



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 110866914 A

(43)申请公布日 2020.03.06

(21)申请号 201911149797.0

A61B 5/00(2006.01)

(22)申请日 2019.11.21

A61B 5/02(2006.01)

(71)申请人 北京冠生云医疗技术有限公司

地址 102200 北京市昌平区科技园区超前路37号7幢16层1601

(72)发明人 刘修健 饶思敏 王宇飞 张晔
巴特 王晓猛 暴庆攀 张毅成

(74)专利代理机构 北京志霖恒远知识产权代理
事务所(普通合伙) 11435

代理人 郭栋梁

(51)Int.Cl.

G06T 7/00(2017.01)

G06T 7/10(2017.01)

G06T 7/68(2017.01)

G06T 7/13(2017.01)

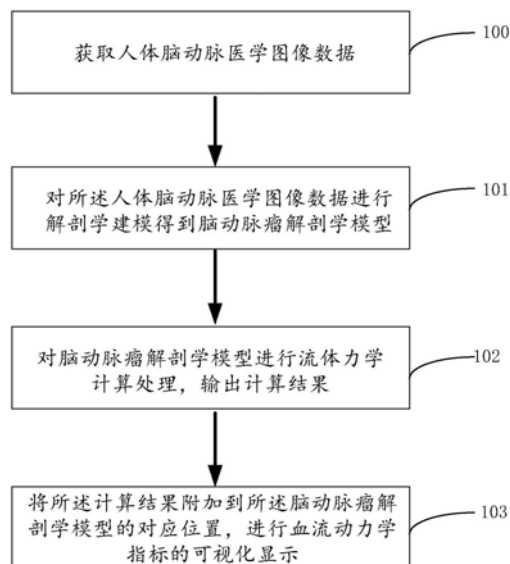
权利要求书2页 说明书12页 附图5页

(54)发明名称

脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法、系统、设备及介质

(57)摘要

本申请公开了一种脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法、系统、设备及介质。该评估方法包括以下步骤:获取人体脑动脉图像数据;对所述人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模得到脑动脉瘤解剖学模型;对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理,输出计算结果;将所述计算结果附加到所述脑动脉瘤解剖学模型的对应位置,进行血流动力学指标的可视化显示。本申请的方法、系统、设备及介质能够根据人体脑动脉医学图像数据获得脑动脉瘤的血流动力学指标,从而可以基于所获取的血流动力学指标分析血流动力学特征与动脉瘤发生、发展和破裂的关系,为脑动脉瘤的风险因子评估和介入治疗提供理论依据。



1. 一种脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法,其特征在于,包括如下步骤:
获取人体脑动脉医学图像数据;
对所述人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模得到脑动脉瘤解剖学模型;
对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理,输出计算结果;
将所述计算结果附加到所述脑动脉瘤解剖学模型的对应位置,进行血流动力学指标的可视化显示。
2. 根据权利要求1所述的脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法,其特征在于,对所述人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模得到脑动脉瘤解剖学模型,包括以下步骤:
根据人体脑动脉医学图像数据获取训练识别的脑动脉瘤标志点的起点和终点;
基于所述起点和终点生成待分割脑动脉瘤血管路径;
根据所述血管路径对脑动脉瘤血管进行初步分割,获得初步分割的脑动脉瘤血管模型;
从初步分割的脑动脉瘤血管模型中提取中心线;
根据所述中心线提取待评估脑动脉瘤血管横截面轮廓线,生成脑动脉瘤解剖学模型。
3. 根据权利要求2所述的脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法,其特征在于,所述根据人体脑动脉医学图像数据获取训练识别的脑动脉瘤标志点的起点和终点,包括以下步骤:
接收人体脑动脉医学图像数据,使用机器学习系统基于训练数据对图像上的各血管点进行标注生成正样本集和负样本集;
根据所述正样本集和负样本集,经过特征提取,使用机器学习系统基于训练数据计算各血管点属于正样本集的概率,获取脑动脉瘤标志点的起点和终点。
4. 根据权利要求2所述的脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法,其特征在于,根据所述中心线提取待评估脑动脉瘤血管横截面轮廓线,生成脑动脉瘤解剖学模型,包括以下步骤:
基于所述中心线,提取获得中心线各个点处的若干二维横截面图像,使用机器学习系统基于训练数据生成的边界分类器对各个二维横截面图像上的血管内体素进行标记生成正样本集和负样本集;并基于边界体素与血管中心点的连线计算边界体素的局部方向;
基于所述局部方向,经过特征提取,使用机器学习系统基于训练数据生成的边界分类器计算各体素属于正样本集的概率,获得概率图;
基于所述概率图,获得各个二维横截面图像上的脑动脉瘤血管横截面轮廓线;
将获得的各个二维横截面图像上的脑动脉瘤血管横截面轮廓线进行组合,生成脑动脉瘤解剖学模型。
5. 根据权利要求1所述的脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法,其特征在于,对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理,输出计算结果,包括以下步骤:
对所述脑动脉瘤解剖学模型进行加载计算设置以及边界条件参数设置;
将所述加载了边界条件的解剖学模型进行网格划分;
解算血液在脑动脉瘤内的三维流动控制方程,输出计算结果,所述计算结果包括压力、血流储备分数、血流速度、剪切应力、震荡剪切指数中的一种或多种。
6. 根据权利要求5所述的脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法,其特征在于,所述网格划分包括以下步骤:
根据脑动脉瘤血管中心线,获得脑动脉瘤血管壁各个点到中心线的距离 d ;

根据所述距离 d ,采用三棱柱网格对脑动脉瘤血管的边界层进行网格划分,所述边界层厚度为距离 d 的四分之一;

根据所述距离 d ,采用四面体网格对对脑动脉瘤血管的边界层内的区域进行网格划分,所述网格大小为距离 d 的十分之一;

将所述边界层网格与边界层内网格进行装配。

7.一种脑动脉瘤血流动力学指标的评估系统,其特征在于,包括:

图像数据采集系统,用于获取人体脑动脉医学图像数据;

脑动脉瘤解剖学建模系统,对所述人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模得到脑动脉瘤解剖学模型;

CFD模拟系统,用于对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理,输出计算结果;

后处理显示系统,将所述计算结果附加到所述脑动脉瘤解剖学模型的对应位置,进行血流动力学指标的可视化显示。

8.根据权利要求7所述的脑动脉瘤血流动力学指标的评估系统,其特征在于,所述脑动脉瘤解剖学建模系统包括:

端点获取单元,用于根据人体脑动脉医学图像数据获取脑动脉瘤标志点的起点和终点;

血管路径生成单元,用于根据所述起点和终点获取脑动脉瘤血管路径的三维数据;

初步分割单元,用于根据所述脑动脉瘤血管路径的三维数据生成初步分割的脑动脉瘤血管模型;

中心线提取单元,用于根据所述初步分割的脑动脉瘤血管模型获取中心线;

解剖学模型生成单元,用于根据所述中心线生成脑动脉瘤血管的横截面轮廓信息,并输出脑动脉瘤解剖学模型。

9.一种终端设备,其特征在于,所述终端设备包括存储器、处理器以及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,所述处理器用于执行所述程序时实现如权利要求1~6任一项所述的方法。

10.一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,所述计算机程序用于实现如权利要求1~6任一项所述的方法。

脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法、系统、设备及介质

技术领域

[0001] 本发明一般涉及计算机图像处理技术领域,具体涉及一种脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法、系统、设备及介质。

背景技术

[0002] 脑动脉瘤或称颅内动脉瘤,是由脑动脉内腔异常扩张,形成的突出于脑动脉壁的囊状或球形的隆起,病理改变主要包括脑动脉干或其分支发生梭形膨大或局限性囊状改变。目前脑动脉瘤的发病率日益增多,其破裂可能导致颅内出血,根据出血的严重程度,可能导致脑损伤或死亡。临床上能否对脑动脉瘤做出及时有效的治疗,主要取决于能否及时准确地对病变性质、类型和邻近解剖关系等做出正确诊断。

[0003] 由于医学影像技术的不断发展,使得临床医生能够较清楚地观察病人脑动脉瘤的几何形态,这对临床脑动脉瘤的诊断和治疗起到了积极作用。同时通过大样本的比较破裂脑动脉瘤和未破裂脑动脉瘤之间的几何形态差异,临床医生发现脑动脉瘤几何形状与是否破裂相关,进而形成依据动脉瘤的几何形状来判断脑动脉瘤的生长和破裂的风险,以支持临床决策。但是还无法解释这些因素是如何导致动脉瘤破裂风险加大的。

[0004] 随着脑动脉瘤医学影像技术和计算流体力学的发展,目前人们已经认识到,其可能的机制是,由于脑动脉瘤几何形状的改变,进而引起瘤内血流动力学指标的改变,从而导致脑动脉瘤的生长和破裂。因此,准确获得脑动脉瘤内血流动力学指标的分布状况,对脑动脉瘤的临床治疗以及预后评估起着相当重要的作用。

发明内容

[0005] 基于上述现有技术的不足,本申请的目的在于提供一种脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法、系统、介质及设备,以期通过分析脑动脉瘤及载瘤动脉的血流动力学特征,了解脑动脉瘤内部的血流状况,为脑动脉瘤的发生、发展、破裂和治疗研究提供技术指导。

[0006] 作为本申请的第一方面,本申请提供了一种脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法。

[0007] 作为优选,所述脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法包括如下步骤:

[0008] 获取人体脑动脉医学图像数据;

[0009] 对所述人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模得到脑动脉瘤解剖学模型;

[0010] 对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理,输出计算结果;

[0011] 将所述计算结果附加到所述脑动脉瘤解剖学模型的对应位置,进行血流动力学指标的可视化显示。

[0012] 作为优选,对所述人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模得到脑动脉瘤解剖学模型,包括如下步骤:

[0013] 根据人体脑动脉医学图像数据获取训练识别的脑动脉瘤标志点的起点和终点;

[0014] 基于所述起点和终点生成待分割脑动脉瘤血管路径;

- [0015] 根据所述血管路径对脑动脉瘤血管进行初步分割,获得初步分割的脑动脉瘤血管模型;
- [0016] 从初步分割的脑动脉瘤血管模型中提取中心线;
- [0017] 根据所述中心线提取待评估脑动脉瘤血管横截面轮廓线,生成脑动脉瘤解剖学模型。
- [0018] 作为优选,根据人体脑动脉医学图像数据获取训练识别的脑动脉瘤标志点的起点和终点,包括如下步骤:
- [0019] 接收人体脑动脉医学图像数据,使用机器学习系统基于训练数据对图像上的各血管点进行标注生成正样本集和负样本集;
- [0020] 根据所述正样本集和负样本集,经过特征提取,使用机器学习系统基于训练数据计算各血管点属于正样本集的概率,获取脑动脉瘤标志点的起点和终点。
- [0021] 作为优选,根据所述中心线提取待评估脑动脉瘤血管横截面轮廓线,生成脑动脉瘤解剖学模型,包括以下步骤:
- [0022] 基于所述中心线的各个点,将三维体素图像切成若干二维横截面图像,使用机器学习系统基于训练数据生成的边界分类器对各个二维横截面图像上的血管内体素进行标记生成正样本集和负样本集;并基于边界体素与血管中心点的连线计算边界体素的局部方向;
- [0023] 基于所述局部方向,经过特征提取,使用机器学习系统基于训练数据生成的边界分类器计算各体素属于正样本集的概率,获得概率图;
- [0024] 基于所述概率图,获得各个二维横截面图像上的脑动脉瘤血管横截面轮廓线;
- [0025] 将获得的各个二维横截面图像上的脑动脉瘤血管横截面轮廓线进行组合,生成脑动脉瘤解剖学模型。
- [0026] 作为优选,对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理,输出计算结果,包括如下步骤:
- [0027] 对所述脑动脉瘤解剖学模型进行加载计算设置以及边界条件参数设置;
- [0028] 将所述加载了边界条件的解剖学模型进行网格划分;
- [0029] 解算血液在脑动脉瘤内的三维流动控制方程,输出计算结果,所述计算结果包括压力、血流储备分数、血流速度、剪切应力、震荡剪切指数中的一种或多种。
- [0030] 作为优选,所述网格划分包括如下步骤:
- [0031] 根据脑动脉瘤血管中心线,获得脑动脉瘤血管壁各个点到中心线的距离 d ;
- [0032] 根据所述距离 d ,采用三棱柱网格对脑动脉瘤血管的边界层进行网格划分,所述边界层厚度为距离 d 的四分之一;
- [0033] 根据所述距离 d ,采用四面体网格对脑动脉瘤血管的边界层内的区域进行网格划分,所述网格大小为距离 d 的十分之一;
- [0034] 将所述边界层网格与边界层内网格进行装配。
- [0035] 作为本申请的第二方面,本申请提供了一种脑动脉瘤血流动力学指标的评估系统。
- [0036] 作为优选,所述脑动脉瘤血流动力学指标的评估系统包括:
- [0037] 图像数据采集系统,用于获取人体脑动脉医学图像数据;

[0038] 脑动脉瘤解剖学建模系统,对所述人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模得到脑动脉瘤解剖学模型;

[0039] CFD模拟系统,用于对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理,输出计算结果;

[0040] 后处理显示系统,将所述计算结果附加到所述脑动脉瘤解剖学模型的对应位置,进行血流动力学指标的可视化显示。

[0041] 作为优选,所述脑动脉瘤解剖学建模系统包括:

[0042] 端点获取单元,用于根据人体脑动脉医学图像数据获取脑动脉瘤标志点的起点和终点;

[0043] 血管路径生成单元,用于根据所述起点和终点获取脑动脉瘤血管路径的三维数据;

[0044] 初步分割单元,用于根据所述脑动脉瘤血管路径的三维数据生成初步分割的脑动脉瘤血管模型;

[0045] 中心线提取单元,用于根据所述初步分割的脑动脉瘤血管模型获取中心线;

[0046] 解剖学模型生成单元,用于根据所述中心线生成脑动脉瘤血管的横截面轮廓信息,并输出脑动脉瘤解剖学模型。

[0047] 作为本申请的第三方面,本申请提供了一种终端设备,包括存储器、处理器及存储在存储器上并可在处理器上运行的计算机程序,该处理器执行该计算机程序时实现如上述第一方面所述的方法。

[0048] 作为本申请的第四方面,本申请提供了一种计算机可读存储介质,其上存储有计算机程序,该计算机程序用于实现如上第一方面所述的方法。

[0049] 本申请的有益效果:

[0050] 本申请的脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法、系统、设备及介质能够根据人体脑动脉医学图像数据获得脑动脉瘤的血流动力学指标,从而可以基于所获取的血流动力学指标分析血流动力学特征与动脉瘤发生、发展和破裂的关系,为脑动脉瘤的风险因子评估和介入治疗提供理论依据。本申请的方法及系统基于非侵入性的测量方法,能够无创、科学、便捷、迅速的评价脑动脉瘤的血流动力学指标,弥补了当前难以对脑动脉瘤破裂风险进行评估的不足。

附图说明

[0051] 通过阅读参照以下附图所作的对非限制性实施例所作的详细描述,本申请的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0052] 图1为本申请实施例的用于脑动脉瘤内血流动力学指标的非侵入性评估方法;

[0053] 图2为本申请实施例的用于生成脑动脉瘤特异性解剖学模型的方法流程图;

[0054] 图3为本申请实施例的对脑动脉瘤解剖学模型进行网格划分的方法流程图;

[0055] 图4为本申请实施例的用于脑动脉瘤内血流动力学指标的非侵入性评估系统框架;

[0056] 图5为本发明实施例的用于模拟脑动脉瘤的患者特异性的边界条件;

[0057] 图6为本发明实施例的脑动脉瘤内时间平均壁面剪切应力TAWSS的可视化显示;

[0058] 图7为本发明实施例的脑动脉瘤内血流储备分数FFR的可视化显示;

[0059] 图8为本发明实施例的脑动脉瘤内速度流线Streamlines的可视化显示。

具体实施方式

[0060] 下面结合附图和实施例对本申请作进一步的详细说明。可以理解的是,此处所描述的具体实施例仅仅用于解释相关发明,而非对该发明的限定。另外还需要说明的是,为了便于描述,附图中仅示出了与发明相关的部分。

[0061] 需要说明的是,在不冲突的情况下,本申请中的实施例及实施例中的特征可以相互组合。下面将参考附图并结合实施例来详细说明本申请。

[0062] 实施例一:

[0063] 参考图1,本申请实施例提供了一种脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法,该评估方法可以包括以下步骤:

[0064] 步骤100,获取人体脑动脉医学图像数据。本实施例中获取的是有脑动脉瘤疾病症状的病人的脑动脉的扫描图像,脑动脉瘤疾病症状有剧烈头痛、呕吐、视力视野障碍等。在一些优选的实施例中,步骤100获取的人体脑动脉图像可以包括来自患者的一个或多个成像模式的3D或4D医学图像数据,如计算机断层摄影(CTA)、核磁共振影像(MRA)、三维脑血管造影(DSA)、超声影像或任何其他类型的医学成像模式。

[0065] 上述医学图像数据可以是直接从CT扫描机、MR扫描机、血管造影扫描机或超声设备等的一个或多个图像采集设备中获取医学图像数据,或可以从预先存储医学图像数据的数据库中获取。

[0066] 在一些优选的实施方式中,步骤100还包括获取患者的非侵入性临床测量数据,这些临床测量数据包括但不限于血压、心率等。

[0067] 步骤101,对所述人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模得到脑动脉瘤解剖学模型。

[0068] 脑动脉图像除了包括脑动脉瘤以及载瘤血管之外,还包括周围肌肉组织和非脑动脉瘤血管,本步骤的目的在于从人体脑动脉图像中将脑动脉瘤所在的区域(即病灶区域)与其他背景区域分开,将脑动脉瘤及瘤体周围的载瘤血管提取出来,即获得感兴趣的区域,并对该感兴趣的区域进行三维重建或解剖学建模获得适于计算机流体动力学模拟的特异性解剖学模型。该特异性解剖学模型可以显示瘤体的具体位置、形态,能够对脑动脉瘤体、载瘤动脉及周围血管和结构之间存在的三维关系进行真实反映,使提供的脑动脉瘤信息更为准确、详细。本申请一种实施方式的脑动脉瘤解剖学模型的建模流程如图2所示,将在下文进行详细描述。

[0069] 步骤102,对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理,输出计算结果。本步骤通过对所构建的脑动脉瘤解剖学模型进行网格划分,并使用患者特异性的边界条件进行CFD模拟,从而获得脑动脉瘤血管内的血流动力学指标,本申请一种实施方式的CFD模拟方法将在下文进行详细描述。

[0070] 步骤103,将所述计算结果附加到所述脑动脉瘤解剖学模型的对应位置,进行血流动力学指标的可视化显示。在本步骤中,所述计算结果即CFD模拟所获得的血流动力学指标,该血流动力学指标包括但不限于压力、血流储备分数、血流速度、剪切应力、震荡剪切指

数等。在一些实施方式中,如图6-8所示,血流动力学指标包括时间平均壁面剪切应力(TAWSS)、血流储备分数(FFR)、速度流线(streamlines)等,上述血流动力学指标可通过数值标注法、颜色标注法、箭头标注法等加载于脑动脉瘤解剖学模型的对应位置。在本申请一个优选的实施方式中,用于进行血流动力学指标可视化显示的方法和系统公开于公开号为CN105095615A,名称为“对血管中血流数据进行处理的方法和系统”的中国专利中,该专利内容以引用的方式并入本申请中。

[0071] 参考图2,本申请实施例示出了一种对人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模获得脑动脉瘤解剖学模型的方法,包括如下步骤:

[0072] 步骤200,根据人体脑动脉医学图像数据获取训练识别的脑动脉瘤标志点的起点和终点,即探测脑动脉瘤标志点。

[0073] 在本申请中,脑动脉瘤标志点是指脑动脉瘤瘤体及瘤体周边血管所构成的区域,也即脑动脉瘤及其周边区域。研究表明,脑动脉瘤本身形态学因素、动脉瘤和周边血管衔接关系形态学因素、动脉瘤周边血管形态学因素共同影响脑动脉瘤血流动力学,其中,脑动脉瘤周边血管形态学因素对脑动脉瘤的进展和破裂也具有影响,因此本申请的实施例中将脑动脉瘤瘤体及瘤体周边血管作为脑动脉瘤标志点,通过对人体脑动脉图像中的脑动脉瘤标志点进行识别,从而特异性地将脑动脉瘤及其周边区域从人体脑动脉图像中提取出来。脑动脉瘤标志点即作为本申请实施例中需要分割并进行三维重建的目标血管段,下文简称为脑动脉瘤血管。

[0074] 在一些优选的实施方式中,根据人体脑动脉医学图像数据获取训练识别的脑动脉瘤标志点的起点和终点,包括如下步骤:

[0075] 1)接收人体脑动脉医学图像数据,使用机器学习系统基于训练数据对图像上的各血管点进行标注生成正样本集和负样本集;

[0076] 在本申请中,“机器学习”是指给与计算机在没有明确编程的情况下学习的能力的算法,包括从数据中学习并做出关于数据的预测的算法。机器学习算法包括但不限于决策树学习,人工神经网络,深度学习神经网络,支持向量机,规则库机器学习,随机森林等。

[0077] 在本申请中,通过从输入值构建模型来“训练”机器学习算法,输入值(即训练数据)可以是已知的脑动脉瘤诊断的回顾性数据。在本申请中训练数据包括多个训练样本,每个训练样本包括特征向量,训练数据可以包括多个图像,所述训练样本对应于图像中的体数据。训练数据可以从单个患者或多个患者中的至少一种获得。

[0078] 这些训练数据能够训练机器学习系统对每个标志点的起点和终点的真实位置进行标注,当采用该训练后的学习系统处理待分割人体脑动脉图像时,这样的学习系统能够在脑动脉标志点的真实位置处生成正样本,在远离真实位置的地方生成负样本,可以由用户手动标注或被从图像中自动检测。

[0079] 在本申请中,脑动脉瘤及周边血管可能具有多个分支,因此通过对多个血管点进行标注生成多个正样本和负样本,即得到正样本集和负样本集。血管点也即待处理血管图像中的各个像素点。

[0080] 2)根据所述正样本集和负样本集,经过特征提取,使用机器学习系统基于训练数据计算各血管点属于正样本集的概率,获取脑动脉瘤标志点的起点和终点。

[0081] 具体而言,经过特征提取为每个样本计算Haar特征和steerable特征,上述特征传

递给使用机器学习系统基于训练数据生成的统计分类器,该分类器自动学习用最佳方式区分正负样本,计算各血管点属于正样本的概率,即计算各血管点属于脑动脉瘤标志点的起点或终点的概率,在体数据中找到共性从而获取脑动脉瘤标志点的起点和终点。

[0082] 在本申请中统计分类器可以包括但不限于支持向量机、决策树、概率提升树(Probabilistic Boosting Tree,PBT)、随机森林、神经网络或深度学习神经网络。

[0083] 在一些优选的方式中,本实施例通过使用机器学习系统基于训练数据生成的标志点探测器来识别脑动脉瘤标志点的起点和终点。一般来说起点可能有一个,终点可能有多个。

[0084] 步骤201,基于所述起点和终点生成待分割脑动脉瘤血管路径。在本步骤中,具体是指通过识别待分割脑动脉瘤血管的起点和终点之间的路径来追踪血管。

[0085] 在本申请的一个实施例中,可以使用基于Dijkstra算法的最短路径算法或基于反向回溯的最小路径传播算法(MPP-BT)来识别起点和终点之间的路径。

[0086] 步骤202,根据所述血管路径对脑动脉瘤血管进行初步分割,获得初步分割的脑动脉瘤血管模型。

[0087] 标识的最短路径不一定是血管的中心线,为了获得更精确的中心线,本申请首先在3D图像中对血管进行初步分割。本步骤的目的是将目标血管段和其背景分开,其中目标血管段是上文所述的起点和终点所定义的血管段,也即脑动脉瘤标志点,其包括脑动脉瘤及周边血管。

[0088] 在本发明的实施例中,可以利用基于沿跟踪路径的图像强度和梯度的随机游走算法(random walks algorithm)进行脑动脉瘤血管初步分割。可以理解的是,也可以采用其他分割方法,例如区域生长方法、区间二值分割方法、阈值分割、体素生长算法、深度学习分割等。

[0089] 步骤203,从初步分割的脑动脉瘤血管中提取中心线。

[0090] 中心线可以代表血管网络的拓扑结构,其完整性和准确性影响血管三维结构的有效性和鲁棒性。在本申请的实施例中可以使用任意中心线提取方法提取中心线,例如手动标定方法、拓扑细化方法、距离变换方法、最小代价路径(Minimum Cost Path,MCP)算法等。

[0091] 在本申请一个优选的实施方式中,可以使用美国已公布的专利NO.2008/0249755中所述的中心线提取技术进行提取,该技术通过引用结合到本文中。

[0092] 步骤204,根据所述中心线提取待评估脑动脉瘤血管横截面轮廓线,生成脑动脉瘤解剖学模型。本步骤的目的是对脑动脉血管进行精确分割。

[0093] 在一些优选的实施方式中,根据中心线提取待评估脑动脉瘤血管横截面轮廓线,生成脑动脉瘤解剖学模型的方法包括以下步骤:

[0094] 1) 基于所述中心线,提取获得中心线各个点处的若干二维横截面图像,使用机器学习系统基于训练数据生成的边界分类器对各个二维横截面图像上的血管内体素进行标记生成正样本集和负样本集;并基于边界体素与血管中心点的连线计算边界体素的局部方向。

[0095] 具体来说,本实施例中基于提取的中心线,沿着中心线提取其各个点处的二维横截面图像,其中,中心线与二维横截面图像的交叉点即为该二维横截面图像上的血管中心点。进一步地,使用机器学习系统基于训练数据生成的边界分类器对各二维横截面图像上

的血管内体素进行标记,生成正样本集和负样本集;而对于边界体素,通过将边界体素连接到所属二维横截面图像上的血管中心点来计算获得边界体素的局部方向。

[0096] 在本申请中统计分类器可以包括但不限于支持向量机、决策树、概率提升树(PBT)、随机森林、神经网络或深度学习神经网络。

[0097] 2) 基于所述局部方向,经过特征提取,使用机器学习系统基于训练数据生成的边界分类器计算各体素属于正样本集的概率,获得概率图。

[0098] 具体来说,在本实施方式中,基于局部方向提取各体素的steerable特征,训练后的边界分类器可以使用steerable特征来确定各体素属于正样本集的概率得分,即训练后的边界分类器在二维横截面图像上沿血管方向的垂直方向进行扫描,获得概率图。

[0099] 3) 基于所述概率图,获得各个二维横截面图像上的脑动脉瘤血管横截面轮廓线。

[0100] 在一些实施方式中,可基于随机游走算法对各个二维横截面进行分割,获得脑动脉瘤血管横截面轮廓线。

[0101] 4) 将获得的各个二维横截面图像上的脑动脉瘤血管横截面轮廓线进行组合,生成脑动脉瘤的精确解剖学模型。

[0102] 在一些实施方式中,可通过放样的方法将各个横截面轮廓线进行组合。

[0103] 在本申请实施例中,上述解剖学建模方法可以采用全自动的方法进行执行或与用户交互参与的方法执行。在本发明的实施例中,脑动脉瘤特异性解剖学模型根据医学图像数据自动生成。并且该特异性解剖学模型可通过适当修改,以反映干预措施导致的形态变化。

[0104] 进一步地,本申请的实施例示出了对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理,输出计算结果的方法,通过本实施方式的方法,可以通过流体力学计算来获得血流速度、压力、剪应力、血流储备分数等参数中的一种或多种。本实施例的对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理和输出计算结果的方法包括如下步骤:

[0105] 1) 对所述脑动脉瘤解剖学模型进行加载计算设置以及边界条件参数设置。

[0106] 血流动力学和一般的流体力学一样,其基本的研究对象是流量、阻力和压力之间的关系。由于血管是有弹性和可扩张性的管道系统,血液是含有血细胞和胶体物质等多种成分的液体而不是理想液体,因此,血流动力学除与一般流体力学有共同点之外,又有它自身的特点。

[0107] 第一方面,需要定义计算涉及到的材料属性,例如患者血液的密度、粘度(牛顿流体或非牛顿流体),血管壁的杨氏模量、密度等等流体固体材料性质,以及这些材料性质是否是线性的(即材料性质随着流场参数的变化而变化)。

[0108] 第二方面,需要确定使用稳态计算或是瞬态计算。瞬态计算可以模拟患者一个或几个心动周期内脑动脉瘤的血流情况,也可以模拟患者在服用药物、运动休息或者突然起立等不同情况下脑动脉瘤内血流情况。稳态计算则是在结果精度要求不高的情况下,模拟某一个时刻的血流情况,计算量比较小,计算速度快。为了更能准确地模拟患者心脏跳动的周期性和身体条件的突然变化等情况,典型的脑动脉瘤分析实施例中都使用瞬态计算。

[0109] 第三方面,需要考虑使用单相流模型或是多相流模型。由于血液中血细胞(主要是红细胞)相对于计算域的几何结构来讲十分微小,因此大多数情况中计算采用单相流模型。在特定情况下,如分析十分细小的血管,或者模拟有血液结块,或者模拟血栓、粥样硬化斑

块脱落时,可以采用多相流模型。

[0110] 第四方面,还应考虑使用层流或是过渡流模型。正常情况下在人体大多数血管中,血液的流动都是层流的,因此使用层流模型。剧烈运动时,心输出量增加4~5倍,心缩期间有较长的时期主动脉血流速度超过临界速度,出现湍流。因此在模拟有病变的血管,或者模拟患者在运动、服用某些药物的情况下,可以采用过渡流或湍流模型。可使用的湍流模型包括 $k-\epsilon$ 模型, $k-\omega$ 模型以及大涡模拟 (LES) 等模型。针对不同的血液流动情况,本方法和系统可以采用不同的湍流模型。

[0111] 第五方面,需要考虑血管壁的弹性。血管的形状壁会随着心脏搏出量的周期性变化而变化。在简化的计算中,血管壁可以认为是刚性的;为了使计算更贴近真实情况,可以认为血管壁是有弹性的,此时,可以使用单向或双向流固耦合解算方法进行计算。具体而言,可以将计算分为流体力学计算和固体力学计算。在一个分析步内,经流体力学计算后的血压对血管壁的压力,再通过固体力学计算来根据压力计算出血管壁的形变,然后反馈至了流体力学计算中。

[0112] 在本申请实施例中,边界条件包括血流入口边界条件、血流出口边界条件和/或血管壁面边界条件;其中,血流入口边界条件包括耦合模拟电路入口边界条件、血流压力入口边界条件和血流速度入口边界条件的一种或多种;血流出口边界条件包括耦合模拟电路出口边界条件、血流阻力出口边界条件和小血管树边界条件的一种或多种;血流壁面边界条件包括非滑移壁面边界条件、滑移壁面边界条件、刚性壁面边界条件、单向流固耦合壁面边界条件和双向流固耦合壁面边界条件的一种或多种。

[0113] 在本申请的实施例中,由于与动脉瘤相邻的载流动脉直径较大,且流速相对较快,因此血液的非牛顿性可以忽略。在本实施例中,血液假设为牛顿流体,血液密度 ρ 为 $1060\text{kg}/\text{m}^3$,血液动力粘度为 $0.004\text{Pa}\cdot\text{S}$ 。

[0114] 由于当前的医疗检测设备很难准确无创地测量血管内部的压力分布和血管横截面的速度分布,因此在CFD模拟时需要进行合理的取舍。本实施例中,壁面采用刚性壁边界条件,忽略血管的弹性,不考虑血管舒张和收缩过程中血管形变对血流的影响;入口边界条件设置压强条件,同一时刻入口横截面各点处的压强大小一致,其压强值随患者手臂测量的血压数据和心率得到血压-时间变化图进行变化;出口边界条件使用集中参数模型(此处为简单的RCR模型)模拟出口下游血管和微血管的阻力。

[0115] 其中,各出口的血管阻力的获取方法如下:首先,从脑动脉医学影像数据中计算得到患者特异性的脑部容量,从而使用基于人群的关系从脑部容量数据计算得到脑动脉血管的流量,并根据脑动脉血管流量和非侵入性临床测量(如患者的上臂血压、心率等)计算得到总的脑动脉阻力,然后依据解剖学模型中各出口的直径等参数,使用基于人群的血管阻力关系,将总的脑动脉阻力分配到给各出口血管。

[0116] 此外,为模拟出口下游血管的弹性、血流惯性等,可在电路模型中添加一个或多个电容 C (模拟血管弹性)、电感 L (模拟血流惯性)等。元件越多需要确定的参数越多,但模型越能反映真实的人体生理状况。

[0117] 参考图5,示出了本申请实施例的一种脑动脉瘤的解剖学模型示意图,包括脑动脉瘤及载瘤血管,具有一个入口和两个出口,其中,入口边界条件采用血流压力入口边界条件,血流压力可以是由患者上臂测量到的血压数据;出口边界条件采用耦合模拟电路出口

边界条件。

[0118] 2) 设置好材料属性和边界条件后,对所述加载了边界条件的解剖学模型进行网格划分。

[0119] 网格划分时最重要的是确定网格类型和网格大小,在本申请的一个优选的实施例中采用混合网格类型(hybrid mesh),即四面体-三棱柱混合网格,对边界层使用三棱柱网格,而对内部区域采用四面体网格。在本申请中,边界层为血管内靠近血管壁的区域,边界层之内的区域为血管的内部区域。

[0120] 参考图3,示出了本申请实施例的一种优选的全自动自适应网格划分方法。

[0121] 步骤300,导入步骤203所提取的中心线,根据脑动脉瘤血管中心线,计算获得脑动脉瘤血管壁上各个点到中心线的距离d;

[0122] 步骤301,根据所述距离d,采用三棱柱网格对脑动脉瘤血管的边界层进行网格划分,其中,边界层厚度为距离d的四分之一;在本实施的一种方式中,对边界层总共划为5层,其中,最外层靠近血管壁的网格大小统一定义为0.02mm,边界层网格大小从外往内按比例a逐层增大,a的值可根据如下公式(1)进行计算:

$$[0123] \quad 0.02(1+a+a^2+a^3+a^4) = (1/4)*d \quad (1);$$

[0124] 步骤302,根据所述距离d,采用四面体网格对对脑动脉瘤血管的边界层内的区域进行网格划分,所述网格大小为距离d的十分之一;

[0125] 步骤303,将所述边界层网格与边界层内网格进行装配,完成网格划分。

[0126] 3) 对每个网格进行血液在脑动脉瘤内的三维流动控制方程的解算,输出计算结果,即得到血流动力学指标。

[0127] 对每个网格进行CFD模拟求解,即求解一系列的偏微分方程组,如Navier-Stokes方程等。在本实施例中,模型采用瞬态计算,模拟了4个心动周期下脑动脉瘤内的血液流动情况,每个心动周期分为800个时间步。以第四个心动周期的计算结果来分析脑动脉瘤内的血流动力学指标的分布状况。

[0128] 在本申请一个优选的实施方式中,用于进行流体力学计算处理和输出计算结果的方法和系统公开于公开号为CN105096388A,名称为“基于计算流体力学的冠状动脉血流仿真系统和方法”的中国专利中,该专利内容以引用的方式并入本申请中。

[0129] 实施例二:

[0130] 参考图4,是本申请实施例提供的一种脑动脉瘤血流动力学指标的评估系统,该评估系统可以包括:

[0131] 图像数据采集系统400,用于获取人体脑动脉医学图像数据;

[0132] 脑动脉瘤解剖学建模系统401,对所述人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模得到脑动脉瘤解剖学模型;

[0133] CFD模拟系统402,用于对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理,输出计算结果;

[0134] 后处理显示系统403,将所述计算结果附加到所述脑动脉瘤解剖学模型的对应位置,进行血流动力学指标的可视化显示。

[0135] 本发明提供的系统可以针对不同的患者特异性地进行脑动脉瘤血液流动模拟,该系统和方法所使用的参数和数据都从患者身上测得,人体脑动脉瘤图像数据为来自于CTA、

MRA、DSA、超声影像或任何其他类型的医学成像数据,而血压等数据可以来自于患者上臂测量到的血压,血流速度数据可以来自于多普勒血流计或者MRI数据。本申请的系统能够直接评估出患者脑动脉瘤的血流动力学特征,对判断脑动脉瘤发展、破裂以及是否需要干预提供可靠的依据。

[0136] 所述图像数据采集系统400能够接收、传递、储存患者医学检查的计算机扫描图像数据,这些计算机扫描图像包含患者身体的相关数据信息,尤其是脑动脉的三维或者四维信息。在一些优选的方式中,所述图像数据采集系统400还能够接收、传递、储存患者医学检查的非侵入性临床测量数据,例如血压、心率等。

[0137] 所述图像数据采集系统400可以通过多种方法进行数据信息的传递,例如通过可移动存储介质,如硬盘或者光盘,或者局域网或者万维网等等方法,可以保证患者信息的及时更新和接收传递方便,兼容多渠道获取计算机扫描图像。

[0138] 所述脑动脉瘤解剖学建模系统401能够对获取的人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模得到脑动脉瘤解剖学模型。在本实施方式中,所述脑动脉瘤解剖学建模系统使用一种基于机器学习的图像分割和中心线提取方法生成感兴趣区域(脑动脉瘤血管)的特异性解剖学模型,所述脑动脉瘤解剖学建模系统401可以包括:

[0139] 端点获取单元,用于根据人体脑动脉医学图像数据获取脑动脉瘤标志点的起点和终点;

[0140] 血管路径生成单元,用于根据所述起点和终点获取脑动脉瘤血管路径的三维数据;

[0141] 初步分割单元,用于根据所述脑动脉瘤血管路径的三维数据生成初步分割的脑动脉瘤血管模型;

[0142] 中心线提取单元,用于根据所述初步分割的脑动脉瘤血管模型获取中心线;

[0143] 解剖学模型生成单元,用于根据所述中心线生成脑动脉瘤血管的横截面轮廓,并输出脑动脉瘤解剖学模型。

[0144] 其中,在本实施方式中,所述端点获取单元可以包括:选取模块,用于使用机器学习系统基于训练数据对图像上的各血管点进行标注生成正样本集和负样本集;特征提取模块,用于提取所述正样本集和负样本集的特征值;确定模块,基于所述特征值,使用机器学习系统基于训练数据计算各血管点属于正样本集的概率,生成脑动脉瘤标志点的起点和终点。

[0145] 其中,在本实施方式中,所述解剖学模型生成单元可以包括:横截面图像生成模块,用于提取获得中心线各个点处的若干二维横截面图像;选取模块,用于使用机器学习系统基于训练数据对二维横截面图像上的各体素进行标注生成正样本集和负样本集,并获得边界体素的局部方向;特征提取模块,用于提取所述正样本集和负样本集的特征值;确定模块,基于所述特征值,使用机器学习系统基于训练数据计算各体素属于正样本集的概率,获得概率图;横截面轮廓线生成模块,用于基于所述概率图,获得各个二维横截面图像上的脑动脉瘤血管横截面轮廓线;匹配模块,用于将获得的各个二维横截面图像上的脑动脉瘤血管横截面轮廓线进行组合,生成脑动脉瘤解剖学模型。

[0146] 所述CFD模拟系统402对解剖学模型进行网格划分、加载血液材料属性和边界条件以及使用计算流体力学的方法仿真模拟脑动脉瘤内的血液流动状况,其可以包括CFD前处

理系统和CFD计算系统,其中,该系统可以为公开于公开号为CN105096388A,名称为“基于计算流体力学的冠状动脉血流仿真系统和方法”的中国专利中的系统,该专利内容以引用的方式并入本申请中。

[0147] 后处理显示系统403,将所述计算结果附加到所述脑动脉瘤解剖学模型的对应位置,进行血流动力学指标的可视化显示,其中,该系统可以为公开于公开号为CN105095615A,名称为“对血管中血流数据进行处理的方法和系统”的中国专利中的系统,该专利内容以引用的方式并入本申请中。

[0148] 本申请的方法和系统能够非侵入性的评估脑动脉瘤的血流动力学指标,本申请的血流动力学指标分析的结果可用于术前规划、破裂风险评估、手术决策支持等,也可用于评价多种可能的干预措施或疗法的优劣。

[0149] 特别地,根据本申请的实施例,上文参考流程图1-3描述的过程可以被实现为计算机软件程序。例如,本申请的实施例包括一种计算机程序产品,其包括承载在机器可读介质上的计算机程序,该计算机程序包含用于执行流程图所示的方法的程序代码。

[0150] 需要说明的是,本申请所示的计算机可读介质可以是计算机可读信号介质或者计算机可读存储介质或者是上述两者的任意组合。计算机可读存储介质例如可以是但不限于电、磁、光、电磁、红外线、或半导体的系统、装置或器件,或者任意以上的组合。计算机可读存储介质的更具体的例子可以包括但不限于:具有一个或多个导线的电连接、便携式计算机磁盘、硬盘、随机访问存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、可擦式可编程只读存储器(EPROM或闪存)、光纤、便携式紧凑磁盘只读存储器(CD-ROM)、光存储器件、磁存储器件、或者上述的任意合适的组合。在本申请中,计算机可读存储介质可以是任何包含或存储程序的有形介质,该程序可以被指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用。而在本申请中,计算机可读的信号介质可以包括在基带中或者作为载波一部分传播的数据信号,其中承载了计算机可读的程序代码。这种传播的数据信号可以采用多种形式,包括但不限于电磁信号、光信号或上述的任意合适的组合。计算机可读的信号介质还可以是计算机可读存储介质以外的任何计算机可读介质,该计算机可读介质可以发送、传播或者传输用于由指令执行系统、装置或者器件使用或者与其结合使用的程序。计算机可读介质上包含的程序代码可以用任何适当的介质传输,包括但不限于:无线、电线、光缆、RF等等,或者上述的任意合适的组合。

[0151] 附图中的流程图和框图,图示了按照本申请各种实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上,流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段、或代码的一部分,前述模块、程序段、或代码的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。也应当注意,在有些作为替换的实现中,方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如,两个接连地表示的方框实际上可以基本并行地执行,它们有时也可以按相反的顺序执行,这依所涉及的功能而定。也要注意,框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合,可以用执行规定的功能或操作的专用的基于硬件的系统来实现,或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。

[0152] 描述于本申请实施例中所涉及到的单元或模块可以通过软件的方式实现,也可以通过硬件的方式来实现。所描述的单元或模块也可以设置在处理器中,例如,可以描述为:

一种处理器包括图像数据采集系统、脑动脉瘤解剖学建模系统、CFD模拟系统及后处理显示系统。其中,这些系统或单元或模块的名称在某种情况下并不构成对该系统或单元或模块本身的限定。

[0153] 作为另一方面,本申请还提供了一种计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质可以是上述实施例中描述的设备中所包含的;也可以是单独存在,而未装配入该设备中的。上述计算机可读存储介质存储有一个或者多个程序,当上述前述程序被一个或者一个以上的处理器用来执行描述于本申请的预测模型训练方法或预测方法。

[0154] 以上描述仅为本申请的较佳实施例以及对所运用技术原理的说明。本领域技术人员应当理解,本申请中所涉及的发明范围,并不限于上述技术特征的特定组合而成的技术方案,同时也应涵盖在不脱离所述发明构思的情况下,由上述技术特征或其等同特征进行任意组合而形成的其它技术方案。例如上述特征与本申请中公开的(但不限于)具有类似功能的技术特征进行互相替换而形成的技术方案。

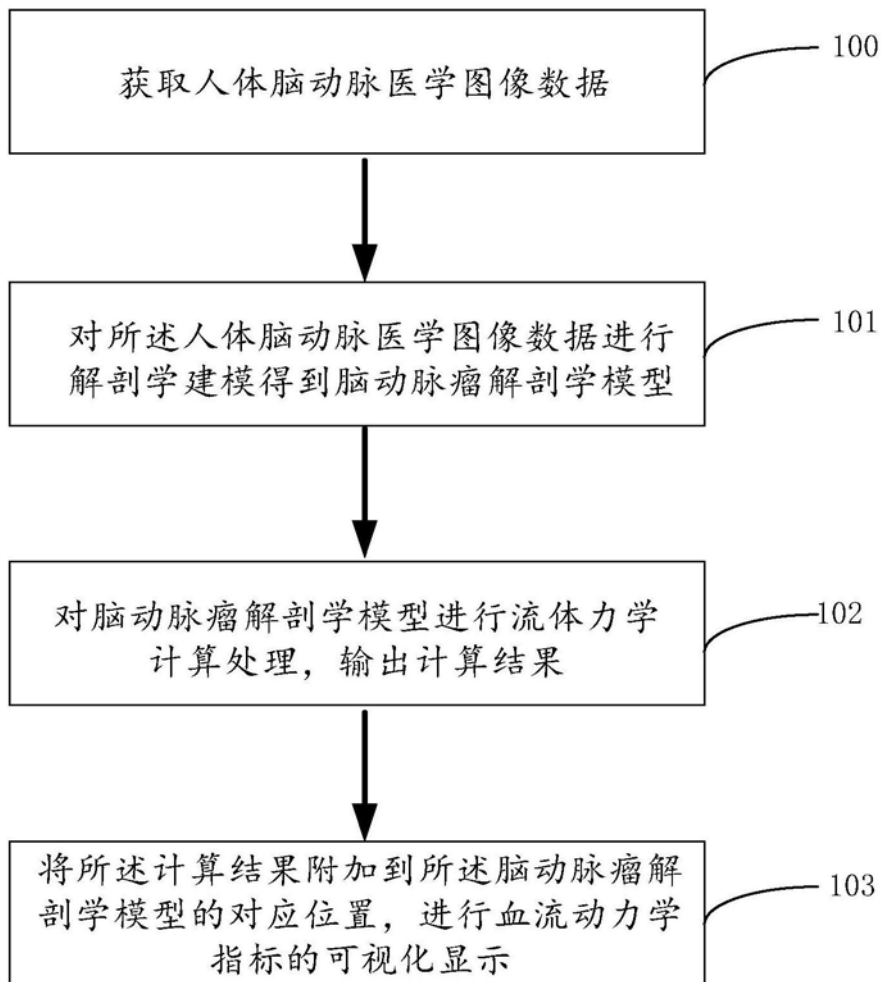


图1

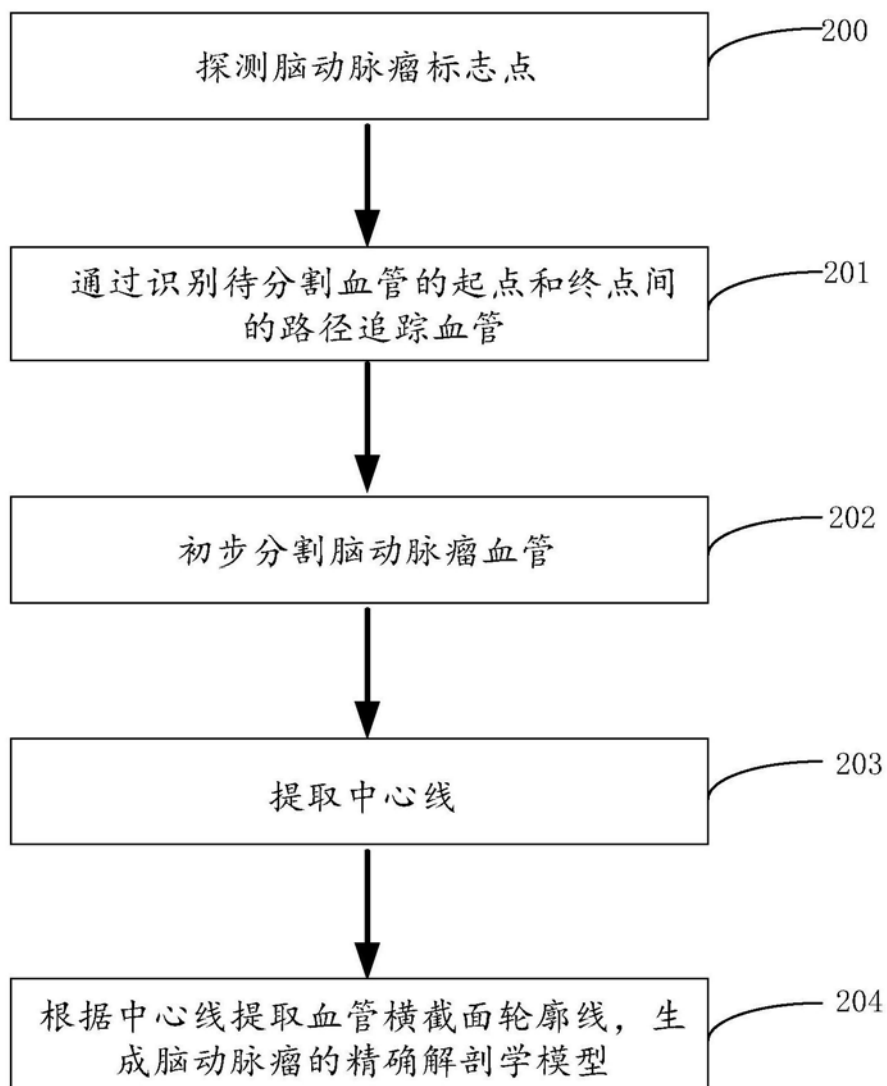


图2

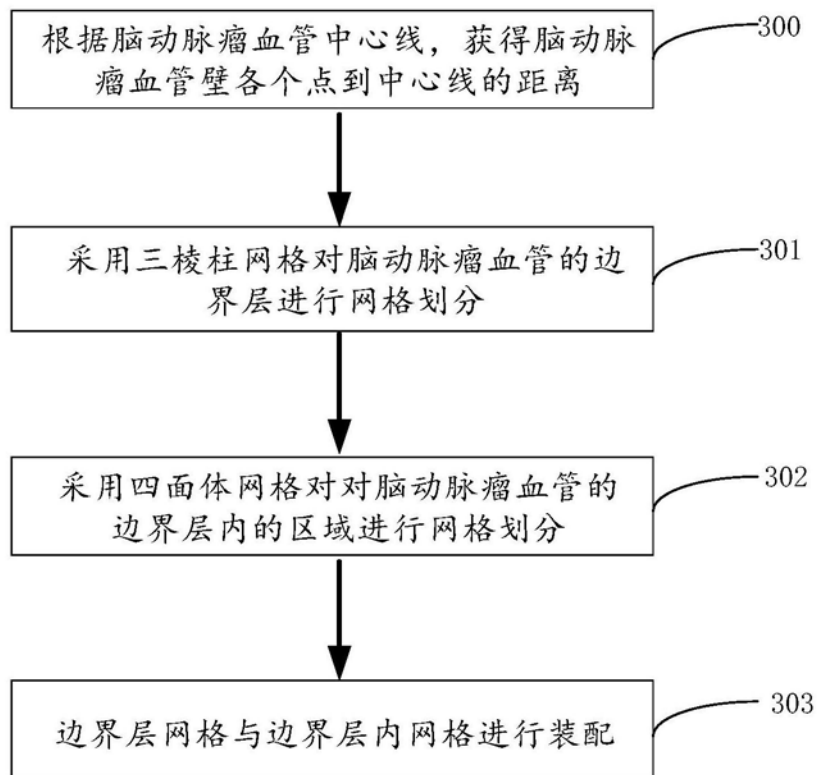


图3

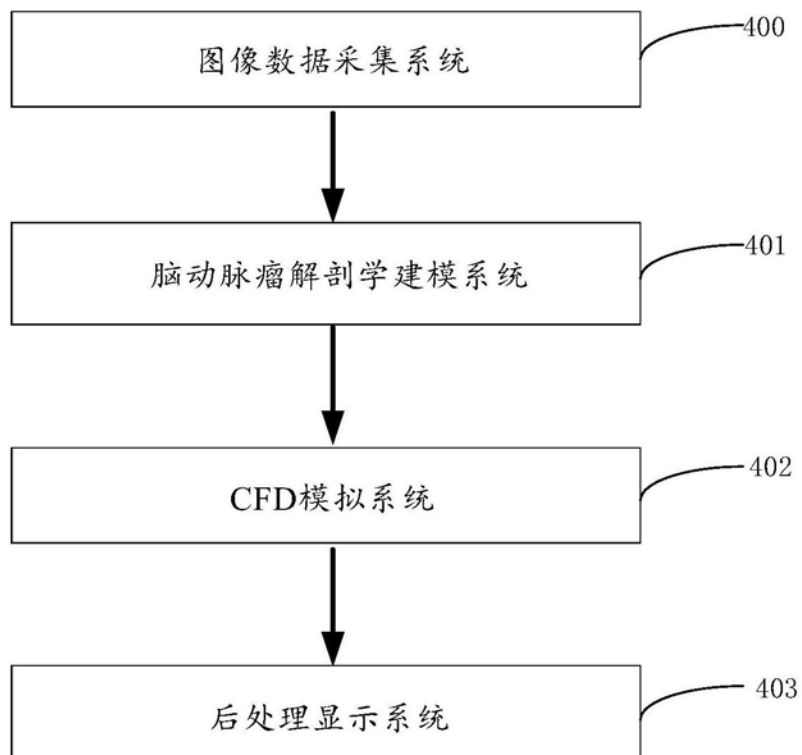


图4

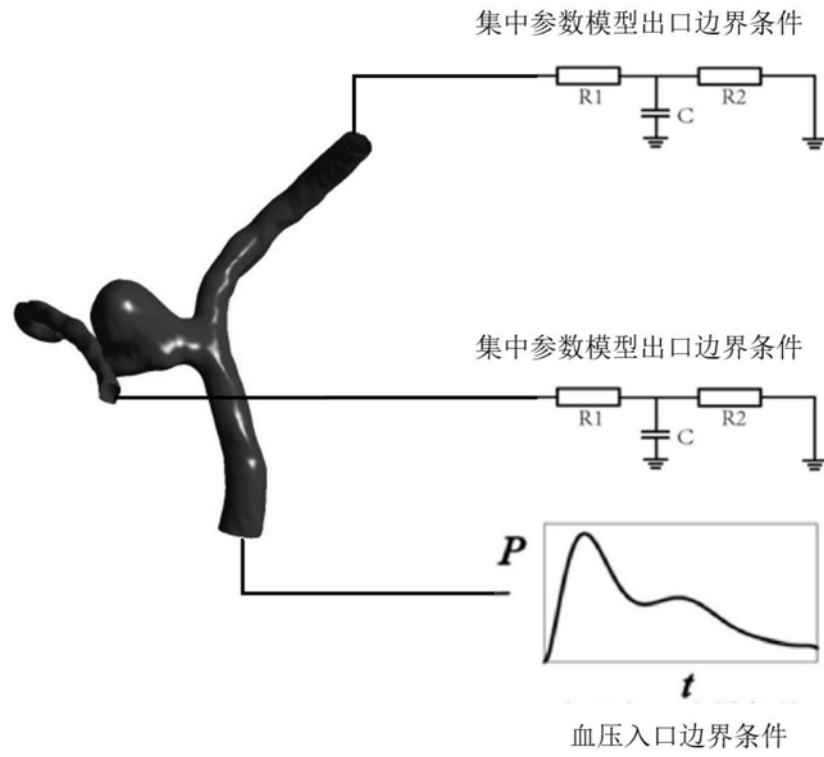


图5

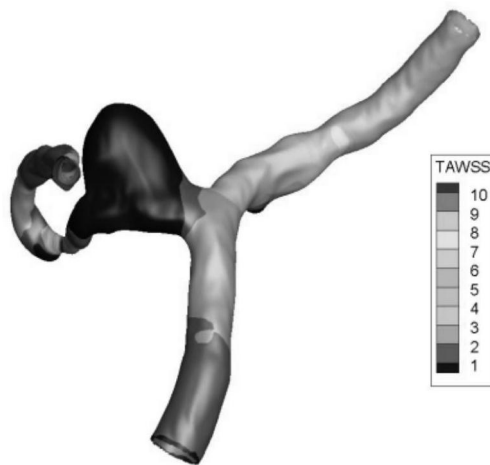


图6

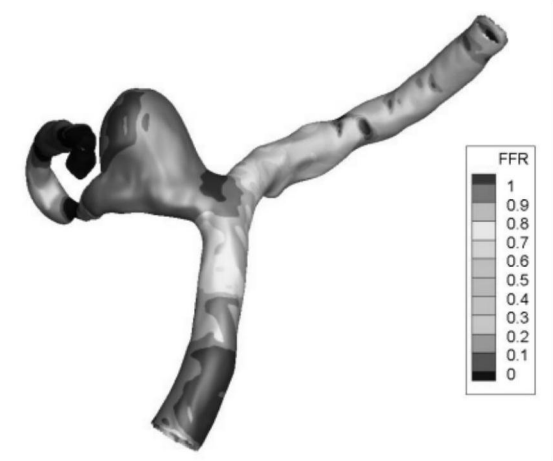


图7

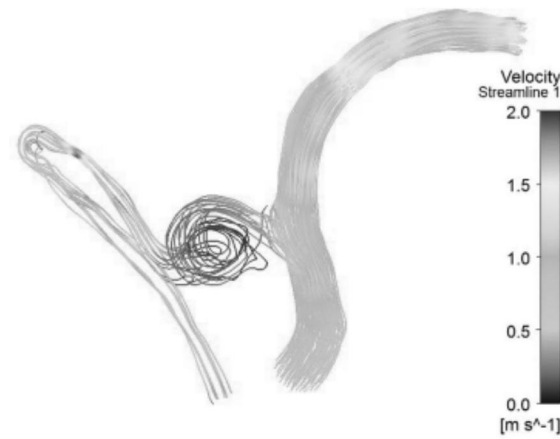


图8

专利名称(译)	脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法、系统、设备及介质		
公开(公告)号	CN110866914A	公开(公告)日	2020-03-06
申请号	CN201911149797.0	申请日	2019-11-21
[标]发明人	刘修健 饶思敏 王宇飞 张晔 巴特 王晓猛 张毅成		
发明人	刘修健 饶思敏 王宇飞 张晔 巴特 王晓猛 暴庆攀 张毅成		
IPC分类号	G06T7/00 G06T7/10 G06T7/68 G06T7/13 A61B5/00 A61B5/02		
CPC分类号	A61B5/02014 A61B5/02028 A61B5/72 G06T7/0012 G06T7/10 G06T7/13 G06T7/68 G06T2207/20081 G06T2207/30101 G06T2207/30172		
代理人(译)	郭栋梁		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

本申请公开了一种脑动脉瘤血流动力学指标的评估方法、系统、设备及介质。该评估方法包括以下步骤：获取人体脑动脉图像数据；对所述人体脑动脉医学图像数据进行解剖学建模得到脑动脉瘤解剖学模型；对脑动脉瘤解剖学模型进行流体力学计算处理，输出计算结果；将所述计算结果附加到所述脑动脉瘤解剖学模型的对应位置，进行血流动力学指标的可视化显示。本申请的方法、系统、设备及介质能够根据人体脑动脉医学图像数据获得脑动脉瘤的血流动力学指标，从而可以基于所获取的血流动力学指标分析血流动力学特征与动脉瘤发生、发展和破裂的关系，为脑动脉瘤的风险因子评估和介入治疗提供理论依据。

