по существу симметричного кровеносного сосуда, для того, чтобы улучшить входные данные, которые предоставляются врачу для определения степени тяжести стеноза. Эти входные данные являются более надежными, так как они используют дополнительные данные изображения, которые не только очень схожи с данными стенозированной кровеносного сосуда, но они также снимаются в то же время и у того же самого пациента, тем самым устраняя вариабельность, имеющуюся у разных пациентов, или различия, связанные с изменениями по времени.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения информация о симметрии между первым кровеносным сосудом и вторым кровеносным сосудом определяется посрезыно, и участок второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, выбирается на основании указанной определенной информации о симметрии. Это дает возможность улучшить сравнение, так как можно получить выбор участка второго кровеносного сосуда, который точнее соответствует стенозированной области в первом кровеносном сосуде.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения гемодинамические свойства, относящиеся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, по меньшей мере, частично определяются из гемодинамических свойств, относящихся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз.

Это особенно выгодно, так как введение гемодинамических свойств соответствующей «здоровой» артерии, по меньшей мере, частично, в определение гемодинамических свойств стенозированной кровеносного сосуда повышает точность определенных гемодинамических свойств стенозированной кровеносного сосуда, тем самым делая их более надежными. Кроме того, в случае, если оба сосуда имеют стеноз, можно оценить относительную тяжесть поражения между обоими стенозированными кровеносными сосудами.

В одном из вариантов осуществления настоящего изобретения одно или несколько гемодинамических свойств выбираются из группы, включающей в себя фракционный резерв кровотока, перепад кровяного давления и вызванное стенозом сопротивление. Они уже являются общеупотребительными и принятыми свойствами для оценки тяжести стеноза.

Еще один вариант осуществления настоящего изобретения относится к отображению определенных гемодинамических свойств, относящихся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз. Это предоставляет врачу определенные гемодинамические свойства для оценки стеноза. Предпочтительно гемодинамические свойства отображаются по отношению к относительной длине сосуда. Это делает возможным более точное определение характеристик стеноза.

Кроме того, могут быть отображены определенные гемодинамические свойства, относящиеся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого

кровеносного сосуда, содержащего стеноз. Это предоставляет врачу дополнительные гемодинамические свойства очень похожего кровеносного сосуда, с которыми врач может сравнить эти свойства стенозированной артерии, что поможет ему в дальнейшем при оценке степени тяжести стеноза. Предпочтительно, чтобы определенные

5 гемодинамические свойства, относящиеся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, отображались зеркально. Это облегчает сравнение еще больше, так как оба кровеносных сосуда показываются в одинаковой ориентации. Это также даст возможность совмещать отображения обоих кровеносных сосудов, обеспечивая еще более сближенное визуальное

10 сравнение между этими двумя кровеносными сосудами.

В дополнительном варианте осуществления настоящего изобретения стенозированная и соответствующая артерии изображаются с помощью неинвазивного средства визуализации, предпочтительно содержащего устройство формирования рентгеновского изображения, такое как устройство формирования рентгеновского изображения с

15 помощью компьютерной томографии, устройство формирования рентгеновского изображения с помощью двумерной рентгеновской ангиографии или устройства формирования рентгеновского изображения с С-образной рамой. Использование неинвазивных средств визуализации устраняет необходимость полагаться на внутриартериальные, произведенные с помощью катетера измерения, недостатки

20 которых были объяснены ранее. Рентгеновская визуализация доступна почти в каждой больнице и большинство методов пригодны для визуализации всего тела. В частности, компьютерная томография и рентгеновская визуализация с использованием С-образной рамы подходят для генерации 3D-изображений.

В дополнительном варианте осуществления настоящего изобретения

25 гемодинамическая модель, предпочтительно основанная на моделировании кровотока методами вычислительной гидродинамики, используется для определения гемодинамических свойств. Эти модели хорошо известны и пригодны для целей данного изобретения. Эти модели основаны на входных данных и в одном из вариантов осуществления настоящего изобретения эти входные данные предоставляются по

30 данным, доступным для стенозированного кровеносного сосуда, а также, по меньшей мере, частично, по данным изображения другого, например, нестенозированного, по существу симметричного кровеносного сосуда. Это улучшает входные параметры и должно привести к лучшему моделированию стенозированной артерии. Это дает врачу более надежные входные данные для оценки тяжести стеноза. Другой кровеносный

35 сосуд может также иметь стеноз. С помощью настоящего изобретения врач получает доступ к относительной тяжести поражения между обоими стенозированными кровеносными сосудами.

Настоящее изобретение особенно подходит для оценки стеноза в кровеносных сосудах ног, кровеносных сосудах рук, сонных артериях и подвздошных артериях, а также,

40 конечно, подходит для других кровеносных сосудов, для которых фактически доступен симметричный аналог.

Кроме того, дополнительные аспекты и варианты осуществления настоящего изобретения будут понятны специалистам в данной области после прочтения и восприняты из следующего подробного описания. Многочисленные дополнительные

45 преимущества и выгоды станут очевидными для специалистов в данной области после прочтения приведенного ниже подробного описания предпочтительных вариантов осуществления.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Настоящее изобретение иллюстрируется чертежами, на которых на Фиг. 1 показано схематическое представление устройства формирования изображения (Фиг. 1a) компьютерной томографии и устройства формирования рентгеновского изображения с С-образной рамой (Фиг. 1b);

на Фиг. 2 показано схематическое изображение расположений симметричных кровеносных сосудов, которые могут быть оценены в соответствии с настоящим изобретением;

на Фиг. 3 показано схематическое представление (Фиг. 3a) и изображение, сгенерированное с помощью неинвазивной визуализации (Фиг. 3b) нижней части человеческого тела;

на Фиг. 4 показаны два варианта осуществления (Фиг. 4a и 4b) из вариантов осуществления отображенных гемодинамических свойств; и

на Фиг. 5 показан схематический общий вид способа оценки стеноза кровеносного сосуда в теле в соответствии с настоящим изобретением;

Изобретение может принимать форму в виде различных компонентов и вариантов сочетания компонентов, а также в виде различных операций процесса и компоновок операций процесса. Чертежи приведены только с целью иллюстрации предпочтительных вариантов осуществления и не должны толковаться как ограничивающие данное изобретение. Для лучшей визуализации некоторые признаки могут быть опущены или размеры могут быть не в масштабе.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

В контексте настоящего изобретения термин стеноз может представлять любое сужение кровеносного сосуда, в том числе повреждение, сдавление сосуда, (более или менее) стабильный тромб и т.п. Термин кровеносный сосуд охватывает все части сосудистой системы человеческого тела, которые переносят кровь, в том числе артерии, вены и капилляры; хотя на практике настоящее изобретение, скорее всего, будет наиболее подходящим и надежным для более крупных артерий и вен.

Изобретение может быть особенно полезным по отношению к кровеносным сосудам ног (таким как бедренные артерии) 101, 101', подвздошным артериям 102, 102', кровеносным сосудам рук (таким как плечевые артерии) 103, 103' и сонным артериям 104, 104', местоположения которых в теле 100 показаны на Фиг. 2. Очевидно, что это не ограничивающий перечень, изобретение также подходит для других кровеносных сосудов, среди которых существуют по существу симметричные пары (например, почечные артерии, яремные вены и т.д.). Но настоящее изобретение будет также потенциально пригодно для других, более мелких кровеносных сосудов, при условии наличия по существу симметричного второго кровеносного сосуда, который можно использовать. Изобретение в основном иллюстрируется с использованием артерий ног в качестве неограничивающего примера, но равным образом для специалиста не вызовет затруднений адаптация граничных условий и моделей настоящего изобретения для других в кровеносных сосудах тела.

Изобретение дополнительно поясняется с использованием радиационной визуализации, в первую очередь рентгеновской визуализации, и, в частности, компьютерной томографии, двумерной рентгеновской ангиографии или (вращательной) визуализации с использованием С-образной рамы, где используется источник излучения 11, 11', испускающий излучение через область исследования в направлении детектора 12, 12' излучения. Объект, подлежащий визуализации, такой как тело, содержащее стенозированный кровеносный сосуд, перемещается через область обследования. Испускаемое излучение ослабляется в различных слоях различными частями тела

внутри тела и после обнаружения оно обрабатывается и реконструируется в срез изображения облученного участка тела. Это повторяется до тех пор, пока тело или, по меньшей мере, часть тела, представляющая интерес, полностью не пройдет через область исследования. В результате серии срезов изображения могут быть объединены с тем, чтобы построить трехмерное изображение тела и его внутренних жестких и мягких частей тела. Изобретение, конечно, не ограничивается рентгеновской визуализацией, также можно использовать другие известные способы радиационной визуализации, такие как магнитно-резонансная визуализация, ультразвуковая визуализация и другие, известные в данной области, или их сочетания. Более того, изобретение также пригодно для использования со способами нерадиационной визуализации, таким как внутриартериальная визуализация, как оптическая когерентная томография (ОКТ) или внутрисосудистое ультразвуковое исследование (ВСУЗИ). Хотя преимущества неинвазивной визуализации могут быть потеряны, другие преимущества изобретения будут также действительны для неинвазивной визуализации.

На Фигуре 3а изображено тело 100 пациента, которое перемещается через область 13 исследования между источником излучения 11, 11' и детектором 12, 12' излучения устройства формирования рентгеновского изображения. Представляющей интерес областью является левая нога 110 тела 100 пациента, так как главная артерия 101 левой ноги содержит стеноз 111, чье точное местоположение и степень тяжести и должны быть оценены. Область 13 исследования достаточно большая, чтобы вместить как левую ногу 110, так и правую ногу 110', которые, следовательно, обе отображаются одновременно. Правая нога 110' содержит главную артерию 101', которая, по существу, симметрична главной артерии 101 правой ноги 110. Термин по существу симметрична следует понимать в свете данного изобретения, как симметрична, если смотреть на это широко, без учета любых очевидных различий, обусловленных человеческим телом, которое никогда не бывает полностью симметричным (например, различия в длине ног, толщине, распределении мышц, углам через ногу и т.д.). Очевидно, что на микроскопическом уровне, какие-либо боковые ответвления также не могут возникать в одних и тех же местоположениях вдоль главной артерии. По сути, главные ответвления обеих артерий должны более или менее перекрываться при наложении друг на друга. Если никаких серьезных отклонений между двумя артериями нет, особенно в области, представляющей интерес, то симметрия является достаточной для цели данного изобретения.

В случае, если пациент хорошо расположен на кушетке и имеет довольно симметричные ноги, симметрия информация о ноге может быть дополнительно уточнена путем сравнения информации посрезно. Она также может включать в себя опознавательную точку, основанную на жесткой фиксации, причем указанные опознавательные точки могут быть костными опознавательными точками, например, головкой бедренной кости или коленом. В случае, если позиционирование кушетки пациента не является оптимальным, то для коррекции этого можно использовать угол тазовой кости по отношению к осевому срезу. В дополнение к жесткой фиксации для коррекции остальных нарушений симметрии ткани и сосудов можно использовать эластичную фиксацию.

После того, как нижняя часть тела пациента прошла через область исследования строится изображение, содержащее ноги 110, 110'. Это может быть трехмерным изображением и могут быть показаны все внутренние части тела. Альтернативно может быть показано двухмерное изображение и/или изображение, высвечивающее только определенные части тела, такие как артериальная система. На Фигуре 3b показано

такое реконструированное изображение. Это двухмерное изображение, высвечивающее артериальную систему, которая выбрана для ясности, чтобы проиллюстрировать настоящее изобретение.

Артериальная система на фигуре 3b показывает брюшную аорту 105, которая разделяется на подвздошные артерии 102, 102', далее спускаясь в главные артерии 101, 101' ног. Положение стеноза 111 в главной артерии 101 левой ноги может быть точно определено из реконструированного изображения.

В области медицины функциональная оценка стеноза обычно проводится с использованием внутриартериальных, произведенных с помощью катетера измерений, как измерения давления с помощью проводника с датчиком давления или измерения параметров потока. Тяжесть стеноза определяется путем сравнения значений, измеренных до (проксимальнее) и после (дистальнее) стеноза. Тяжесть стеноза затем вычисляется и представляется количественно гемодинамическими свойствами, такими как ФРК, перепад давления, вызванное стенозом сопротивление и другими. В частности, относительный ФРК является общеупотребительной мерой тяжести стеноза. Относительный ФРК определяется как давление дистальнее стеноза относительно давления проксимальнее стеноза. Например, ФРК 0.85 означает, что стеноз вызывает падение артериального давления в сосуде на 15%. Таким образом, относительный ФРК является очень хорошим свойством для отражения тяжести стеноза. Врач может принять решение о лечении и выбирать конкретное лечение на основании значения ФРК (например, стентирование артерии при ФРК ниже 0,80).

Однако, внутриартериальные измерения влекут за собой сложные и кропотливые процедуры, для них используют дорогостоящее оборудование, и они могут быть неудобны для пациента. Затем для моделирования измерений ФРК из изображений, которые были реконструированы из неинвазивной визуализации, были разработаны эти модели. Моделирование ФРК использует модели, которые моделируют кровоток в артерии и вокруг стеноза. Например, с этой целью применяются модели вычислительной гидродинамики (ВГД). Существуют различные подходы ВГД, которые можно использовать, в качестве неограничивающего примера описывается модель с сосредоточенными параметрами.

Для моделирования ФРК необходима трехмерная сегментация ВГД, которая раскрывает исходную геометрию сосуда, состоящую из поперечных сечений (CSA) вдоль трехмерной центральной линии сосуда, а также граничные условия конкретного пациента, которые управляют моделированием и обуславливают его. Граничные условия, как правило, оцениваются из законов подобия, системных параметров, таких как кровяное давление, измеренное в конечностях, или объема мышц в конечностях, принимающих артериальный кровоток. Можно оценить задаваемые для всей области граничные условия для всей сосудистой системы или они могут быть ограничены сегментом сосудистой системы, например, только артерией ноги или еще меньшим сегментом упомянутой артерии вокруг стеноза. Примерная простая модель для расчета потока в сосудистой системе описывает локальный перепад давления стеноза при заданном потоке с помощью полиномиальной функции преобразования, коэффициенты которой зависят, помимо прочего, от CSA:

$$\Delta p_i = h_i(f) = \alpha_i f^2 + \beta_i f(1),$$

где в котором Δp_i локальный перепад давления, $h_i(f)$ функция преобразования локального эффекта, α_i и β_i локальные геометрические параметры. Различные эффекты, приводящие к перепадам давления, такие как трение, эксцентриситет сосуда, овальность

сосуда или кривизна сосуда, охватываются различными функциями преобразования, которые линейно объединяются с тем, чтобы получить общую функцию перепада давления:

$$\Delta p = \sum_i w_i h_i(f) \quad (2),$$

где w_i оцененный весовой коэффициент. Затем рассчитывается значение ФРК:

$$FFR = \frac{p_0 - \Delta p(f)}{p_0} = 1 - \frac{\Delta p(f)}{p_0} \quad (3),$$

где p_0 артериальное давление в проксимальном местоположении (до) стеноза, а Δp (f) функция перепада давления между проксимальным местоположением и одним или несколькими местоположениями дистальнее (после) стеноза. Окончательное значение ФРК зависит как от проксимального кровяного давления p_0 , так и от величины потока через область стеноза.

Как упоминалось ранее, входные параметры, такие как весовой коэффициент w_i , как правило, оцениваются из предыдущего давления и/или измерений потока или ВГД моделирований одного и того же, или даже другого пациента, который может иметь значительные отклонения от текущей ситуации. В настоящем примере, весовой коэффициент w_i для стенозированной артерии 110, по меньшей мере, частично определяется из данных изображения, полученных в то же время и в том же самом теле, а именно из, по существу, симметричной артерии 101', которая находится в другой ноге 110'. Указанная другая нога 110' изображалась одновременно с ногой 110, содержащей стенозированную артерию 101, и поэтому получается с точно такими же сосудистыми и сердечными условиями, но без стеноза, тем самым делая их соответствующими входными данными для определения входных параметров для ВГД модели и последующего вычисления ФРК для стенозированной артерии 101 и/или их можно использовать в качестве основы для соответствующего сравнения стенозированной и нестенозированной артерий, повышая надежность определения тяжести стеноза врачом. Другие входные параметры также могут быть получены из другой ноги 110' и использоваться при моделировании стенозированной артерии 101, например, структурные свойства артерии или средняя масса ткани обеих ног могут использоваться для оценки оттока или среднего размера выходящих сосудов стенозированной артерии 101.

Значения относительного ФРК между ногами могут быть вычислены по отношению к местоположению среза, трехмерной длине кровеносного сосуда, оцененному времени поступления болюса контрастного вещества или другим величинам, которые извлекаются из набора данных изображения или моделирования потока. Коротко говоря, настоящее изобретение использует уже имеющиеся данные из очень похожего сосуда для улучшения расчета ФРК и/или для того, чтобы сообщить врачу о различиях между стенозированным и нестенозированным кровеносным сосудом. Хотя настоящее изобретение было объяснено с использованием упрощенной модели, специалист сразу поймет, как адаптировать эту упрощенную модель к различным и более сложным моделям и к другим кровеносным сосудам, которые имеют по существу симметричный аналог в пределах того же тела.

Уточненная информация может быть представлена к врачу по-разному. Например, как показано на Фиг. 4а, измеренные значения могут быть представлены по отношению к их местоположению в артериях. В качестве примера, измеренные значения (ML-1, ML-2) вокруг стеноза 111 в главной артерии 101 левой ноги показаны вместе с измеренными значениями (MR-1, MR-2) в аналогичных местоположениях в главной

правой артерии ноги 101'. Измеренные значения могут быть показаны наложенными или отдельными от изображения. Альтернативный способ представления информации показан на Фиг. 4b, где смоделированные измерения представлены в виде линий M-R, M-L, M-REL определенного цвета, где разные цвета обозначают разные значения. Эти линии определенного цвета могут отображаться для каждой ноги, как, например, ФРК для левой ноги M-L и ФРК для правой ноги M-R, представляющие его вдоль контуров сосудов, а также относительный ФРК, например, как цветокодированная боковая панель M-REL. Многочисленные вариации могут легко конструироваться специалистом в данной области или комбинации каждой из них, по желанию выбираемые врачом, могут быть рассмотрены.

На фигуре 5 показано схематическое изображение способа оценки стеноза в соответствии с настоящим изобретением. На этапе 1, тело, содержащее кровеносный сосуд со стенозом, а также, по существу, симметричный второй кровеносный сосуд отображается, например, посредством радиационной визуализации. Гемодинамические свойства нестенозированного кровеносного сосуда и стенозированной кровеносного сосуда определяются на этапах 2 и 3 соответственно. Гемодинамические свойства каждого в отдельности могут быть определены путем прямого измерения или путем моделирования. Определение гемодинамических свойств стенозированного кровеносного сосуда может использовать свойства, определенные для нестенозированного кровеносного сосуда. На этапе 4, отображаются гемодинамические свойства стенозированного кровеносного сосуда. Предпочтительно также отображать гемодинамические свойства нестенозированного кровеносного сосуда.

Кроме того, гемодинамические свойства могут отображаться по отношению к относительной длине сосуда, например, между двумя костными опознавательными точками или двумя сосудистыми опознавательными точками, такими как типичные точки ветвления сосудов, в случае, когда сосуды в обеих ногах не идут по совершенно одинаковому пути. Кроме того, данные могут быть зеркальными, для того, чтобы визуально их накладывать.

Этапы способа согласно настоящему изобретению могут быть реализованы в виде инструкции для компьютерного программного продукта.

Хотя изобретение было проиллюстрировано и подробно описано на чертежах и предшествующем описании, такие иллюстрации и описание должны рассматриваться как иллюстративные или приведенные в качестве примера, а не ограничивающие; изобретение не ограничивается описанными вариантами осуществления.

Изучив рисунки, раскрытие, и приложенную формулу изобретения, специалисты в данной области смогут понять и осуществить при практической реализации заявленного изобретения другие вариации показанных вариантов осуществления. В формуле изобретения слово «содержит» не исключает других элементов или этапов, и формы единственного числа не исключают множественного числа. Один процессор или другой блок может выполнить функции нескольких пунктов перечисленных в формуле изобретения. Сам факт того, что определенные меры перечислены во взаимно отличных зависимых пунктах формулы изобретения, не указывает на то, что сочетание этих мер нельзя использовать с пользой. Компьютерная программа может сохраняться/распространяться на подходящих носителях, таких как средства оптического хранения информации или твердотельных носителях информации, поставляемых вместе или как часть других аппаратных средств, но также могут распространяться в других формах, таких как через Интернет или другие проводные или беспроводные телекоммуникационные системы. Любые ссылочные позиции в формуле изобретения

не должны рассматриваться в качестве ограничения объема.

(57) Формула изобретения

1. Способ оценки стеноза кровеносного сосуда в теле, причем указанное тело

содержит

- первый кровеносный сосуд, содержащий стеноз; и
- второй кровеносный сосуд, который по существу, симметричен первому кровеносному сосуду,

причем указанный способ включает в себя этапы:

- одновременной визуализации первого кровеносного сосуда и второго кровеносного сосуда для получения данных изображения первого кровеносного сосуда и данных изображения второго кровеносного сосуда;

- определения гемодинамических свойств, относящихся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, из данных изображения второго кровеносного сосуда,

- определения гемодинамических свойств, относящихся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, из данных изображения первого кровеносного сосуда посредством использования модели гемодинамических свойств, основанных на входных параметрах, включающих в себя трехмерную сегментацию данных изображения и данных о структуре первого кровеносного сосуда, полученных из нее, и граничных условиях на входах и выходах первого кровеносного сосуда, и в котором указанные входные параметры по меньшей мере частично основываются на свойствах, полученных из данных изображения, относящихся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз; и

- генерирование данных стеноза на основании определенных гемодинамических свойств, относящихся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, и определенных гемодинамических свойств, относящихся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз;

- отображение определенных гемодинамических свойств, относящихся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, предпочтительно отображение определенных гемодинамических свойств по отношению к относительной длине сосуда.

2. Способ по п. 1, в котором гемодинамические свойства, относящиеся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, по меньшей мере частично определяются из гемодинамических свойств, относящихся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз.

3. Способ по п. 1 или 2, в котором информация о симметрии между первым кровеносным сосудом и вторым кровеносным сосудом определяется посрезна, и участок второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, выбирается на основании указанной определенной информации о симметрии.

4. Способ по любому из пп. 1-3, в котором модель гемодинамических свойств основана на моделировании кровотока по меньшей мере в первом кровеносном сосуде методами вычислительной гидродинамики.

5. Способ по любому из пп. 1-4, в котором одно или несколько гемодинамических свойств выбираются из группы, содержащей фракционный резерв кровотока, перепад кровяного давления и вызванное стенозом сопротивление.

6. Способ по любому из пп. 1-5, в котором визуализация является неинвазивной визуализацией, предпочтительно рентгеновской визуализацией, такой как рентгеновская визуализация компьютерной томографии, двумерная рентгеновская ангиография или рентгеновская визуализация с использованием С-образной рамы.

5 7. Способ по любому из пп. 1-6, в котором части первого и второго кровеносных сосудов представляют собой набор кровеносных сосудов ног, набор кровеносных сосудов рук, набор сонных артерий или набор подвздошных артерий.

8. Способ по любому из пп. 1-7, в котором, по меньшей мере, отображаются определенные гемодинамические свойства, относящиеся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, предпочтительно по отношению к относительной длине сосуда.

9. Способ по п. 8, в котором отображаются определенные гемодинамические свойства, относящиеся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, предпочтительно зеркально отображаются
15 определенные гемодинамические свойства, относящиеся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз.

10. Способ по п. 1 дополнительно содержащий

- отображение определенных гемодинамических свойств, относящихся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, предпочтительно зеркальное отображение определенных
20 гемодинамических свойств, относящихся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз.

11. Система для оценки тяжести стеноза кровеносного сосуда в теле, причем указанное тело содержит

25 - первый кровеносный сосуд, содержащий стеноз; и

- второй кровеносный сосуд, который по существу, симметричен первому кровеносному сосуду,

указанная система содержит

- средство визуализации, выполненное с возможностью одновременной генерации
30 данных изображения первого кровеносного сосуда и второго кровеносного сосуда и отображения определенных гемодинамических свойств, относящихся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, предпочтительно отображение определенных гемодинамических свойств по отношению к относительной длине сосуда.

- средства определения гемодинамических свойств, выполненные с возможностью:

35 - определения гемодинамических свойств, относящихся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, из данных изображения первого кровеносного сосуда; и

- определения гемодинамических свойств, относящихся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, из данных изображения второго кровеносного сосуда; и

40 - определения гемодинамических свойств, относящихся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, из данных изображения первого кровеносного сосуда посредством использования модели гемодинамических свойств, основанных на входных параметрах, включающих в себя трехмерную сегментацию
45 данных изображения и данных о структуре первого кровеносного сосуда, полученных из нее, и граничных условиях на входах и выходах первого кровеносного сосуда, и в котором указанные входные параметры по меньшей мере частично основываются на свойствах, полученных из данных изображения, относящихся к участку второго

кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз,

причем средства определения гемодинамических свойств выполнены с возможностью генерации вводных данных для оценки гемодинамических свойств, относящихся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, на основании определенных гемодинамических свойств, относящихся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз.

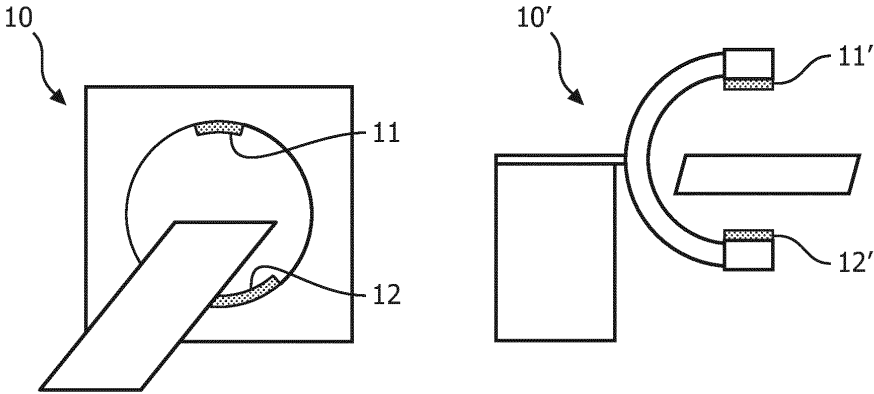
12. Система по п. 11, в которой средства определения гемодинамических свойств выполнены с возможностью определения гемодинамических свойств, относящихся к участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз, по меньшей мере частично из определенных гемодинамических свойств, относящихся к участку второго кровеносного сосуда, соответствующего участку первого кровеносного сосуда, содержащего стеноз.

13. Система по п. 11 или 12, в которой средства визуализации являются неинвазивными средствами визуализации, предпочтительно неинвазивные средства визуализации содержат устройство формирования рентгеновского изображения, такое как устройство формирования рентгеновского изображения с помощью компьютерной томографии, устройство формирования рентгеновского изображения с помощью двумерной рентгеновской ангиографии или устройство формирования рентгеновского изображения с С-образной рамой.

14. Машиночитаемый носитель, содержащий компьютерную программу со средствами программного кода для оценки стеноза кровеносного сосуда в теле, сконфигурированный для выполнения компьютером этапов способа по любому из пп. 1-10 при выполнении указанной компьютерной программы на компьютере, причем указанное тело содержит первый кровеносный сосуд, содержащий стеноз, и второй кровеносный сосуд, который, по существу, относительно симметричен первому кровеносному сосуду.

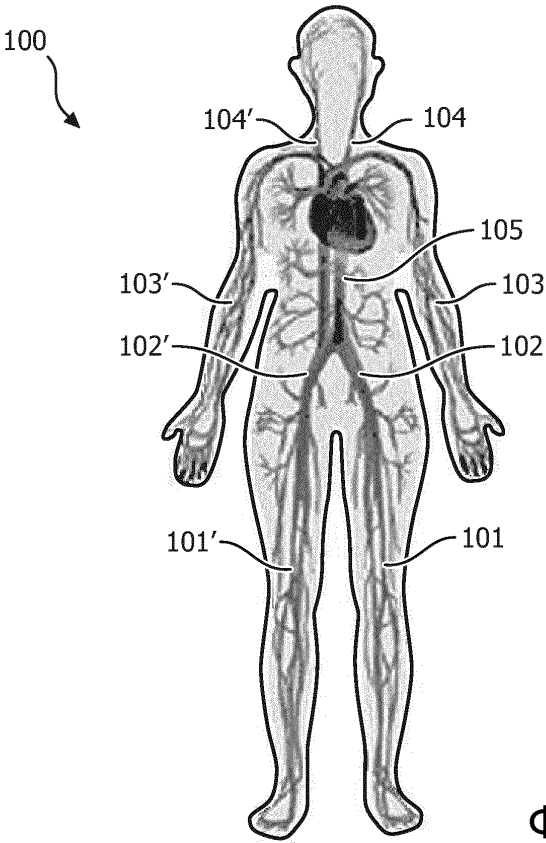
1

1/4



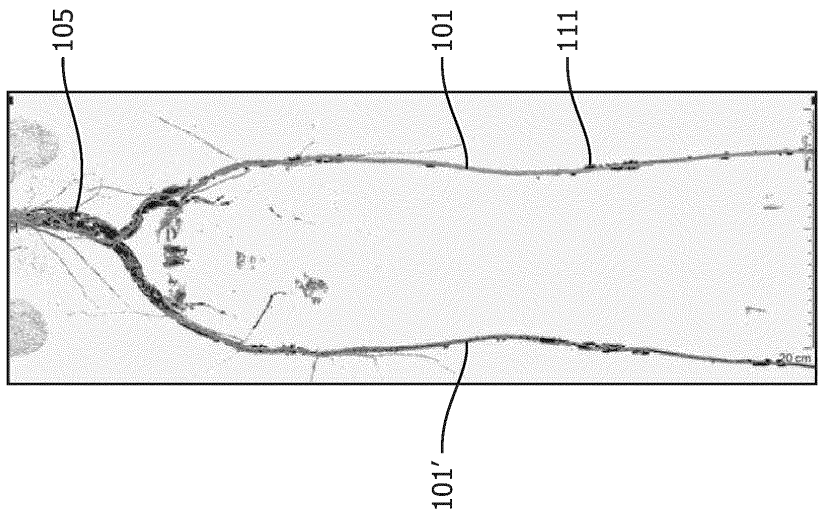
ФИГ. 1А

ФИГ. 1В

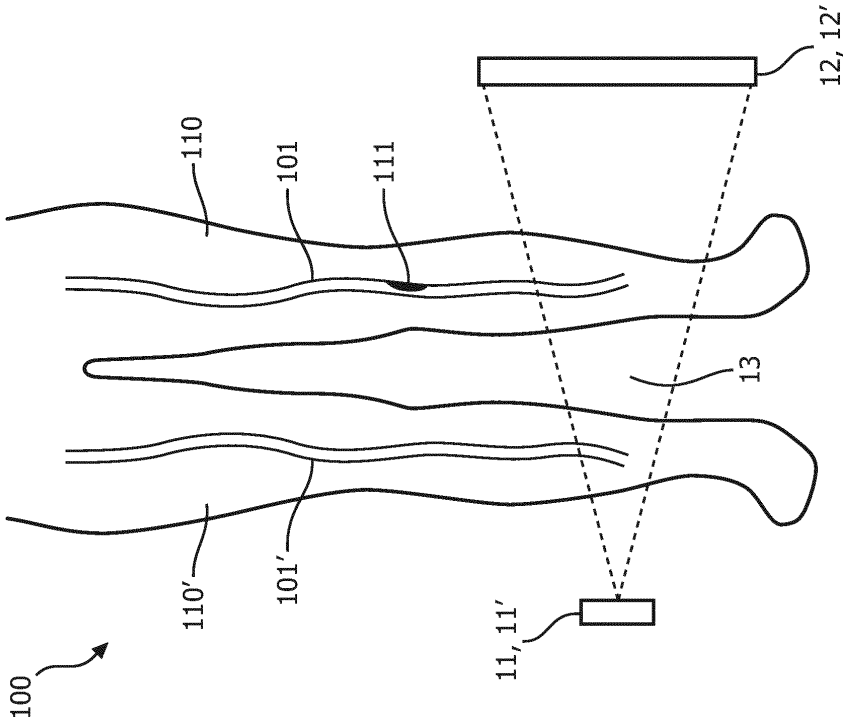


ФИГ. 2

2

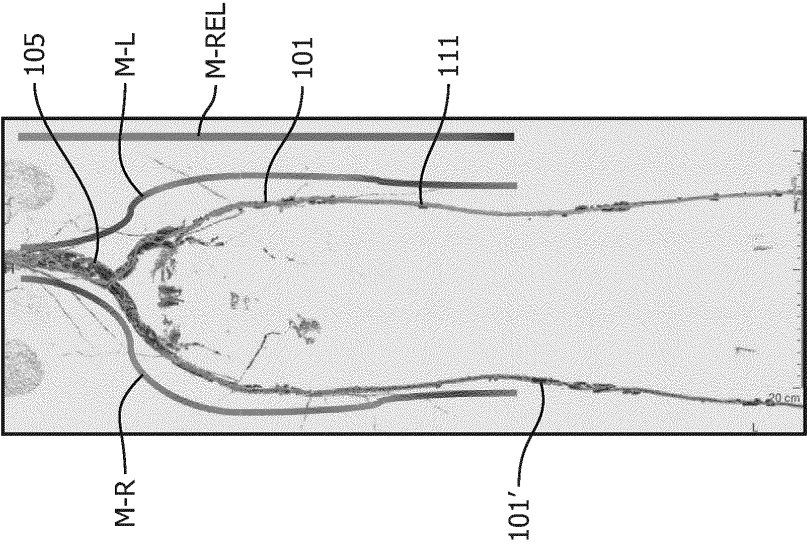


ФИГ. 3В

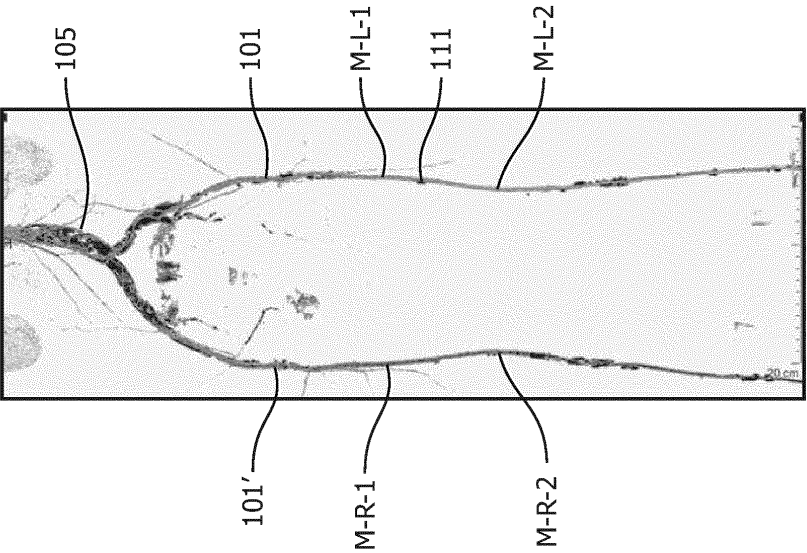


ФИГ. 3А

3/4

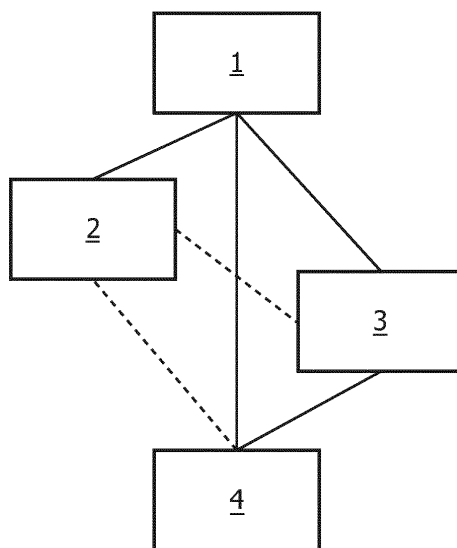


ФИГ. 4В



ФИГ. 4А

4/4



ФИГ. 5