



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105380598 A

(43) 申请公布日 2016. 03. 09

(21) 申请号 201510602460. 6

(22) 申请日 2015. 07. 22

(30) 优先权数据

62/027347 2014. 07. 22 US

14/801987 2015. 07. 17 US

(71) 申请人 西门子公司

地址 德国慕尼黑

(72) 发明人 F·绍尔 P·沙尔马 M·舍宾格

(74) 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001

代理人 张涛 刘春元

(51) Int. Cl.

A61B 5/00(2006. 01)

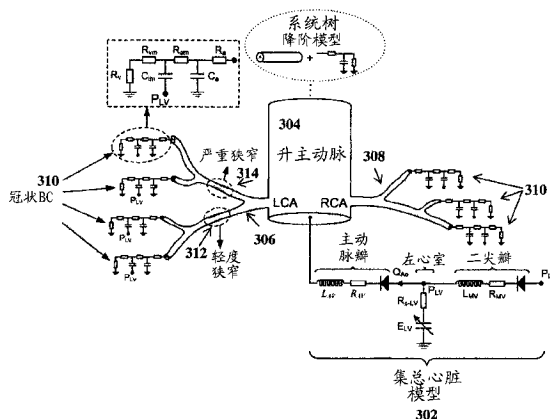
权利要求书5页 说明书9页 附图7页

(54) 发明名称

关于针对动脉狭窄的自动治疗规划的方法和系统

(57) 摘要

公开了用于针对动脉狭窄的处置规划的自动决定支持的方法和系统。从患者的医学图像数据标识患者的冠状动脉中的一组狭窄损伤。针对该组狭窄损伤生成多个处置选项,其中多个处置选项中的每个对应于其中对狭窄损伤中的一个或多个进行支架的支架配置。针对多个处置选项中的每个,计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量。



1. 一种用于规划用于动脉狭窄损伤的处置的方法,包括:

从患者的医学图像数据在患者的冠状动脉中标识一组狭窄损伤;

针对该组狭窄损伤生成多个处置选项,其中多个处置选项中的每个对应于其中对狭窄损伤中的一个或多个进行支架的支架配置;以及

针对多个处置选项中的每个,计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,进一步包括:

基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量,对多个处置选项进行排序。

3. 根据权利要求 2 所述的方法,其中基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量对多个处置选项进行排序包括:

基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量与与多个处置选项中的每个对应的支架配置中的支架的数量,来对多个处置选项进行排序。

4. 根据权利要求 3 所述的方法,其中基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量与与多个处置选项中的每个对应的支架配置中的支架的数量来对多个处置选项进行排序,其中计算包括:

按基于针对该组狭窄损伤计算的预测的血液动力学度量的最大血液流动恢复的顺序对多个处置选项进行排序,其中如果针对具有带有更小数量的支架的支架配置的处置选项计算出的预测的血液动力学度量指示血液流动被足够地恢复,则具有带有更小数量的支架的支架配置的处置选项被排序在具有带有更大数量的支架的支架配置的处置选项前面。

5. 根据权利要求 2 所述的方法,其中基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量对多个处置选项进行排序包括:

在具有其中在预先确定的解剖区域中的狭窄损伤被支架的支架配置的处置选项被惩罚的情况下,基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量,对多个处置选项进行排序。

6. 根据权利要求 1 所述的方法,其中针对多个处置选项的每个,计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量包括:

针对多个处置选项的每个,计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血流储备分数 FFR 值。

7. 根据权利要求 6 所述的方法,其中针对多个处置选项的每个计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血流储备分数 FFR 值包括:

调整针对在对应的支架配置中被支架的狭窄损伤中的一个或多个模拟的压力下降;

利用针对被支架的狭窄损伤中的一个或多个的被调整的压力下降来模拟患者的冠状动脉中的血液流动和压力;以及

基于所模拟的患者的冠状动脉中的血液流动和压力,针对该组狭窄损伤中的每个计算 FFR 值。

8. 根据权利要求 7 所述的方法,其中调整针对在对应的支架配置中被支架的狭窄损伤中的一个或多个模拟的压力下降包括:

将针对在对应的支架配置中被支架的狭窄损伤中的一个或多个模拟的压力下降调整成为 0 的压力下降。

9. 根据权利要求 7 所述的方法,其中调整针对在对应的支架配置中被支架的狭窄损伤中的一个或多个模拟的压力下降包括:

将针对在对应的支架配置中被支架的狭窄损伤中的一个或多个模拟的压力下降调整至表示被支架的一个或多个狭窄损伤的部分打开的预先确定的值。

10. 根据权利要求 1 所述的方法,其中多个处置选项包括与该组狭窄损伤中的一个或多个的每种可能的支架配置对应的相应的处置选项。

11. 根据权利要求 1 所述的方法,进一步包括:

针对多个处置选项中的每个,显示示出计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量的结果的相应的图。

12. 根据权利要求 2 所述的方法,进一步包括:

按照对多个处置选项进行排序的顺序,显示计算从与多个处置选项中的每个对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量的结果的表。

13. 根据权利要求 1 所述的方法,进一步包括:

显示患者的冠状动脉的模型;以及

响应于用户在处置选项的表中选择与处置选项对应的输入,显示与所选择的处置选项对应的支架配置以及从与所选择的处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的所计算的血液动力学度量。

14. 根据权利要求 1 所述的方法,进一步包括:

显示患者的冠状动脉的模型;以及

响应于在患者的冠状动脉的模型上的一个或多个支架位置的用户选择,显示用于与由一个或多个支架位置的用户选择指示的支架配置对应的处置选项的针对该组狭窄损伤计算的血液动力学度量。

15. 根据权利要求 1 所述的方法,其中从患者的医学图像数据在患者的冠状动脉中标识一组狭窄损伤包括:

从医学图像数据提取冠状动脉的患者特异性解剖模型;

使用冠状动脉的患者特异性解剖模型在冠状动脉中检测多个狭窄损伤;

针对多个狭窄损伤中的每个估计血液动力学度量;以及

基于针对多个狭窄损伤中的每个估计的血液动力学度量,从多个狭窄损伤中标识一组血液动力学相关的狭窄损伤。

16. 根据权利要求 15 所述的方法,其中针对多个狭窄损伤中的每个估计血液动力学度量包括:

使用冠状循环的计算模型模拟在冠状动脉中的血液流动和压力;以及

基于在多个狭窄损伤中的每个上的模拟的压力下降,针对多个狭窄损伤中的每个估计血液动力学度量。

17. 根据权利要求 15 所述的方法,其中针对多个狭窄损伤中的每个估计血液动力学度量包括:

针对多个狭窄损伤中的每个估计血流储备分数 FFR 值。

18. 一种用于规划用于动脉狭窄损伤的处置的装置,包括:
用于从患者的医学图像数据在患者的冠状动脉中标识一组狭窄损伤的部件;
用于针对该组狭窄损伤生成多个处置选项的部件,其中多个处置选项中的每个对应于其中狭窄损伤中的一个或多个被进行支架的支架配置;以及
用于针对多个处置选项中的每个来计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量的部件。
19. 根据权利要求 18 所述的装置,进一步包括:
用于基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量来对多个处置选项进行排序的部件。
20. 根据权利要求 19 所述的装置,其中用于基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量来对多个处置选项进行排序的部件包括:
用于基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量和与多个处置选项中的每个对应的支架配置中的支架的数量来对多个处置选项进行排序的部件。
21. 根据权利要求 18 所述的装置,其中用于针对多个处置选项中的每个来计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量的部件包括:
用于针对多个处置选项的每个,计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血流储备分数 FFR 值的部件。
22. 根据权利要求 21 所述的装置,其中用于针对多个处置选项的每个,计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血流储备分数 FFR 值的部件包括:
用于调整针对在对应的支架配置中被支架的狭窄损伤中的一个或多个模拟的压力下降的部件;
用于利用针对被支架的狭窄损伤中的一个或多个的被调整的压力下降来模拟患者的冠状动脉中的血液流动和压力的部件;以及
用于基于所模拟的患者的冠状动脉中的血液流动和压力,针对该组狭窄损伤中的每个计算 FFR 值的部件。
23. 根据权利要求 18 所述的装置,其中多个处置选项包括与该组狭窄损伤中的一个或多个的每个可能的支架配置对应的相应的处置选项。
24. 根据权利要求 18 所述的装置,进一步包括:
用于针对多个处置选项中的每个,显示示出计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量的结果的相应的图的部件。
25. 根据权利要求 19 所述的装置,进一步包括:
用于按照对多个处置选项进行排序的顺序,显示计算从与多个处置选项中的每个对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量的结果的表的部件。
26. 根据权利要求 18 所述的装置,其中用于从患者的医学图像数据在患者的冠状动脉中标识一组狭窄损伤的部件包括:
用于从医学图像数据提取冠状动脉的患者特异性解剖模型的部件;

用于使用冠状动脉的患者特异性解剖模型在冠状动脉中检测多个狭窄损伤的部件；
用于针对多个狭窄损伤中的每个估计血液动力学度量的部件；以及
用于基于针对多个狭窄损伤中的每个估计的血液动力学度量，从多个狭窄损伤中标识一组血液动力学相关的狭窄损伤的部件。

27. 一种存储用于规划用于动脉狭窄损伤的处置的计算机程序指令的非暂态计算机可读介质，所述计算机程序指令在由处理器执行时引起处理器执行包括如下的操作：

从患者的医学图像数据在患者的冠状动脉中标识一组狭窄损伤；

针对该组狭窄损伤生成多个处置选项，其中多个处置选项中的每个对应于其中对狭窄损伤中的一个或多个进行支架的支架配置；以及

针对多个处置选项中的每个，计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量。

28. 根据权利要求 27 所述的非暂态计算机可读介质，其中操作进一步包括：

基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量，对多个处置选项进行排序。

29. 根据权利要求 28 所述的非暂态计算机可读介质，其中基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量对多个处置选项进行排序包括：

基于针对多个处置选项中的每个计算的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量和与多个处置选项中的每个对应的支架配置中的支架的数量，来对多个处置选项进行排序。

30. 根据权利要求 27 所述的非暂态计算机可读介质，其中针对多个处置选项的每个，计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量包括：

针对多个处置选项的每个，计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血流储备分数 FFR 值。

31. 根据权利要求 30 所述的非暂态计算机可读介质，其中针对多个处置选项的每个计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血流储备分数 FFR 值包括：

调整针对在对应的支架配置中被支架的狭窄损伤中的一个或多个模拟的压力下降；

利用针对被支架的狭窄损伤中的一个或多个的被调整的压力下降来模拟患者的冠状动脉中的血液流动和压力；以及

基于所模拟的患者的冠状动脉中的血液流动和压力，针对该组狭窄损伤中的每个计算 FFR 值。

32. 根据权利要求 27 所述的非暂态计算机可读介质，其中多个处置选项包括与该组狭窄损伤中的一个或多个的每个可能的支架配置对应的相应的处置选项。

33. 根据权利要求 27 所述的非暂态计算机可读介质，其中操作进一步包括：

针对多个处置选项中的每个，显示示出计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量的结果的相应的图。

34. 根据权利要求 28 所述的非暂态计算机可读介质，其中操作进一步包括：

按照对多个处置选项进行排序的顺序，显示计算从与多个处置选项中的每个对应的支

架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量的结果的表。

35. 根据权利要求 27 所述的非暂态计算机可读介质,其中操作进一步包括:

显示患者的冠状动脉的模型;以及

响应于用户在处置选项的表中选择与处置选项对应的输入,显示与所选择的处置选项对应的支架配置以及从与所选择的处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的所计算的血液动力学度量。

36. 根据权利要求 27 所述的非暂态计算机可读介质,其中操作进一步包括:

显示患者的冠状动脉的模型;以及

响应于在患者的冠状动脉的模型上的一个或多个支架位置的用户选择,显示用于与由一个或多个支架位置的用户选择指示的支架配置对应的处置选项的针对该组狭窄损伤计算的血液动力学度量。

37. 根据权利要求 27 所述的非暂态计算机可读介质,其中从患者的医学图像数据在患者的冠状动脉中标识一组狭窄损伤包括:

从医学图像数据提取冠状动脉的患者特异性解剖模型;

使用冠状动脉的患者特异性解剖模型在冠状动脉中检测多个狭窄损伤;

针对多个狭窄损伤中的每个估计血液动力学度量;以及

基于针对多个狭窄损伤中的每个估计的血液动力学度量,从多个狭窄损伤中标识一组血液动力学相关的狭窄损伤。

38. 根据权利要求 37 所述的非暂态计算机可读介质,其中针对多个狭窄损伤中的每个估计血液动力学度量包括:

使用冠状循环的计算模型模拟在冠状动脉中的血液流动和压力;以及

基于在多个狭窄损伤中的每个上的模拟的压力下降,针对多个狭窄损伤中的每个估计血液动力学度量。

39. 根据权利要求 37 所述的非暂态计算机可读介质,其中针对多个狭窄损伤中的每个估计血液动力学度量包括:

针对多个狭窄损伤中的每个估计血流储备分数 FFR 值。

关于针对动脉狭窄的自动治疗规划的方法和系统

[0001] 本申请要求 2014 年 7 月 22 日提交的美国临时申请 No. 62/027, 347 的权益, 该申请的公开被通过引用合并于此。

背景技术

[0002] 本发明涉及用于动脉狭窄的处置规划, 并且更特别地, 涉及基于患者的医学图像数据来选择对哪些狭窄或损伤进行支架。

[0003] 心血管疾病 (CVD) 是全球范围内最主要的死亡原因。在各种 CVD 中, 冠状动脉疾病 (CAD) 占了那些死亡中的几乎 50%。血管的局部变窄部或狭窄代表心血管疾病的重要原因。这样的狭窄典型地会随时间的经过而逐渐发展, 并且可能在动脉循环的不同部分 (诸如冠状动脉、肾动脉、外周动脉、颈动脉、脑动脉等) 中发展。这样的局部变窄部也可能是先天性缺陷的结果。一种被广泛地用于处置动脉狭窄的治疗是进行支架, 即, 在动脉中放置金属或聚合物支架以打开管腔, 并且因此促进血液流动。当处理冠状动脉狭窄时, 支架治疗被提及为经皮冠状动脉介入术 (PCI)。

[0004] 近些年来, 关于用于对人类心血管系统中的血液流动进行建模的计算方法, 已经有相当多的关注。当与从医学图像提取的患者特异性解剖模型结合使用时, 这样的计算技术可以提供对心血管系统的结构和功能的重要理解。

发明内容

[0005] 本发明提供了用于针对基于医学图像数据的用于动脉狭窄或损伤的治疗规划的自动决定支持的方法和系统。本发明的实施例获取患者心脏的医学图像数据, 对医学图像数据进行分割并且提取冠状动脉的几何模型, 并且利用计算技术计算用于该患者的冠状动脉中的各种狭窄的血液动力学量。本发明的实施例标识一组可能的处置选项, 每个处置选项对应于覆盖一个单个或多个狭窄的支架的可能的组合, 并且针对处置选项中的每个计算出计算的血液动力学量。本发明的实施例针对处置选项中的每个生成临床相关的优良指数并且对用户呈现结果以提供用于选择处置选项中的一个的决定支持。

[0006] 在本发明的一个实施例中, 从患者的医学图像数据来标识患者的冠状动脉中的一组狭窄损伤。针对该组狭窄损伤生成多个处置选项, 其中多个处置选项中的每个对应于其中对一个或多个狭窄损伤进行支架的支架配置。针对多个处置选项中的每个, 计算从与该处置选项对应的支架配置得到的针对该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量。

[0007] 通过参照下面的详细描述和随附图, 本发明的这些和其它优点对于本领域技术人员来说将是显而易见的。

附图说明

[0008] 图 1 图解根据本发明的实施例的用于患者的多个冠状动脉狭窄损伤的处置规划的方法;

[0009] 图 2 图解用于生成冠状血管树的患者特异性解剖模型的示例性结果;

[0010] 图 3 图解根据本发明的实施例的冠状循环的示例性多尺度计算模型。

[0011] 图 4 到图 10 图解针对不同的支架配置的用于一组连续狭窄损伤的预测的 FFR 值；以及

[0012] 图 11 是能够实现本发明的计算机的高级框图。

详细描述

[0013] 本发明涉及用于针对动脉狭窄的处置规划的自动决定支持的方法和系统。在此描述了本发明的实施例，以给出用于针对动脉狭窄的处置规划的方法的视觉理解。数字图像通常由一个或多个对象（或形状）的数字表示组成。对象的数字表示在此通常被按照对象进行标识和操作来描述。这样的操作是在计算机系统的存储器或其它电路/硬件中完成的虚拟操作。相应地，要理解的是，本发明的实施例可以在计算机系统中使用被存储在该计算机系统的数据来执行。

[0014] 患者心脏的医学图像数据，诸如计算机断层扫描（CT）数据可以被获取并且被用于提取支持在用于冠状动脉狭窄的不同处置选项之间的选取的定量信息。该医学图像数据可以被分割以提取患者的冠状动脉的模型。例如使用计算流体力学（CFD）或者其它计算方法（诸如基于机器学习的方法），可以无创地计算跨多个狭窄损伤的压力下降值，并且这些值可以被用于计算血液动力学量（诸如血流储备分数（FFR）），其关于是否需要采用对一个或多个损伤进行支架的形式的治疗来支持最初的临床决定。然后想要的是为临床医生提供支持对有多少损伤要进行支架以及对哪些损伤进行支架的选取的进一步的定量信息。当对一个损伤进行支架改变了相应的动脉中的血液流动（以及在更小得多的程度上，其它主冠状动脉中的血液流动）并且因此改变了跨位于同一冠状动脉中的上游或下游的其它损伤的压力下降值时，想要的是生成将自动地建议用于处置患者的狭窄损伤的最佳支架配置的定量信息。

[0015] 在此描述本发明的实施例，以提供对于用于对冠状动脉狭窄（损伤）进行支架的经皮冠状动脉介入术（PCI）处置规划的自动决定支持。然而，要理解的是在此描述的方法也可以类似地应用于用于对其它类型的动脉（诸如肾动脉、外周动脉、颈动脉、脑动脉等）中的狭窄损伤进行支架的处置规划。在此描述的方法也可以应用于循环系统的其它部分，诸如用于静脉循环或者肺循环。本发明的实施例也可以应用于用于空气道的处置规划。

[0016] 图 1 图解根据本发明实施例的用于患者的多个冠状动脉狭窄损伤的处置规划的方法。参照图 1，在步骤 102，接收患者的医学图像数据。在执行支架（诸如用于冠状动脉狭窄的 PCI）之前获取医学图像数据。能够接收来自一个或多个成像模态的医学图像数据。例如，医学图像数据可以包括：计算机断层扫描（CT），Dyna CT，磁共振（MR），血管造影，超声，单光子发射计算机断层扫描（SPECT）和任何其它类型的医学成像模态。医学图像数据可以是 2D、3D、或者 4D（3D 加时间）的医学图像数据。医学图像数据可以直接从一个或多个图像获取设备（诸如 CT 扫描仪，MR 扫描仪，血管造影扫描仪，超声设备等）接收，或者医学图像数据可以通过加载先前存储的用于患者的医学图像数据而被接收。

[0017] 在有利的实施例中，在 CT 扫描仪上获取 3D 冠状 CT 血管造影（CTA）图像。CTA 图像确保使用注入到患者内的对比剂来对冠状血管系统（包括包含狭窄的（多个）血管）充分地成像。在该阶段，通过交互地在图像上查看损伤（狭窄），可以对临床医生提供标识感兴趣的损伤（狭窄）的选项。该步骤也能够在从图像数据提取的患者特异性解剖模型上执

行（步骤 104）。替换地，可以使用用于冠状动脉狭窄的自动检测的算法而在图像数据中自动地检测狭窄，诸如在美国公开专利申请 No. 2011/0224542 中描述的用于冠状动脉狭窄的自动检测的方法，该申请被通过引用而合并于此。除了医学图像数据之外，还可以获取其它无创临床测量，诸如患者的心率以及心脏收缩和心脏舒张的血压。这些无创临床测量可以被用于建立用于 CFD 计算的边界条件。

[0018] 在步骤 104，从医学图像数据中提取冠状动脉的患者特异性解剖模型。该患者特异性解剖模型可以是患者的完整冠状动脉树的任何部分的患者特异性解剖模型。为了生成冠状动脉树的患者特异性解剖模型，可以使用自动冠状动脉中心线提取算法在 3D 医学图像数据中分割冠状动脉。例如，可以使用所描述的美国公开专利申请 No. 2010/0067760 的方法在 CT 体积中分割冠状动脉，该申请被通过引用而合并于此。一旦提取了冠状动脉中心线树，就可以在中心线树的每个点处生成横截面轮廓。在每个中心线点处的横截面轮廓给出在冠状动脉中的那个点处的对应的横截面面积测量。然后针对被分割的冠状动脉来生成几何表面模型。例如，在美国专利 No. 7, 860, 290 和美国专利 No. 7, 953, 266 中描述了用于冠状动脉的解剖模型的方法，两个专利都被通过引用而合并于此。除了冠状动脉之外，患者特异性解剖模型还可以连同主动脉的邻近部分一起包括主动脉根部。也可以使用相似的算法提取每个狭窄的详细 3D 模型，其包括邻近血管直径和面积、远端血管直径和面积、最小管腔直径和面积以及狭窄长度的量化。

[0019] 图 2 图解用于生成冠状血管树的患者特异性解剖模型的示例性结果。图 2 的图像 200 示出冠状 CTA 数据。图像 210 示出从 CTA 数据提取的中心线树 212。图像 220 示出在中心线树 212 的每个点处提取的横截面轮廓 222。图像 230 示出冠状动脉、主动脉根部和主动脉邻近部分的 2D 表面网格 232。要理解的是患者的冠状树的解剖模型能够被输出并且被显示在例如计算机系统的显示屏上。

[0020] 以上描述的解剖模型任务可以被自动地执行或者可以由用户驱动，由此允许用户（临床医生）交互地对解剖模型作出改变，以分析这样的改变对后续的 FFR 计算的影响。除了冠状血管树以外，也可以在医学图像数据中对心肌进行分割（自动地或手动地），以确定对左心室质量的估计，在一种可能的实现中，这可以被用于针对患者估计绝对静止流，绝对静止流被用于计算用于计算的血液流动和压力模拟的边界条件。替换地，静止流也可以基于被分割的冠状树的总体积或者根据不同的冠状血管的出口半径来计算。在示例性实施例中，从图像数据自动生成的心脏的患者特异性解剖模型可以被用于这一目的。解剖心脏模型是多组件模型，具有多个心脏组件，包括四个腔室（左心室、左心房、右心室、和右心房）。解剖心脏模型也可以包括诸如心脏瓣膜（主动脉瓣膜、二尖瓣膜、三尖瓣膜和肺瓣膜）以及主动脉的组件。心脏的这样的综合模型被用于捕获很多种的形态学的、功能性的和病理学上的变化。一种模块化的和层级化的方法可以被用于减少解剖复杂性并且促进个体解剖的有效的并且灵活的估计。可以通过例如使用边缘空间学习 (MSL) 生成每个心脏组件的个体模型、并且然后通过建立网格点对应来整合心脏组件模型，从而生成 4D 解剖心脏模型。关于这样的 4D 患者特异性心脏模型的生成的附加细节被描述在美国公开专利申请 No. 2012/0022843 中，该申请被通过对其整体进行引用而被合并于此。

[0021] 在步骤 106，在冠状动脉中标识多个血液动力学相关的狭窄损伤。为了标识血液动力学相关的狭窄损伤，可以自动地在医学图像数据或者冠状动脉的患者特异性解剖模型中

检测所有损伤,并且然后可以针对每个被检测到的损伤计算血液动力学度量,诸如FFR。通过从医学图像数据执行冠状中心线提取、沿着中心线计算截面中的血管直径以及对直径序列进行比较,从而能够自动地确定冠状树中的狭窄位置。在直径在远端方向上收缩并且然后再次增加的任何地方检测出狭窄(损伤)。关于用于冠状动脉狭窄的自动检测的方法的附加细节被描述在美国公开专利申请 No. 2011/0224542 中,其被通过引用而合并于此。

[0022] 在示例性实施例中,通过使用冠状循环的计算模型模拟冠状动脉的患者特异性解剖模型中的血液流动和压力,从而能够针对每个所检测到的狭窄位置自动地计算FFR。使用CFD 计算或者任何其它标准数值技术,诸如有限元法、有限差分法、有限体积法、边界元素法、嵌入边界法、浸入边界法、栅格玻尔兹曼(Boltzmann)法等,可以在解剖模型中模拟血液流动和压力。根据本发明的有利实施例,冠状循环的多尺度计算模型可以被用于进行计算,计算在冠状动脉的预支架解剖模型中随着一系列时间步骤的经过的血液流动和压力。例如,可以针对与完整的心动周期或者多个心动周期对应的多个时间步骤执行模拟。在可能的实现中,使用压力下降模型,冠状循环计算模型可以对冠状动脉中的跨狭窄或者其它变窄部(例如,钙化、血栓、分叉等)的压力损失进行建模。要理解的是,贯穿本公开,术语“狭窄”和“损伤”一般被用于提及血管中的任何类型的变窄部。用于特定的狭窄的压力下降模型计算由于血管的变窄部所致的在狭窄上的压力下降,而不在血管的该区域中执行明确的流动计算。

[0023] 图3图解根据本发明的实施例的冠状循环的示例性多尺度计算模型。如图3中示出那样,心脏模型302被耦合在主动脉根部。心脏模型302可以被实现为通过患者特异性数据参数化的集总模型,如图3中示出那样,或者可以被实现为全3D心脏模型。大的动脉,诸如连同由主动脉供给的大的动脉(例如,锁骨下动脉、头臂动脉、颈总动脉等)的主动脉304、左冠状动脉(LCA)306和右冠状动脉(RCA)308,可以被表示为1D血液流动模型或者全3D模型。更进一步地,半解析循环模型可以被分离地使用于特定的动脉区段,或者被嵌入在1D或者3D模型内。血管壁可以被建模为纯弹性的或者粘弹性的材料。壁性质可以通过对于所测量数据的经验关系拟合来确定或者基于壁顺应性的患者特异性估计来确定。在图3的冠状动脉循环模型中,通过集总参数模型310来模拟全部微血管床,集总参数模型计及被应用于血液流动的阻力和远端血管的顺应性。通过这样的集总参数模型310对冠状血管床进行建模,这样的集总参数模型310在它们考虑心肌收缩对流动波形的影响的意义上适配于冠状循环。狭窄区段312和314(即,血管中的其中检测到狭窄或变窄部的区域)被示出在冠状动脉循环的模型中。狭窄区段312和314不能使用1D血液流动模型进行模拟,因为在横截面区域中存在高的变化并且狭窄的形状影响血液流动行为并且尤其是穿过狭窄的压力下降,穿过狭窄的压力下降在这样的狭窄的功能重要性的评估中起主要的作用。根据本发明的有利实施例,降阶(如相比于全3D模型)压力下降模型可以被用于每个狭窄区段312和314。关于冠状循环的多尺度计算模型以及计算用于血液流动和压力计算的静止状态和充血状态边界条件的附加的细节,在题为“Method and System for Multi-Scale Anatomical and Functional Modeling of Coronary Circulation”的美国专利公开 No. 2013/0132054、题为“Method and System for Non-Invasive Functional Assessment of Coronary Artery Stenosis”的美国专利公开 No. 2013/0246034 和题为“Method and System for Non-invasive Functional Assessment of Coronary Artery Stenosis”

的美国专利公开 No. 2014/00058715, 以及题为“Method and System for Non-invasive Computation of Hemodynamic Indices for Coronary Artery Stenosis”的美国申请 No. 14/689, 083 中进行了描述, 它们被通过在其整体上进行引用而合并于此。

[0024] 如上面描述的那样, 压力下降模型可以被用于计算在冠状动脉的预支架解剖模型中的跨每个狭窄区域 (例如图 3 中的 312 和 314) 的压力下降, 而不用在狭窄区域中执行明确的流动计算。各种压力下降模型可以被使用。例如, 用于狭窄的压力下降模型可以是全分析模型或者可以是包括分析和经验项的组合的模型。包括分析和经验项的组合的压力下降模型在此被提及为“半经验压力下降模型”。其它的压力下降模型也可以被使用, 诸如基于机器学习的压力下降模型, 使用机器学习算法来训练该压力下降模型, 以把从狭窄得出的解剖和流动特征映射到与狭窄关联的压力下降。

[0025] 在另一种可能的实施例中, 血液动力学度量, 诸如例如 FFR, 可以基于从医学图像数据和使用基于机器学习的技术针对患者获取的患者特异性临床测量 (如心率、血压等) 提取的患者特异性测量而被自动地计算。用于计算 FFR 的这样的基于机器学习的技术的细节被描述在题为“Method and System for Machine Learning Based Assessment of Fractional Flow Reserve”的美国公开专利申请 2015/0112182 中, 其被通过在其整体上进行引用而合并于此。

[0026] 一旦针对每个狭窄损伤计算了 FFR 值 (或者其它血液动力学度量), 就将 FFR 值与阈值进行比较以确定狭窄损伤是否是血液动力学相关的。例如, 0.8 的阈值可以被用于 FFR, 但是本发明不限制于此。如果在特定狭窄损伤处的 FFR 值比阈值小 (例如 < 0.8), 则狭窄损伤是血液动力学相关的并且被包括在多个血液动力学相关的狭窄损伤中以考虑进行支架。此外, 对于具有小于阈值的 FFR 值的每个狭窄区域而言, 冠状动脉树中的血液流动路径中的全部在前的狭窄损伤 (即, 在邻近的方向上) 也可以被标识为血液动力学相关的狭窄损伤以考虑进行支架。

[0027] 返回到图 1, 在步骤 108, 生成用于对狭窄损伤进行支架的一组处置选项。根据有利的实现, 所述的一组处置选项可以被自动地生成。与多个支架组合对应的多个处置选项可以针对冠状动脉树中的特定血液流动路径中的每组血液动力学相关的狭窄损伤而生成, 其中, 每个支架方案对应于对血液动力学相关的狭窄损伤的子组进行支架。一组支架组合可以包括对应于对每个单个的损伤进行支架的选项, 和对应于对每个可能的多目标狭窄区域的组合进行支架的选项, 直到对应于对所有目标狭窄区域进行支架的选项。在可能的实施例中, 与不同的支架特征 (例如, 植入尺寸和 / 或植入类型等) 对应的多个处置选项可以针对每一可能的支架组合而生成。

[0028] 针对位于冠状动脉树中的特定血液流动路径中的一组损伤生成和评价 (步骤 110) 多个支架选项。在那些狭窄损伤的一个中放置支架影响血液流动通过, 并且因此影响跨该损伤的下游和上游的其它损伤的压力下降。一个可能的治疗目标可以是利用最小数量的支架来使血液流动恢复至足够的水平 (例如, 大于阈值值的 FFR)。位于冠状树的分离的分支中的损伤的支架被独立地处置, 因为这样的损伤具有显著地更小的影响。因此, 步骤 108-114 可以针对冠状动脉中的每个分支或血液流动路径中的每组损伤来独立地执行。

[0029] 在由于两个损伤“串联地”彼此为互为上游 / 下游的情况下, 支架选项是: (1) 对损伤 #1 支架; (2) 对损伤 #2 支架; (3) 对损伤 #1 和 #2 两者支架; 和 (4) 不对任何损伤支架。

对所有损伤支架（选项 3）将恢复最大的血液流动。除了非常病态的案例，这种选项可以被认为是有疗效的，并且在可能的实现中，不要求通过模拟进行额外的确认。用以预测 FFR 值的对支架选项的评价被执行，以确定仅对连续的损伤的子组进行支架对于恢复血液流动以使得预测的 FFR 值在阈值之上来说是否是足够的。对于两个损伤的情况而言，步骤 110 中的评价可以自动地确定仅对损伤 #1 或者仅对损伤 #2 进行支架是否是足够的，并且如果支架足够恢复血液流动，则优选的要进行支架的损伤是损伤 #1 还是损伤 #2。在可能的实现中，我们三个支架选项 (1)-(3)，其中的两个需要被评价。可以通过在没有任何支架的情况下评估在最远端的损伤之后（在该情况下，在损伤 #2 的下游）的 FFR 值来评价选项 (4)。如果 FFR 值大于阈值（例如 > 0.8 ），则不需要对任一损伤进行支架。

[0030] 在三个或更多的连续损伤的情况下，更多的支架选项被生成并被评价。例如，在三个连续损伤的情况下。特别是，其中损伤中的单个一个被评价的所有支架选项，以及其中损伤中的两个的可能的组合被评价的所有支架选项。再次地，在可能的实现中，“对所有损伤进行支架”选项不会被评价，并且针对其中对损伤的子组进行支架的支架选项都不会恢复足够的血液流动的情况而被作为自然的后备计划 (fall back) 接受。

[0031] 在步骤 110，自动地针对处置选项中的每个计算预测的血液动力学度量。在有利的实现中，针对处置选项中的每个，计算用于每个狭窄损伤的预测的 FFR 值。使用 FFR 作为血液动力学度量来描述图 1 的方法。然而，该方法不限制于此，并且也可以使用诸如瞬时无波型比率 (iFR) 和静止 Pd/Pa 的其它血液动力学度量。在可能的实施例中，通过调整跨针对特定的处置选项的（多个）被支架的损伤的压力下降并且然后针对其余的血管树执行计算的流体动力学模拟，来计算针对该处置选项的预测的 FFR 值。例如，针对（多个）被支架的损伤的压力下降可以被设置为 0 或者可以被设置为小的值以计及其中在支架的情况下狭窄可能不会被完全打开的情况。这样的小的值可以是预先确定的值，诸如从过去的治疗的结果得出的值，或者可以基于对特定的狭窄的支架将有多成功的预测来估计这样的小的值。例如，基于机器学习的方法可以被用于检测在狭窄损伤处的钙化，并且可以基于检测到的钙化的量来估计支架将有多成功的预测。在另一个可能的实现中，可以通过使用 2015 年 5 月 5 日提交的题为“Method and System for Prediction of Post-Stenting Hemodynamic Metrics for Treatment Planning of Arterial Stenosis”的美国专利申请 No. 14/704, 233（其被通过在其整体上进行引用而被合并于此）中描述的方法调整压力下降模型，从而调整（多个）被支架的损伤的压力下降。一旦针对（多个）被支架的损伤调整了压力下降，就执行血液流动模拟，并且基于模拟的血液流动和压力来针对每个狭窄损伤计算 FFR。可以使用如上面有关图 3 描述的冠状循环的计算模型，使用 CFD 来进行执行血液流动模拟。

[0032] FFR 被限定为狭窄血管中的最大血液流动与正常血管中的最大血液流动的比，并且被用于表征狭窄的严重性。可以通过计算远离狭窄的时间平均压力 (Pd) 关于在充血状态下的主动脉中的平均压力 (Pa) 的比率来针对狭窄对 FFR 进行近似。相应地，在有利的实施例中，吹流模拟模拟了充血血液流动，并且针对每个狭窄计算的的压力下降可以在一个心搏周期上进行平均，并且随后用于确定针对每个狭窄的预测的 FFR 值。特别是，FFR 可以被计算为 $(Pa - \Delta P) / Pa$ ，其中 Pa 是主动脉压力，并且 ΔP 是狭窄上的压力下降。主动脉压力可以被假定为处于布居平均值或者可以被确定为无创获取的心脏收缩和舒张压力以及心率

的函数。

[0033] 在另一个实施例中,替代调整用于(多个)被支架的损伤的压力下降,冠状动脉的患者特异性解剖模型可以被自动地或者交互地调整以包括(多个)被支架的损伤的 3D 几何模型以及虚拟支架。例如,可以通过将狭窄区域扩宽为健康的血管半径,或者如果支架没有将血管完全打开则通过将解剖模型扩宽为健康血管半径的预先确定的比例(例如 90%),来将支架的影响应用于解剖模型。然后可以使用修改的冠状动脉解剖模型和基于模拟计算的 FFR 值来执行 CFD 模拟。

[0034] 在另一个可能的实施例中,可以通过针对(多个)被支架的损伤调整患者特异性测量(例如,半径测量)以反映因为虚拟支架所致的完全或部分的打开并且然后使用基于机器学习的技术基于被调整的患者特异性测量计算 FFR 值,从而针对每个处置选项计算预测的 FFR 值。用于计算 FFR 的这样的基于机器学习的技术的细节在题为“Method and System for Machine Learning Based Assessment of Fractional Flow Reserve”的美国公开专利申请 2015/0112182 中被描述,该申请被通过在其整体上进行引用而合并于此。

[0035] 在步骤 112,基于针对每个处置选项计算的预测的血液动力学度量来自动地对处置选项排序。在有利的实施例中,排序基于针对每个处置选项的损伤的预测的 FFR 值以及在每个处置选项中使用支架的数量。例如,处置选项可以按最大血液流动恢复(如按损伤的 FFR 值所度量的)的顺序来排序,其中如果具有更小数量的支架的选项造成比针对所有损伤的阈值更大的预测的 FFR 值,具有更小数量的支架的选项被排序在具有更多数量支架的选项的前面。如果可以部署更少数量的支架就恢复足够的血液流动,则这可以节省金钱并且减少与附加的不必要的支架关联的风险。一些损伤可能难以或者甚至不可能进行支架,通常如针对左冠状动脉中的狭窄或者心门狭窄的情况。如果可以通过对所有其它损伤中的一些进行支架来足够地恢复血液流动,则支架是可行的治疗选项,然而否则冠状搭桥手术可能是要的。处置选项的排序也可以考虑实现上的困难或容易。例如,左冠状动脉短,并且因此难以进行支架。即使将对左冠状动脉进行支架得到最好的血液流动,临床医生也可能因为难以对左冠状动脉进行支架而决定执行冠状搭桥操作。然而,如果对左冠状动脉下游的远端损伤进行支架能够足够地恢复血液流动(例如,FFR 值大于阈值),则该选项可能会是优选的临床选项,即使最大血液流动恢复小于其中对左冠状动脉进行支架的选项。相应地,其中对特定的解剖区域(诸如左冠状动脉)中的损伤进行支架的处置选项可能在排序时受惩罚。

[0036] 在步骤 114,显示针对处置选项的预测结果。例如,针对用于一组损伤的处置选项中的每个,可以生成指示特定的处置选项的优点的一个或多个临床相关的图。这样的图可以示出跨各个狭窄损伤的各个压力下降和/或 FFR 值,和/或跨一个路径中的所有损伤的复合压力下降以及对应的 FFR 值。这些图可以在支持用户选择支架选项中的一个而作出治疗决定的程度上被呈现给用户。例如,被排序为最高的处置选项或者被排序为前 n(如 3)的处置选项可以被显示为被推荐的支架组合。可以显示按排序的顺序显示出支架配置的用于各种支架配置的结果的表。这可以包括或者可以不包括“对所有进行支架”的配置。在可能的实现中,可以对结果进行颜色编码以使得导致足够的血液流动恢复(例如,大于阈值值的 FFR 值)的支架配置被以一种颜色显示,并且不造成足够的血液流动恢复的支架配置被以另一种颜色显示。可以针对每一处置选项生成在 3D 模型或者冠状树的简化的示

图上示出支架位置 / 配置的图。针对各种损伤的压力下降和 / 或 FFR 值可以被包括在该图中。针对支架配置中的每个的相应的各图可以被并排显示或者可以只显示造成足够的血液流动恢复的支架配置。针对各种处置选项的图或优点可以被自动地生成并且被呈现在结果的概览中以用于决定支持。可以生成将处置选项的全部或子组连同补充信息（诸如对应于处置选项的图像）一起进行总结的临床报告。

[0037] 在可能的实施例中，结果可以通过显示冠状血管树的放大的模型（示出真实的患者特异性几何形状或简化的示图）来被显示，结果可以被动画化以使得响应于来自可能的处置选项的表的表输入的用户选择，对应的支架配置和 FFR/ 压力下降结果被“根据要求”显示在冠状血管树的模型中。还可能的是用户能够在所显示的冠状血管树的模型上选择位置，以在那些位置处放置支架，并且对应于由用户选择的处置场景的压力下降和 / 或 FFR 值可以被显示在模型上或者在结果的表中被高亮表示。在这些实施例中，用于所有处置选项的结果可以被自动地计算并且被存储，并且然后响应于用户选择而“根据要求”被显示给用户。在这种情况下，图 1 的方法可以被划分成自动 / 离线计算和对于用户的交互 / 在线呈现以用于回顾和决定支持。替换地，利用快速的计算方法，诸如基于机器学习的实现，“根据要求”的结果可以不要求预计算并且结果可以被根据要求来计算。

[0038] 图 4 到图 10 图解针对不同的支架配置的用于在下左前降支 (LAD) 动脉中的一组连续狭窄损伤（狭窄 1, 狭窄 2, 和狭窄 3）的预测的 FFR 值。图 4 图解从其中仅对狭窄 1 进行支架的支架配置得到的预测的 FFR 值。图 5 图解得自其中仅对狭窄 2 进行支架的支架配置的预测的 FFR 值。图 6 图解从其中仅对狭窄 3 进行支架的支架配置得到的预测的 FFR 值。图 7 图解从其中对狭窄 1 和狭窄 2 进行支架的支架配置得到的预测的 FFR 值。图 8 图解从其中对狭窄 1 和狭窄 3 进行支架的支架配置得到的预测的 FFR 值。图 9 图解从其中对狭窄 2 和狭窄 3 进行支架的支架配置得到的预测的 FFR 值。图 10 图解从其中对狭窄 1、狭窄 2 和狭窄 3 全部进行支架的支架配置得到的预测的 FFR 值。

[0039] 上面描述的用于针对用于动脉狭窄的治疗规划的自动决定支持的方法可以在使用熟知的计算机处理器、存储器单元、存储设备、计算机软件以及其它组件的计算机上实现。图 11 中图解了这样的计算机的高级框图。计算机 1102 包含处理器 1104, 其通过执行限定这样的操作的计算机程序指令来控制计算机 1102 的整体操作。计算机程序指令可以被存储在存储设备 1112 (例如, 磁盘) 中, 并且当想要执行计算机程序指令时被加载到存储器 1110 中。因此, 图 1 的方法的步骤可以由存储在存储器 1110 和 / 或存储部 1112 中的计算机程序指令限定, 并且由执行计算机程序指令的处理器 1104 控制。图像获取设备 1120, 诸如 CT 扫描设备、MR 扫描设备、超声设备等, 可以被连接到计算机 1102 以向计算机 1102 输入图像数据。可能的是将图像获取设备 1120 和计算机 1102 实现为一个设备。还可能的是图像获取设备 1120 和计算机 1102 通过网络无线地通信。在可能的实施例中, 计算机 1102 可以关于图像获取设备 1120 被远程地定位, 并且方法步骤被执行为服务器或基于云的服务的一部分。计算机 1102 还包括一个或多个网络接口 1106 以用于经由网络与其它设备进行通信。计算机 1102 还包括使得用户能够与计算机 1102 进行交互的其它输入 / 输出设备 1108 (例如, 示出器, 键盘, 鼠标, 扬声器, 按钮等)。本领域技术人员将认识到, 实际的计算机的实现也可以包含其它组件, 以及认识到图 11 是用于说明性目的的对这样的计算机的组件中的一些的高级表示。

[0040] 上面描述的用于医学图像合成的方法可以使用以客户机-服务器关系进行操作的计算机来实现。典型地,在这样的系统中,客户机计算机距服务器计算机远程地定位,并且经由网络进行交互。客户机-服务器关系可以由在相应的客户机和服务器计算机上运行的计算机程序来限定和控制。

[0041] 上面描述的用于医学图像合成的方法可以在基于网络的云计算系统中实现。在这样的基于网络的云计算系统中,被连接到网络的服务器或者另一个处理器经由网络与一个或多个客户机计算机进行通信。客户机计算机例如可以经由驻留并且操作于客户机计算机上的网络浏览器应用来与服务器进行通信。客户机计算机可以在服务器上存储数据,并且经由网络访问数据。客户机计算机可以经由网络向服务器传输对于数据的请求或者对于在线服务的请求。服务器可以执行所请求的服务,并且向(多个)客户机计算机提供数据。服务器也可以传输被适配为引起客户机计算机执行指定的功能(例如执行计算)的数据,以将指定的数据显示在屏幕上等。例如,服务器可以传输被适配为引起客户机计算机执行在此描述的一个或多个方法步骤(包括图1的步骤中的一个或多个)的请求。在此描述的方法的特定步骤(包括图1的步骤中的一个或多个)可以在基于网络的云计算系统中由服务器或者由另一个处理器来执行。在此描述的方法的特步骤(包括图1的步骤中的一个或多个)可以在基于网络的云计算系统中由客户机计算机来执行。在此描述的方法的步骤(包括图1的步骤中的一个或多个)可以在基于网络的云计算系统中由服务器和/或由客户机计算机以任何组合来执行。

[0042] 前面的详细描述要被理解为在每一方面是说明性的以及示例性的,但并非是局限的,并且在此公开的本发明的范围不由详细描述来确定,而是相反地由如根据专利法所准许的完整宽度解释的权利要求来确定。要理解的是,在此示出和描述的实施例仅仅是本发明的原理的说明,并且在不脱离本发明的范围和精神的情况下可以由本领域技术人员来实现各种修改。本领域技术人员可以在不脱离本发明的范围和精神的情况下实现各种其他的特征组合。

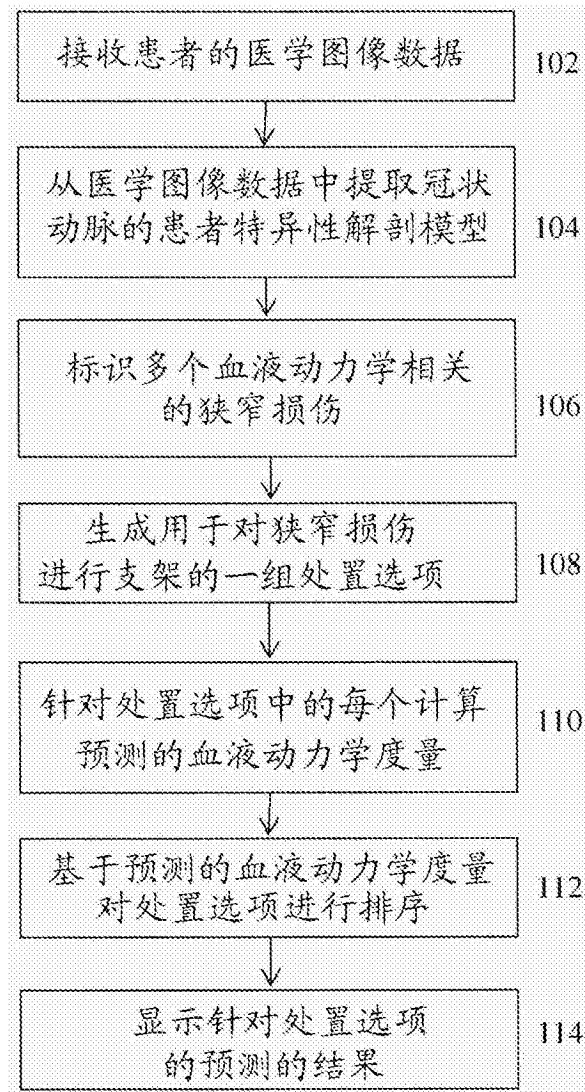


图 1

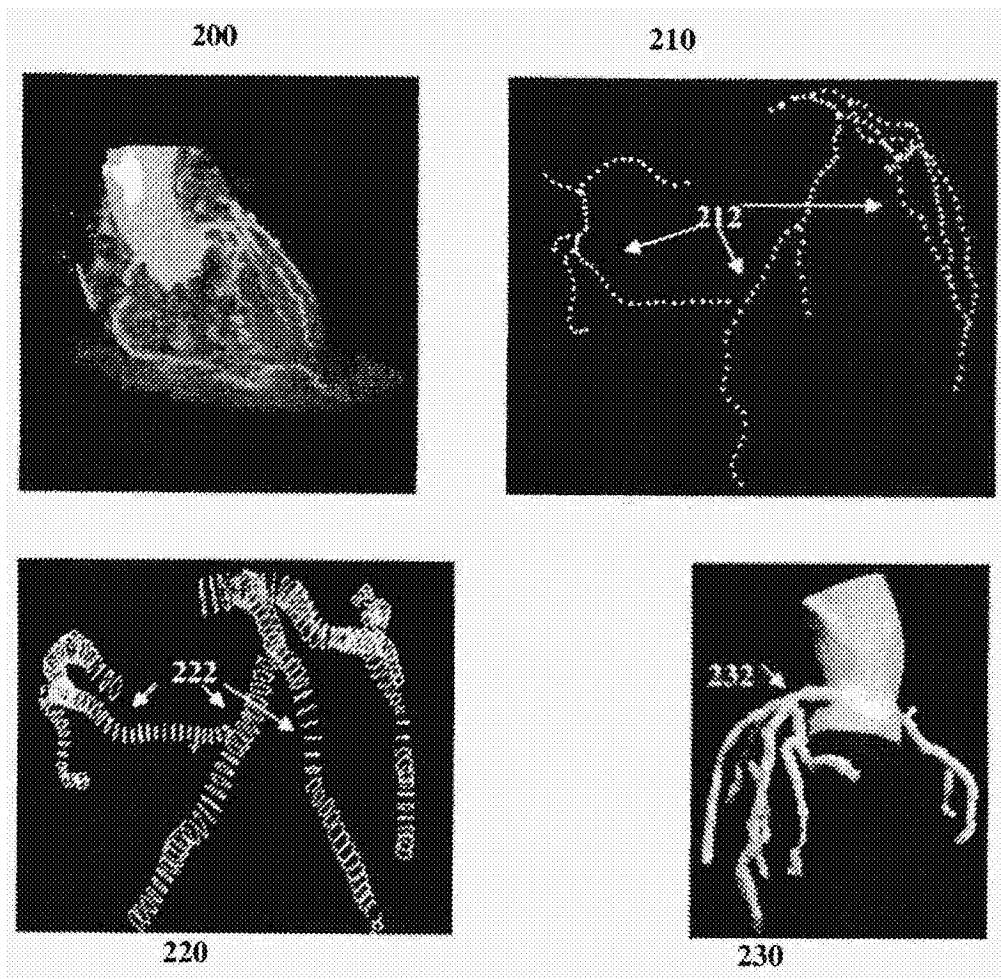


图 2

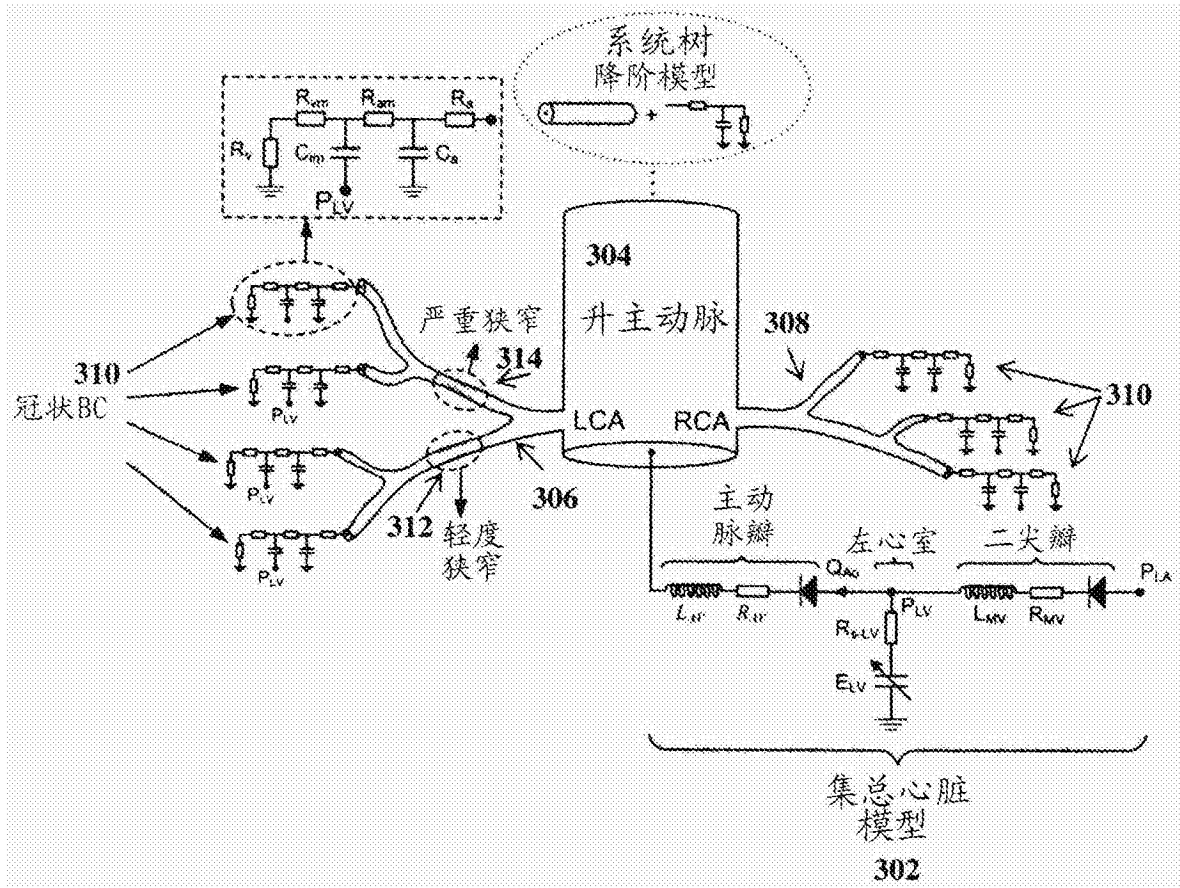


图 3

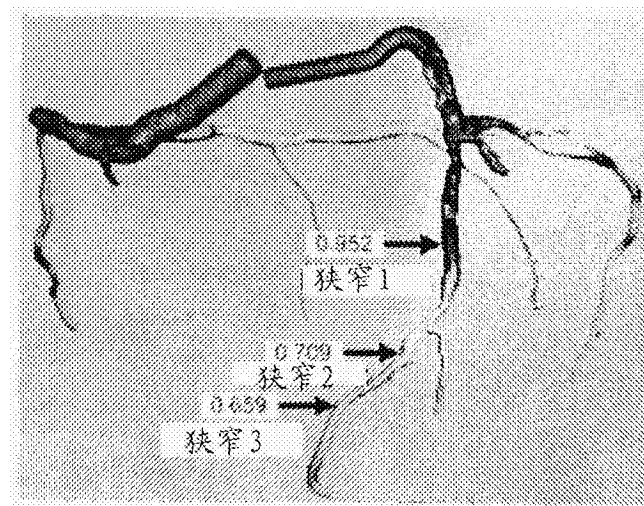


图 4

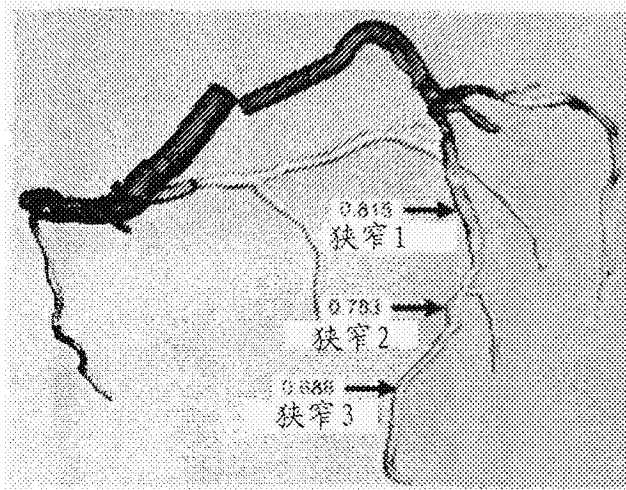


图 5

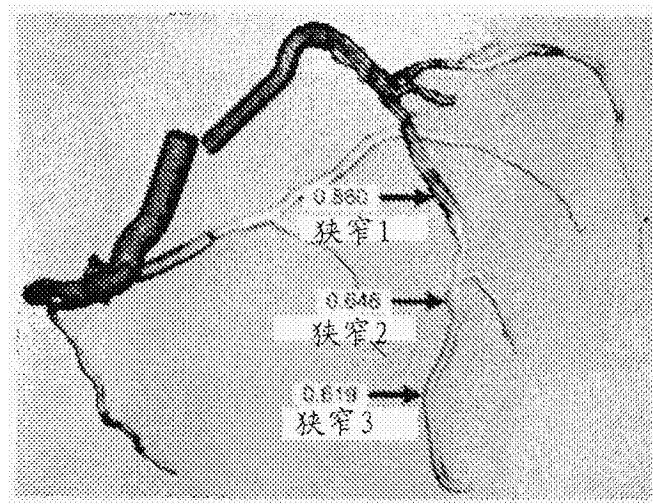


图 6

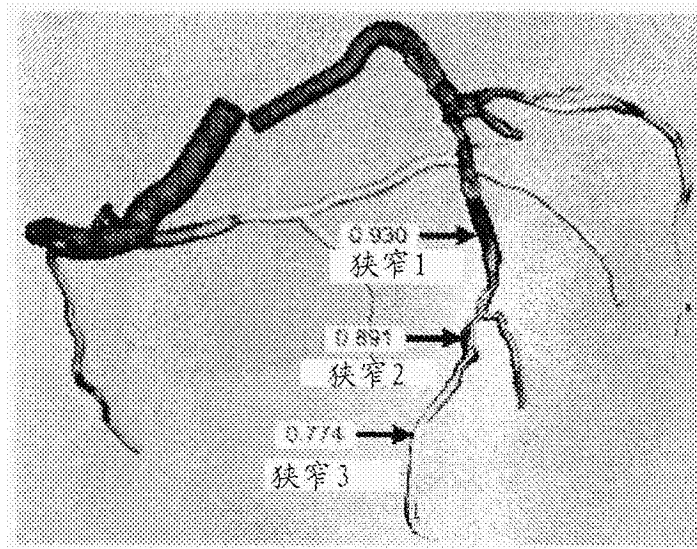


图 7

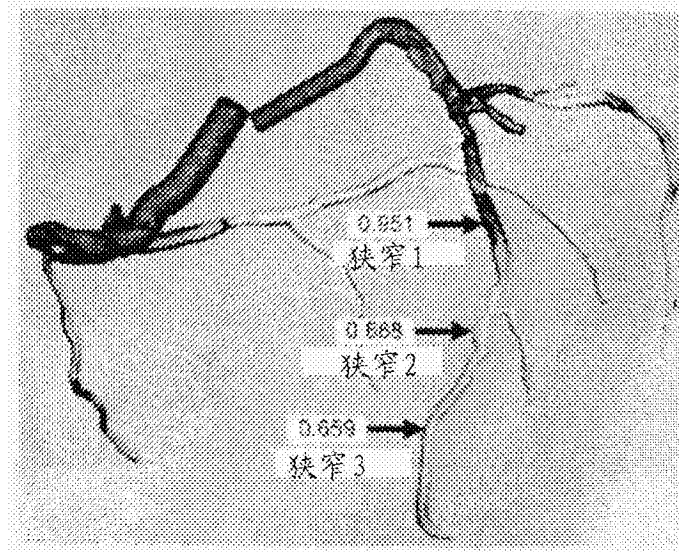


图 8

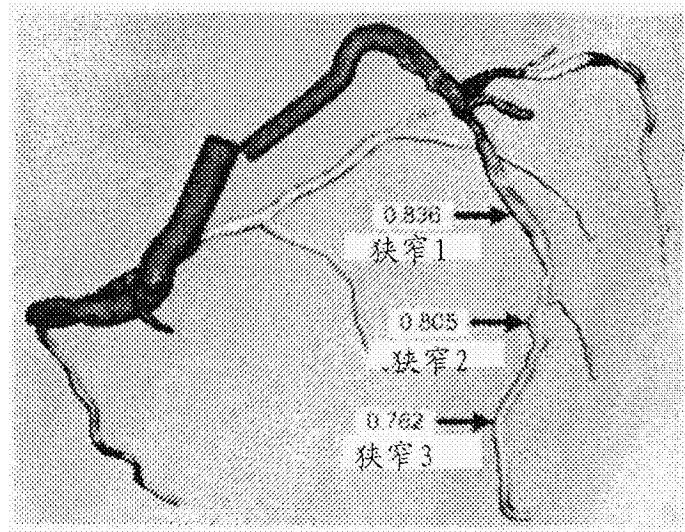


图 9

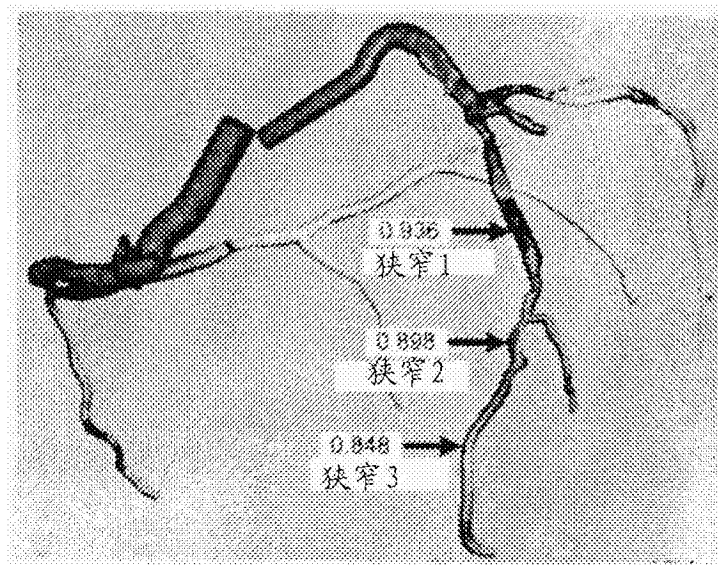


图 10

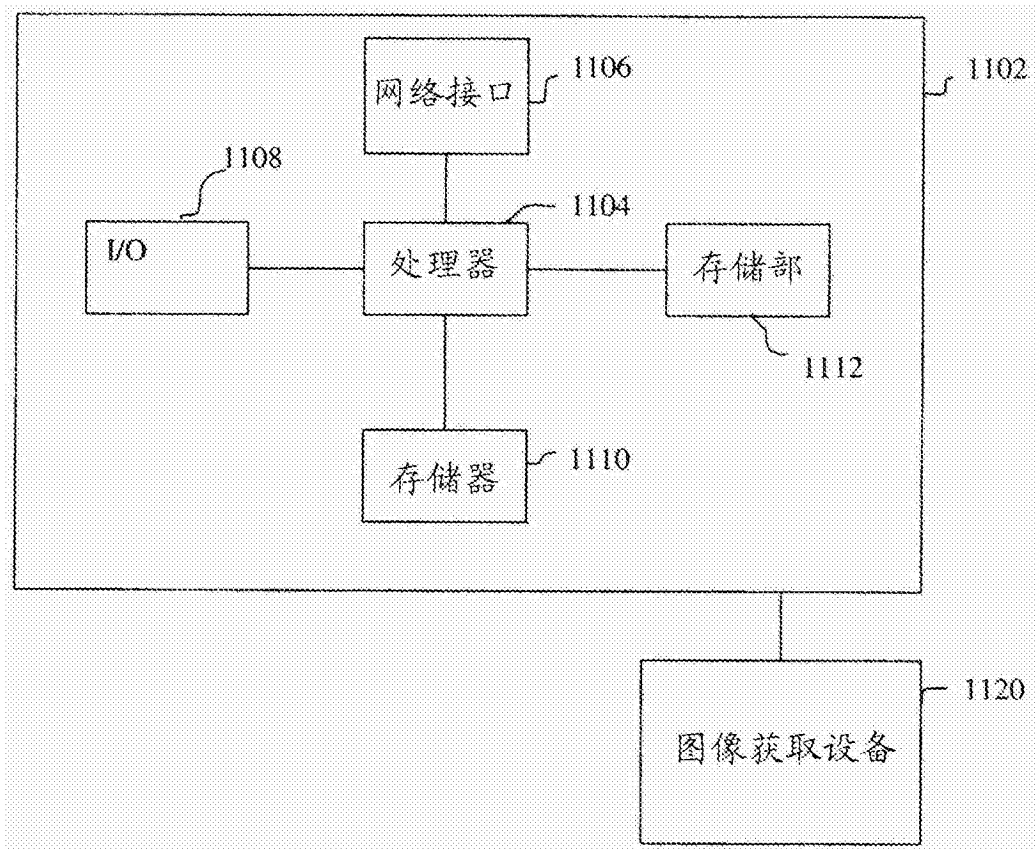


图 11

专利名称(译)	关于针对动脉狭窄的自动治疗规划的方法和系统		
公开(公告)号	CN105380598A	公开(公告)日	2016-03-09
申请号	CN201510602460.6	申请日	2015-07-22
[标]申请(专利权)人(译)	西门子公司		
申请(专利权)人(译)	西门子公司		
当前申请(专利权)人(译)	西门子公司		
[标]发明人	F绍尔 P沙尔马 M舍宾格		
发明人	F·绍尔 P·沙尔马 M·舍宾格		
IPC分类号	A61B5/00		
CPC分类号	A61B5/48 A61B6/032 A61B6/463 A61B6/466 A61B6/481 A61B6/504 A61B6/5217 G06F19/321 G16H50/20 G16H50/50 A61B34/10 G06T7/0012 G06T7/20 G06T11/20 G06T2207/10088 G06T2207/30104 G16H30/20		
代理人(译)	张涛 刘春元		
优先权	62/027347 2014-07-22 US 14/801987 2015-07-17 US		
其他公开文献	CN105380598B		
外部链接	Espacenet SIPO		

摘要(译)

公开了用于针对动脉狭窄的处置规划的自动决定支持的方法和系统。从患者的医学图像数据标识患者的冠状动脉中的一组狭窄损伤。针对该组狭窄损伤生成多个处置选项，其中多个处置选项中的每个对应于其中对狭窄损伤中的一个或多个进行支架的支架配置。针对多个处置选项中的每个，计算从与该处置选项对应的支架配置得到的用于该组狭窄损伤的预测的血液动力学度量。

