(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107787202 B
(45)授权公告日 2024.03.22

(21)申请号 201680020419.0
(22)申请日 2016.04.01
(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107787202 A
(43)申请公布日 2018.03.09
(30)优先权数据
62/142,158 2015.04.02 US
(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2017.09.30
(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/US2016/025595 2016.04.01
(87)PCT国际申请的公布数据
WO2016/161308 EN 2016.10.06
(73)专利权人 哈特弗罗公司
地址 美国加利福尼亚州
(72)发明人 莱昂·格雷迪 米希尔·沙普 查尔斯·A·泰勒 克拉拉·雅凯
(74)专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司 72001
专利代理师 王洪斌 申屠伟进
(51)Int.Cl.
A61B 5/026(2006.01)
G16H 50/20(2018.01)
G16H 50/50(2018.01)
A61B 5/02(2006.01)
(56)对比文件
JP 2006320387 A,2006.11.30
WO 0010034 A1,2000.02.24
WO 0110301 A1,2001.02.15
US 2014073976 A1,2014.03.13
US 2012053918 A1,2012.03.01
WO 2015153362 A1,2015.10.08
US 2015038860 A1,2015.02.05
US 2015112182 A1,2015.04.23
EP 2662794 A2,2013.11.13 (续)
审查员 王兆雨

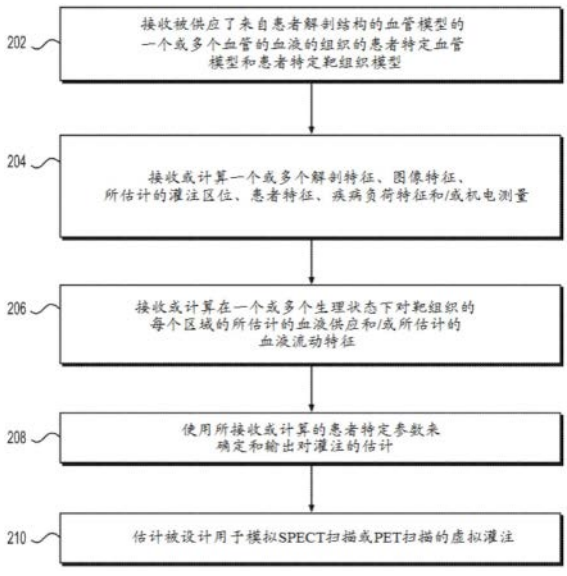
权利要求书3页 说明书8页 附图5页

(54)发明名称

用于从生理学、解剖学和患者特征预测灌注缺陷的系统和方法

(57)摘要

本发明公开了用于使用患者特定解剖模型和生理参数来估计靶组织的灌注以指导心血管疾病的诊断和治疗的系统和方法。一种方法包括:接收患者解剖结构的患者特定血管模型和患者特定组织模型;针对所述患者的一个或多个生理状态从所述血管模型和所述组织模型提取一个或多个患者特定生理参数(例如,血液流量、解剖特征、图像特征等等);使用所述患者特定生理参数估计所述患者特定组织模型的所述灌注的特征(例如,经由经过训练的机器学习算法而实现);以及向显示器输出所述所估计的灌注特征。



CN 107787202 B

[转续页]

[接上页]

(56)对比文件

CharlesA.Taylor等.Computational Fluid Dynamics Applied to Cardiac Computed Tomography for Noninvasive Quantification of Fractional Flow Reserve.《Journal of American College of Cardiology》.2013,第61卷(第22期),第2233-2241.

H.J.KIM等.Patient-Specific Modeling of Blood Flow and Pressure in Human Coronary Arteries.《Annals of Biomedical Engineering》.2010,第38卷(第10期),第3195-3209页.

1.一种用于估计患者组织中的位置处的血液灌注的患者特定值的由计算机实现的方法,所述方法包括:

接收患者特定血管模型和患者的靶组织的患者特定组织模型;

接收或计算患者的一个或多个患者特定生理参数,所述患者特定生理参数包括患者的医学图像特征、解剖特征、估计的灌注区位、估计的靶组织血液供应、患者特性、疾病负荷参数和/或机电测量;

使用患者特定生理参数和用数据库训练的机器学习算法,确定在一个或多个生理状态下在靶组织中的一个或多个位置处的灌注评估,以将患者组织中位置处的患者特定生理参数映射为在所述位置处的灌注,所述数据库是具有已知灌注特征的患者的数据库,并且所述数据库包含在患者特定血管模型和/或患者特定组织模型中的一个或多个位置处的患者特定生理参数以及在那些位置处测量的灌注数据中的一个或多个;以及

向电子显示器输出所述血液灌注的评估;

其中所述患者特定生理参数包括:在一个或多个生理状态下通向血管或组织的多个区域的所估计或所测量的血液流量;

其中所述方法还包括:

估计一个或多个虚拟灌注图像,所述一个或多个虚拟灌注图像被设计用于使用所述血液灌注的评估来模拟一个或多个生理状态下的SPECT或PET扫描;以及

向电子存储介质输出所述一个或多个虚拟灌注图像;

其中所述机电测量包括心电图ECG测量或侵入性电生理学EP测量。

2.如权利要求1所述的由计算机实现的方法,其中所述一个或多个解剖特征包括血管大小、血管形状、血管曲度、血管长度、血管厚度、以及组织或血管网络内的血液灌注的所估计的区位。

3.如权利要求1所述的由计算机实现的方法,其中所述生理状态可以包括以下项中的一个或多个:休息患者的状态、充血状态、锻炼状态、餐后状态、重力状态、情绪状态、高血压状态、以及用药状态。

4.如权利要求1所述的由计算机实现的方法,其中所述一个或者多个医学图像特征包括:在一个或多个生理状态下的靶组织或血管模型的一个特征或多个医学图像特征,所述图像特征包括局部平均强度、纹理特征、以及标准图像中的一个或多个。

5.如权利要求1所述的由计算机实现的方法,还包括:估计在一个或多个生理状态下的所述靶组织中的血液流量。

6.如权利要求1所述的由计算机实现的方法,其中患者解剖结构的所述患者特定血管模型和患者特定组织模型包括以下项中的一个或多个:

冠状血管模型和心肌;

脑血管模型和大脑;

周围血管模型和肌肉;

肝脏血管模型和肝脏;

肾脏血管模型和肾脏;以及

内脏血管模型和内脏。

7.如权利要求1所述的由计算机实现的方法,还包括:

基于所述血液灌注的评估来调整所述患者特定生理参数;并且

使用所述血液灌注的所估计的特征和所调整的生理参数来模拟血液流动特征。

8.如权利要求1所述的由计算机实现的方法,还包括:

接收所述靶组织中的一个或多个位置处的一个或多个所想要的灌注特征;

将所述血液灌注在所述靶组织中的所述一个或多个位置处的评估与在那些位置处的所述所想要的灌注特征进行比较;并且

基于所述比较来改变所述患者特定生理参数、患者特定血管模型以及患者特定组织模型中的一个或多个。

9.一种用于估计患者特定灌注的系统,所述系统包括:

数据存储设备,所述数据存储设备存储用于确定在患者组织中的位置处的血液灌注的患者特定值的指令;以及

处理器,所述处理器被配置为执行所述指令以执行以下步骤:

接收患者特定血管模型和患者的靶组织的患者特定组织模型;

接收或计算患者的一个或多个患者特定生理参数,所述患者特定生理参数包括患者的医学图像参数、解剖特征、估计的灌注区位、估计的靶组织血液供应、患者特性、疾病负荷参数和/或机电测量中;

使用患者特定生理参数和用数据库训练的机器学习算法,确定在一个或多个生理状态下在靶组织中的一个或多个位置处的灌注评估,以将患者组织中的位置处的患者特定生理参数映射为在所述位置处的灌注,所述数据库是具有已知灌注特征的患者的数据库,并且所述数据库包含在患者特定血管模型和/或患者特定组织模型中的一个或多个位置处的患者特定生理参数以及在那些位置处测量的灌注数据中的一个或多个;并且

向电子显示器输出所述血液灌注的评估;

其中所述患者特定生理参数包括:在一个或多个生理状态下通向血管或组织的多个区域的所估计或所测量的血液流量;

其中所述处理器还被配置为执行所述指令以执行以下步骤:

估计一个或多个虚拟灌注图像,所述一个或多个虚拟灌注图像被设计用于使用所述血液灌注的评估来模拟一个或多个生理状态下的SPECT或PET扫描;以及

向电子存储介质输出所述一个或多个虚拟灌注图像;

其中所述机电测量包括心电图ECG测量或侵入性电生理学EP测量。

10.如权利要求9所述的系统,其中所述生理状态包括以下项中的一个或多个:休息患者的状态、充血状态、锻炼状态、餐后状态、重力状态、情绪状态、高血压状态、以及用药状态。

11.如权利要求9所述的系统,其中所述血液灌注的特征包括以下项中的一个或多个:流量储备分数、流动量值、以及流动方向。

12.如权利要求9所述的系统,其中确定血液灌注的评估包括:估计在一个或多个生理状态下的所述靶组织中的血液流量。

13.如权利要求9所述的系统,其中患者解剖结构的所述患者特定血管模型和患者特定组织模型包括以下项中的一个或多个:

冠状血管模型和心肌;

脑血管模型和大脑;

周围血管模型和肌肉;

肝脏血管模型和肝脏;

肾脏血管模型和肾脏;以及

内脏血管模型和内脏。

14.如权利要求9所述的系统,还包括:

基于所述血液灌注的评估来调整所述患者特定生理参数;以及

使用血液灌注的评估和所调整的生理参数来模拟血液流动特征。

15.一种用于计算机系统上的非暂时性计算机可读介质,所述非暂时性计算机可读介质包含用于估计患者特定的血液灌注的计算机可执行编程指令,所述指令在由计算机系统执行时使得所述计算机系统执行下列步骤:

接收患者特定血管模型和患者的靶组织的患者特定组织模型;

接收或计算患者的一个或多个患者特定生理参数,所述患者特定生理参数包括患者的医学图像参数、解剖特征、估计的灌注区位、估计的靶组织血液供应、患者特性、疾病负荷参数和/或机电测量;

使用患者特定生理参数和用数据库训练的机器学习算法,确定在一个或多个生理状态下在靶组织中的一个或多个位置处的灌注评估,以将患者组织中的位置处的患者特定生理参数映射为在所述位置处的灌注,所述数据库是具有已知灌注特征的患者的数据库,并且所述数据库包含在患者特定血管模型和/或患者特定组织模型中的一个或多个位置处的患者特定生理参数以及在那些位置处测量的灌注数据中的一个或多个;以及

向电子显示器输出所述血液灌注的估计;

其中所述患者特定生理参数包括:在一个或多个生理状态下通向血管或组织的多个区域的所估计或所测量的血液流量;

其中所述计算机系统还执行下列步骤:

估计一个或多个虚拟灌注图像,所述一个或多个虚拟灌注图像被设计用于使用所述血液灌注的评估来模拟一个或多个生理状态下的SPECT或PET扫描;以及

向电子存储介质输出所述一个或多个虚拟灌注图像;

其中所述机电测量包括心电图ECG测量或侵入性电生理学EP测量。

用于从生理学、解剖学和患者特征预测灌注缺陷的系统和方法

[0001] 相关申请

[0002] 本申请依据35 U.S.C.§119(e)要求2015年4月2日提交的美国临时申请第62/142,158号的优先权,该申请的内容以引用的方式全文并入本文。

技术领域

[0003] 本公开的各种实施方案大体上涉及了疾病评估、治疗计划和相关方法。更确切地,本公开的特定实施方案涉及用于估计靶组织的灌注的系统和方法。

背景技术

[0004] 冠状动脉疾病是影响数百万人的常见疾病。冠状动脉疾病可能导致向心脏提供血液的血管形成病变,诸如狭窄(血管异常变窄)。因此,可能限制通向心脏的血液流动。患冠状动脉疾病的患者可能会在体力活动期间感到胸痛(称为慢性稳定型心绞痛)或在患者休息时经历不稳定型心绞痛。更严重的疾病表现可能引起心肌梗塞或心脏病发作。在治疗冠状动脉疾病(包括药物治疗(例如他汀类药物)或外科方案(例如,经皮冠状动脉介入(PCI)和冠状动脉旁路移植手术(CABG)两者)上已取得了显著进步。侵入性评估通常用于评估患者可接受的治疗类型。然而,在探索和开发用于制定患者治疗方案的间接或非侵入性评估。

[0005] 心脏疾病典型地被视为由血管疾病(具体来说,以影响血液流动的方式使血管变窄或血管内腔内部阻塞)造成的。一种测量这种变窄或阻塞的程度的方式是通过灌注扫描,因为灌注是血液通过血管网络(例如,动脉、毛细血管等等)的流动。当前,灌注扫描可能是昂贵的,并且可能使患者暴露于不必要的辐射。因此,存在对使用可用患者信息来估计在某些靶组织中的灌注的期望,其中可使用所估计的灌注数据来模拟熟悉扫描类型,例如,单光子发射计算机断层摄影(SPECT)或正电子发射断层摄影(PET),使得内科医生可以熟悉如何阅读图像。此外,存在对通过以更好的方式评估心血管疾病的严重程度来改进心血管疾病的治疗的期望。

[0006] 以上概括描述和以下详细描述仅是示例性和解释性的,并且不是对公开内容的限制。

发明内容

[0007] 根据本公开的某些方面,公开使用可用信息来估计靶组织的灌注以指导心血管疾病的诊断或治疗的系统和方法。

[0008] 一种方法包括:接收患者解剖结构的患者特定血管模型和患者特定组织模型;针对所述患者的一个或多个生理状态从所述血管模型和所述组织模型提取一个或多个患者特定生理参数;使用所述患者特定生理参数通过所述患者特定组织模型来估计所述血液灌注的特征;以及向显示器输出所述血液灌注的所述所估计的特征。

[0009] 根据另一实施方案,公开用于估计患者特定灌注的系统,所述系统包括:数据存储

设备,所述数据存储设备存储用于确定所述血液灌注的患者特定特征的指令;以及处理器,所述处理器被配置为执行所述指令以执行包括以下步骤的方法:接收患者解剖结构的患者特定血管模型和患者特定组织模型;针对所述患者的一个或多个生理状态从所述血管模型和所述组织模型提取一个或多个患者特定生理参数;使用所述患者特定生理参数通过所述患者特定组织模型来估计所述血液灌注的特征;以及向显示器输出所述血液灌注的所述所估计的特征。

[0010] 根据另一实施方案,公开一种用于计算机系统上的非暂时性计算机可读介质,所述非暂时性计算机可读介质含有用于估计血液灌注的患者特定特征的计算机可执行编程指令,所述方法包括:接收患者解剖结构的患者特定血管模型和患者特定组织模型;针对所述患者的一个或多个生理状态从所述血管模型和所述组织模型提取一个或多个患者特定生理参数;使用所述患者特定生理参数通过所述患者特定组织模型来估计所述血液灌注的特征;以及向显示器输出所述血液灌注的所述所估计的特征。

[0011] 所公开的实施方案的附加特征和优点将部分地在以下描述中阐述,并且将部分地从描述显而易见或可通过实践所公开的实施方案来了解。所公开的实施方案的目标和优点将借助于在随附权利要求中具体指出的要素和组合来认识和达成。

[0012] 将要理解,以上概括描述和以下详细描述仅是示例性和解释性的,并且不是对详细实施方案的限制,如要求保护的。

附图说明

[0013] 并入本说明书且构成其一部分的附图示出各种示例性实施方案,并且连同描述来用于解释所公开的实施方案的原理。

[0014] 图1是根据本公开的示例性实施方案的用于预测灌注以指导心血管疾病的诊断或治疗的示例性系统和网络的方框图。

[0015] 图2是根据本公开的一般实施方案的估计灌注的一般方法的方框图。

[0016] 图3是根据本公开的示例性实施方案的估计灌注的示例性方法的方框图。

[0017] 图4是根据本公开的示例性实施方案的使用机器学习来估计灌注的示例性方法的方框图。图4还可公开分别执行图2和图3中的步骤208或322来确定对组织灌注的估计的方法。

[0018] 图5是图4中公开的方法的更详细方框图。此外,图5还公开了根据本公开的示例性实施方案的用于使用机器学习从血管几何结构和患者特定生理参数(例如,解剖信息、次要信息和血液供应信息)来估计患者特定灌注特征的示例性方法。

具体实施方式

[0019] 为了现将详细参考本公开的示例性实施方案,这些实施方案的实例示出于附图。在任何可能情况下,相同参考数字将会在全部附图中用来指代相同或相似的部分。

[0020] 冠状动脉疾病是可能限制通向心脏的血液流动的常见疾病。虽然在治疗冠状动脉疾病上已取得了显著进展,但是治疗常常是不当或过度的。例如,患者常常经受侵入性外科治疗或灌注扫描,这样可能是昂贵的和/或使患者暴露于不必要的辐射。患者有时受到可能并不会改变他们病情的治疗。在某些情况下,患者甚至经受最终使他们病情恶化的治疗。因

此,存在对准确评估心血管疾病的严重程度和/或预测灌注以有助于选择治疗过程的需要。

[0021] 心血管疾病可与血管疾病(其意思是血管变窄或阻塞)相关。心脏灌注扫描可以测量在不同生理状态下心肌中的血量。“生理状态”可指休息患者状态、充血状态、锻炼状态、餐后状态、重力状态、情绪状态、高血压状态、用药状态或其组合。常常执行灌注扫描以确定哪些可能导致胸痛和确定心脏组织是否被供应了充足血流,或者确定心肌受到心脏病发作的损伤程度。

[0022] 在扫描期间,在放射性示踪剂静脉内施用于患者后生成心脏图像。放射性示踪剂通过血液行进并且进入心肌。在示踪剂移动通过心肌时,具有足够的血液流动的组织吸收示踪剂。不吸收示踪剂的组织可能不会接收足够血液,或者可能已经受到心脏病发作损伤。在心脏灌注扫描期间可以生成两组图像。然后,将休息图像与应激或非休息图像进行比较,并且可以确定靶组织中的灌注水平。“靶组织”可指可估计血液供应和/或灌注特征的组织和/或器官。

[0023] 因此,对靶组织中的灌注的理解在临床上可能是重要的。对灌注的理解可以改进对疾病严重程度和治疗适当程度的估计。本公开可通过在灌注可能难以测量的状况下估计灌注和/或通过采用对心脏灌注的测量来更准确地评估在不同生理状况下血管疾病严重程度而有益于患者和医生。所生成的灌注图像可以模拟从熟悉扫描类型(诸如PET和/或SPECT)生成的图像。所模拟的图像可以便于被训练阅读PET和/或SPECT图像的内科医生来阅读和理解。出于本公开的目的:“患者”可指被执行诊断或治疗分析的任何个体或人,或是与一个或多个个体的诊断或治疗分析关联的任何个体或人。

[0024] 虽然图1提供了本公开的系统和网络的抽象视图,但是图2示出了用于估计血液灌注的一个或多个特征的方法的一般实施方案,并且图3示出了更具体的实施方案。此外,图2和图3公开了通过组织确定对血液灌注的估计的步骤。图4示出了用于执行使用经过训练的机器学习算法通过组织确定对血液灌注的一个或多个特征的估计的步骤的示例性方法。图5更详细地示出图4中公开的方法。

[0025] 现在更详细地参考附图,图1示出了根据示例性实施方案的用于估计心脏灌注以指导心血管疾病的诊断或治疗的示例性系统100和网络的方框图。确切地讲,图1示出了多个内科医生102和第三方提供商104,它们中任一者可通过一个或多个计算机、服务器和/或手持移动设备连接到电子网络101,诸如互联网。内科医生102和/或第三方提供商104可以创建或以其它方式获得一个或多个患者解剖结构的图像。内科医生102和/或第三方提供商104还可获得患者特定信息(诸如年龄、病史、血压、血液粘度、患者活动或锻炼水平等等)的任何组合。内科医生102和/或第三方提供商104可通过电子网络101向服务器系统106发送解剖图像和/或患者特定信息。服务器系统106可以包括用于存储从内科医生102和/或第三方提供商104接收的图像和数据的存储设备。服务器系统106还可包括用于处理存储在存储设备中的图像和数据的处理设备。

[0026] 图2示出了用于估计心脏灌注以指导心血管疾病的诊断或治疗的示例性方法200的一般实施方案。图2的方法可由服务器系统106基于通过电子网络101从内科医生102和/或第三方提供商104接收的信息、图像和数据执行。

[0027] 在一个实施方案中,步骤202可以包括接收存储在存储系统106的电子存储介质中的患者解剖结构的患者特定血管模型和患者特定靶组织模型。“电子存储介质”可以包括但

不限于硬驱动器、网络驱动器、云驱动器、移动电话、平板电脑或可或可不被附连到显示屏幕的类似物等等。确切地讲,接收患者特定血管模型和患者特定靶组织模型可以包括在服务器系统106处生成患者特定血管模型和/或患者特定靶组织模型,或者通过电子网络(例如,电子网络101)接收患者特定血管模型和/或患者特定靶组织模型。患者特定血管模型和患者特定靶组织模型可以包括特定的人的心血管模型。在一个实施方案中,血管模型和靶组织模型可从经由一个或多个可用成像或扫描模态(例如,计算机断层摄影(CT)扫描和/或磁共振成像(MR))而获取的人的图像导出。例如,步骤202可以包括接收人的心脏的CT和/或MR图像。步骤202还可包括从所接收的图像生成特定的人的患者特定心血管模型。电子存储介质可以包括但不限于硬驱动器、网络驱动器、云驱动器、移动电话、平板电脑或类似物。

[0028] 在一个实施方案中,步骤204和206可以包括接收或计算一个或多个患者特定生理参数。这些患者特定生理参数可从所接收的血管模型和/或靶组织模型被接收或计算。这些患者特定生理参数可以包括解剖特征、图像特征,以及与患者和/或患者解剖结构相关的次要特征(例如,患者特征、疾病负荷特征和机电测量)。患者特定生理参数还可包括与血液循环相关的参数,包括在一个或多个生理状态下对通向靶组织的每个区域的血液供应的估计和/或对血液流动特性的估计。

[0029] 确切地讲,步骤204可以包括接收或计算在一个或多个生理状态下的一个或多个解剖特征、图像特征、患者特征、疾病负荷特征和/或机电特征。一个生理状态实例可为休息状态。另一生理状态可为除休息状态之外的生理状态,或者说是“活动”生理状态。活动生理状态可以包括充血、各种锻炼水平、餐后、位置(例如,仰卧)、重力(例如,G力、零重力等等)或其组合。在一个实施方案中,可从除血管模型和/或靶组织模型之外的来源获得患者特定生理参数。

[0030] 在一个实施方案中,步骤206可以包括在一个或多个生理状态下接收或计算对靶组织的每个区域或血管网络中的每个血管的所估计的供应血液和/或所估计的血液流动特征。这些估计可以是基于测量(例如,通过成像进行测量)或经由在休息状态下对供应血液的估计(例如,基于3D模拟、1D模拟或所学习的关系)的。

[0031] 在一个实施方案中,步骤208可以包括使用联合先验信息来确定和输出对血管模型的血管或靶组织的区域中的灌注的估计。联合先验信息可指在步骤204和206中确定的一个或多个所接收的患者特定生理参数(例如,所接收或计算的医学图像特征、解剖特征、对靶组织的血液供应、血液流动特征、患者特征、疾病负荷特征、机电测量等等)。在一个实施方案中,确定对灌注的估计可以涉及在人是处于给定生理状态时,确定对人的血管模型的一个或多个血管位置处的供应血液的估计。这个确定同样可以是基于对血液流量的测量(例如,通过成像)或经由在休息状态下对血液流量的估计(例如,基于3D模拟、1D模拟或所学习的关系)的。在一个实施方案中,步骤208可以包括计算对与血管模型相关的靶组织的灌注区位的估计。可通过使用最近邻(例如,Voronoi图)方法将靶组织中的位置分配给血管模型中的最靠近的供应血管来确定这个估计。也可使用微血管估计技术(例如,通过使用受约束的建构优化方法)从解剖模型来确定所述估计。在一个实施方案中,步骤208可由处理器执行。处理器可通过机器学习来估计在一个或多个生理状态下在血管模型中的靶组织的一个或多个位置处的灌注。在一个实施方案中,步骤208还可包括向电子存储设备(例如,硬盘、网络驱动器、便携式盘、智能电话、平板电脑等等)和/或显示屏幕输出对灌注的估计。在

一个实施方案中,所输出的灌注估计可以2D或3D显示为灰度的或彩色的。所计算的灌注估计可以叠加在靶组织的解剖模型上和/或叠加在靶组织的图像上。

[0032] 在一个实施方案中,步骤210可以包括估计被设计用于模拟在一个或多个生理状态下的SPECT或PET扫描的虚拟灌注。在一个实施方案中,估计可通过以灌注估计给定的浓度对造影剂建模来执行。在另一实施方案中,所述估计可以涉及执行蒙特卡罗模拟来估计虚拟准直器位置处的光子或正电子的准直。使用准直器估计,就可使用标准断层摄影技术重建SPECT或PET图像。所估计的虚拟灌注图像可以被保存到电子存储介质和/或显示在监视器上。

[0033] 图3示出了用于估计心脏灌注以指导心血管疾病的诊断或治疗的方法300的示例性实施方案。图3的方法可由服务器系统106基于通过电子网络101从内科医生102和/或第三方提供商104接收的信息、图像和数据执行。

[0034] 在一个实施方案中,步骤302可以包括接收至少在存储系统106的电子存储介质中的患者解剖结构的靶组织的患者特定血管模型。确切地讲,接收患者特定解剖模型可以包括在服务器系统106处生成患者特定解剖模型,或者通过电子网络(例如,电子网络101)接收患者特定解剖模型。患者特定解剖模型可以包括特定的人的心血管模型。在一个实施方案中,解剖模型可从经由一个或多个可用成像或扫描模态(例如,CT扫描和/或磁共振成像)而获取的人的图像导出。例如,步骤302可以包括接收人的心脏的CT和/或MRI图像。步骤302还可包括从所接收的图像生成特定的人的患者特定心血管模型。电子存储介质可以包括但不限于硬驱动器、网络驱动器、云驱动器、移动电话、平板电脑或类似物。

[0035] 在一个实施方案中,步骤304可以包括计算对靶组织的解剖特征中的一个或多个的估计。解剖特征可以包括但不限于血管大小、血管形状、曲度、厚度和/或靶组织或血管网络内的所估计的灌注区位。这个估计可以是基于测量(例如,通过从成像来测量解剖特征)或经由在休息状态下对解剖特征的估计(例如,基于3D模拟、1D模拟或所学习的关系)的。

[0036] 在一个实施方案中,步骤306可以包括接收靶组织的一个或多个图像特征。图像特征可从CT扫描图像、MRI图像、超声图像、PET图像或SPECT图像获得。图像可以捕获在一个或多个生理状态(例如休息、应激、活动)下的血管模型。在血管模型的一个或多个位置处可接收或计算靶组织或血管的图像特征。图像特征可以包括但不限于在一个或多个图像分辨率下的局部平均强度、平均强度差异(例如,使用例如哈尔小波经由小波基计算的)、纹理特征(例如Haralick纹理特征)和任何标准图像特征(包括直方图、梯度、SIFT或可转向滤波器等等)。

[0037] 在一个实施方案中,步骤308可以包括接收患者特征。患者特征可以包括但不限于年龄、性别、吸烟史、身高、体重、糖尿病状态、高血压状态、种族、家族史、血型、先前药物使用历史和/或遗传史。患者特征可以经由电子网络100或从患者内科医师102或从第三方提供商103获得。

[0038] 在一个实施方案中,步骤310可以包括接收血管或靶组织疾病特征。靶组织疾病特征可以包括但不限于动脉内的斑块累积的存在和程度、斑块特征(例如,斑点钙化、低衰减性斑块、餐巾环征、正性重塑)的存在、患者水平或血管水平钙分数、组织活力信息、血管壁运动、血管壁厚度和/或射血分数信息。

[0039] 在一个实施方案中,步骤312可以包括接收机电测量。机电测量可以包括但不限于

心电图(ECG)测量或侵入性电生理学(EP)测量。

[0040] 在一个实施方案中,步骤314可以包括计算在一个或多个生理状态下对通向靶组织的每个区域的所供应的血液的估计。一个第一生理状态实例可为休息状态。这个计算可以是基于测量(例如,通过成像进行测量)或经由在休息状态下对供应血液的估计(例如,基于三维(3D)模拟、一维(1D)模拟或所学习的关系)的。另一生理状态可为除休息状态之外的生理状态,或者说是"活动"生理状态。此生理状态的一个实例可以包括充血。其它非休息生理状态可以包括各种锻炼水平、餐后、位置(例如,仰卧)、重力(例如,G力、零重力等等)。

[0041] 在一个实施方案中,步骤316可以包括计算靶组织的一个或多个血液流动特征。在一个实施方案中,血液流动特征可以包括但不限于流量储备分数值(FFR)、流动方向和/或流量量值,并且通过对通向靶组织的血液流量的估计确定。在一个实施方案中,血液流动特性可通过若干手段来计算,包括但不限于侵入性测量(例如,侵入性FFR、心肌梗塞(TIMI)中的血栓形成或微球)、使用血液流动模拟模型(例如,3D或1D流体模拟模型、计算或TAFE)的计算、使用成像特征(例如,TAG或CCO)的计算或使用基于解剖或成像特征对血液供应的机器学习估计的计算。在一个实施方案中,步骤316可以包括计算对与血管模型相关的靶组织的灌注区位中的血液流量的估计。可通过使用最近邻(例如,Voronoi图)方法将靶组织中的位置分配给血管模型中的最靠近的供应血管来确定这个估计。也可使用微血管估计技术(例如,通过使用受约束的建构优化方法)从解剖模型来确定所述估计。在一个实施方案中,步骤316可由处理器执行。处理器可通过机器学习来估计在一个或多个生理状态下在血管模型中的靶组织的一个或多个位置处的灌注。

[0042] 在一个实施方案中,步骤318可以包括使用处理器计算对与血管模型相关的靶组织中的一个或多个位置处的灌注的估计。可针对一个或多个生理状态使用患者特定患者特定生理参数(例如,图像特征、解剖特征、所估计的血液供应、所估计的血液流动特征、所估计的灌注区位、患者特征、疾病负荷特征和/或机电测量)中的一个或多个来计算对灌注的估计。在一个实施方案中,可通过使用具有已知灌注特征和已知患者特定生理参数(包括但不限于图像特征、解剖特征、所估计的灌注区位、疾病负荷特征和/或机电测量)的患者数据库训练机器学习算法来执行这个计算。在一个实施方案中,步骤318可由处理器执行。

[0043] 在一个实施方案中,步骤320可以包括向电子存储设备(例如,硬盘、网络驱动器、便携式盘、智能电话、平板电脑等等)和/或显示屏幕输出对灌注的估计。在一个实施方案中,所输出的灌注估计可以2D或3D显示为灰度的或彩色的。在一个实施方案中,所输出的灌注估计可以叠加或叠合在靶组织的解剖模型上和/或叠加或叠合在靶组织的图像上。在一个实施方案中,可通过使用具有已知灌注特征和已知患者特定生理参数的患者数据库训练机器学习算法来执行这个确定。在一个实施方案中,灌注估计可以用于估计被设计用于模拟在患者生理状态中的一个或多个下的SPECT或PET图像的虚拟灌注图像。在一个实施方案中,虚拟灌注图像可以保存到电子存储介质中和/或输出到显示器。对虚拟灌注图像的估计可通过以灌注估计给定的浓度对造影图像建模来执行,从而执行蒙特卡罗模拟以估计多个虚拟准直器位置处的光子或正电子的准直,和/或使用准直器估计以使用标准断层摄影技术来重建SPECT或PET图像。所估计的虚拟灌注图像在可读性和设计上可类似于SPECT或PET扫描图像,并且因此内科医师可以熟悉如何分析所估计的灌注图像。

[0044] 方法200和300的上述步骤可以用于估计各种组织中的灌注,包括但不限于使用冠

状动脉血管模型的心肌、使用脑血管模型的脑、使用周围血管模型的肌肉组织、使用肝脏血管模型的肝脏、使用肾脏血管模型的肾脏、使用内脏血管模型的内脏,以及使用用于向靶器官供应血液的血管的血管模型在包括脾脏和胰腺的其它器官中进行灌注。

[0045] 在一个实施方案中,灌注估计还可用于通过使用更准确的边界条件来执行对血液流动特征的模拟或估计以增强血液流动模拟。

[0046] 在一个实施方案中,可通过虚拟改变输入信息(例如,血管模型、组织模型患者特定生理参数等等)并且基于已改变的输入预测对靶组织中的灌注的影响来改进治疗计划和诊断。

[0047] 图4示出了用于训练机器学习算法以在一个或多个生理状态下确定对靶组织中的一个或多个位置处的灌注的估计的方法400的示例性实施方案。图4的方法可由服务器系统106基于通过电子网络101从内科医生102和/或第三方提供商104接收的信息、图像和数据执行。

[0048] 在一个实施方案中,步骤402可以包括汇编含有血管和/或靶组织模型中的一个或多个位置处的患者特定生理参数和那些位置处的所估计或测量的灌注数据中的一个或多个的数据库。“患者特定生理参数”可指所接收或计算的医学图像特征、解剖特征、灌注区位、通向靶组织的血液供应、血液流动特征、患者特征、疾病负荷特征和/或机电测量。位置可以来自患者特定血管和/或靶组织模型,或是来自从一个或多个可用成像或扫描模态获得的图像,包括但不限于PET、SPECT、MR灌注和/或CT灌注。

[0049] 在一个实施方案中,步骤404可以包括训练机器学习算法以将血管和/或靶组织模型的一个或多个位置处的一个或多个患者特定生理参数映射到那些位置处的灌注数据。机器学习算法可以采取许多形式,包括但不限于多层感知、深度学习、支持向量机、随机森林、k-最近邻、贝叶斯网络等等。

[0050] 在一个实施方案中,步骤406可以包括将经过训练的机器学习算法应用于从新的患者获得的血管模型和/或靶组织的患者特定生理参数集合来估计一个或多个位置处的灌注数据。

[0051] 图5是根据本公开的示例性实施方案的用于从血管几何结构和生理信息估计患者特定血液流动特征的示例性方法的方框图。图5的方法可由服务器系统106基于通过电子网络100从内科医生102和/或第三方提供商104接收的信息执行。

[0052] 在一个实施方案中,图5的方法可以包括用于基于来自多个患者的患者特定生理参数和所测量或估计的灌注特征来训练一个或多个机器学习算法的训练方法502,以及用于使用机器学习算法结果来预测特定患者灌注特征的产生方法504。

[0053] 在一个实施方案中,训练方法502可以涉及:针对多个个体中每一者,例如以数字格式来获取:(a)患者特定几何模型;(b)一个或多个所测量或估计的患者特定生理参数;以及(c)灌注特征的值。然后,训练方法502可以涉及:针对每个患者模型中的一个或多个点,创建患者生理参数的特征矢量并且将特征矢量与灌注特征的值关联。然后,训练方法1002可以基于特征矢量和所估计的灌注特征来训练机器学习算法(例如,使用服务器系统106的处理设备)以预测几何模型中的每一个点处的灌注。然后,训练方法502可以将机器学习算法结果(包括特征权重)保存到服务器系统106的存储设备中。所存储的特征权重可以限定患者特定生理参数和/或解剖几何结构可预测某些灌注特征的程度。

[0054] 在另一实施方案中,训练方法502可以基于针对多个患者使用计算流体动力(CFD)技术而生成的FFR估计执行。然后,训练方法502可以涉及将所估计的FFR值与患者几何模型中的每一个点关联,并且接着创建患者特定生理参数的特征矢量而且将特征矢量与FFR估计关联。然后,训练方法502可以基于特征矢量和所估计的FFR来训练机器学习算法(例如,使用服务器系统106的处理设备)以预测几何模型中的每一个点处的灌注。

[0055] 在一个实施方案中,产生方法504可以涉及基于执行训练方法502的结果来估计特定患者的灌注特征。在一个实施方案中,产生方法504可以包括例如以数字格式来获取:(a)患者特定几何模型;以及(b)一个或多个所测量或估计的患者特定生理参数。对于患者几何模型中的多个点,产生方法504可以涉及创建训练模式中使用的患者特定生理参数的特征矢量。然后,产生方法504可以使用所保存的机器学习算法结果来产生针对患者特定几何模型中的每一个点的对患者灌注特征的估计。最后,产生方法504可以将机器学习算法结果(包括所预测的灌注特征)保存到服务器系统106的存储设备。

[0056] 通过考虑本文中公开的本发明的说明书和实践,本发明的其它实施方案将对本领域的技术人员显而易见。预期的是,说明书和实例仅仅被认为是示例性的,其中本发明的范围和精神由随附权利要求指出。

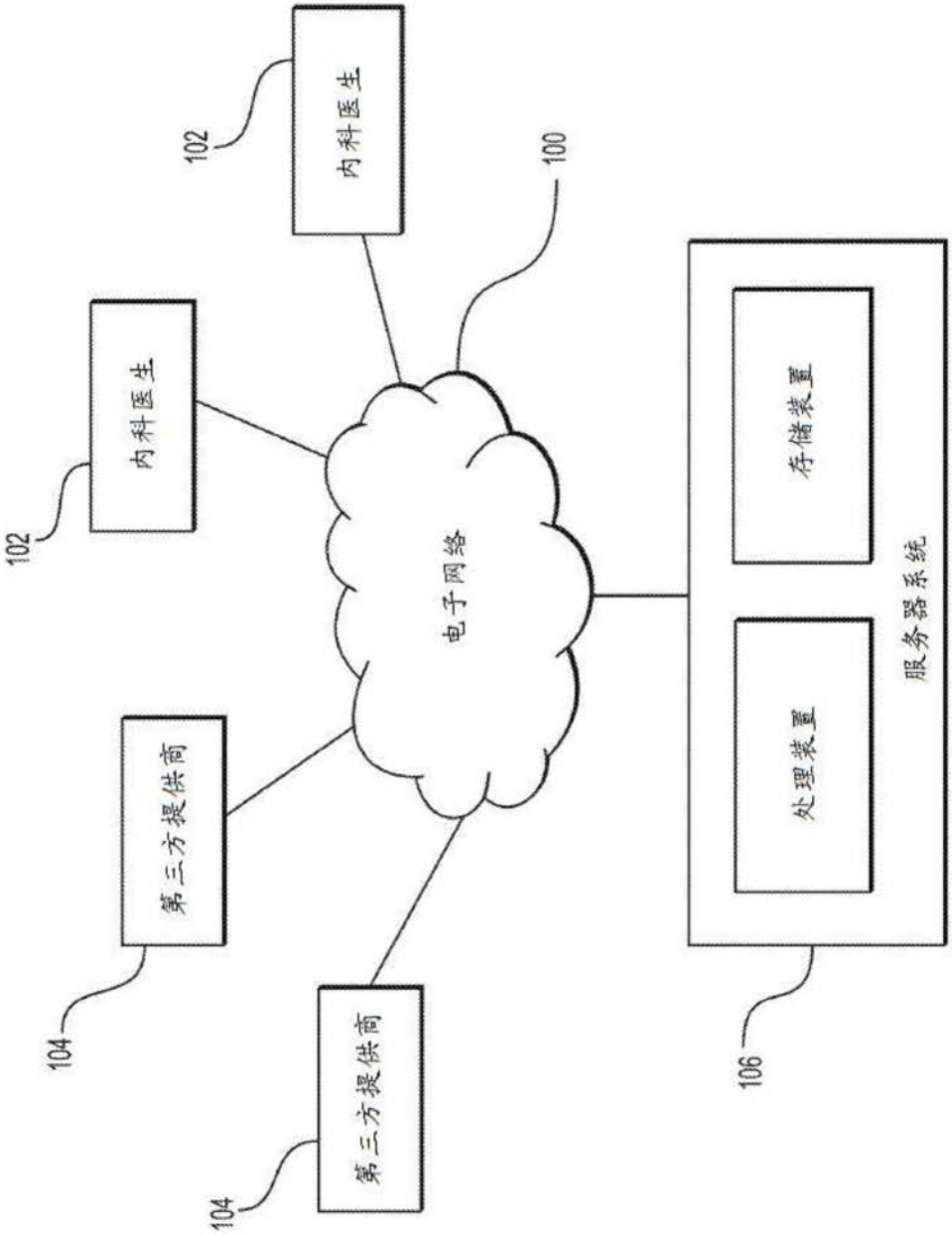

内科医生
102
内科医生
102
100
电子网络
存储装置
处理装置
服务器系统
第三方提供商
104
第三方提供商
104
106

图1

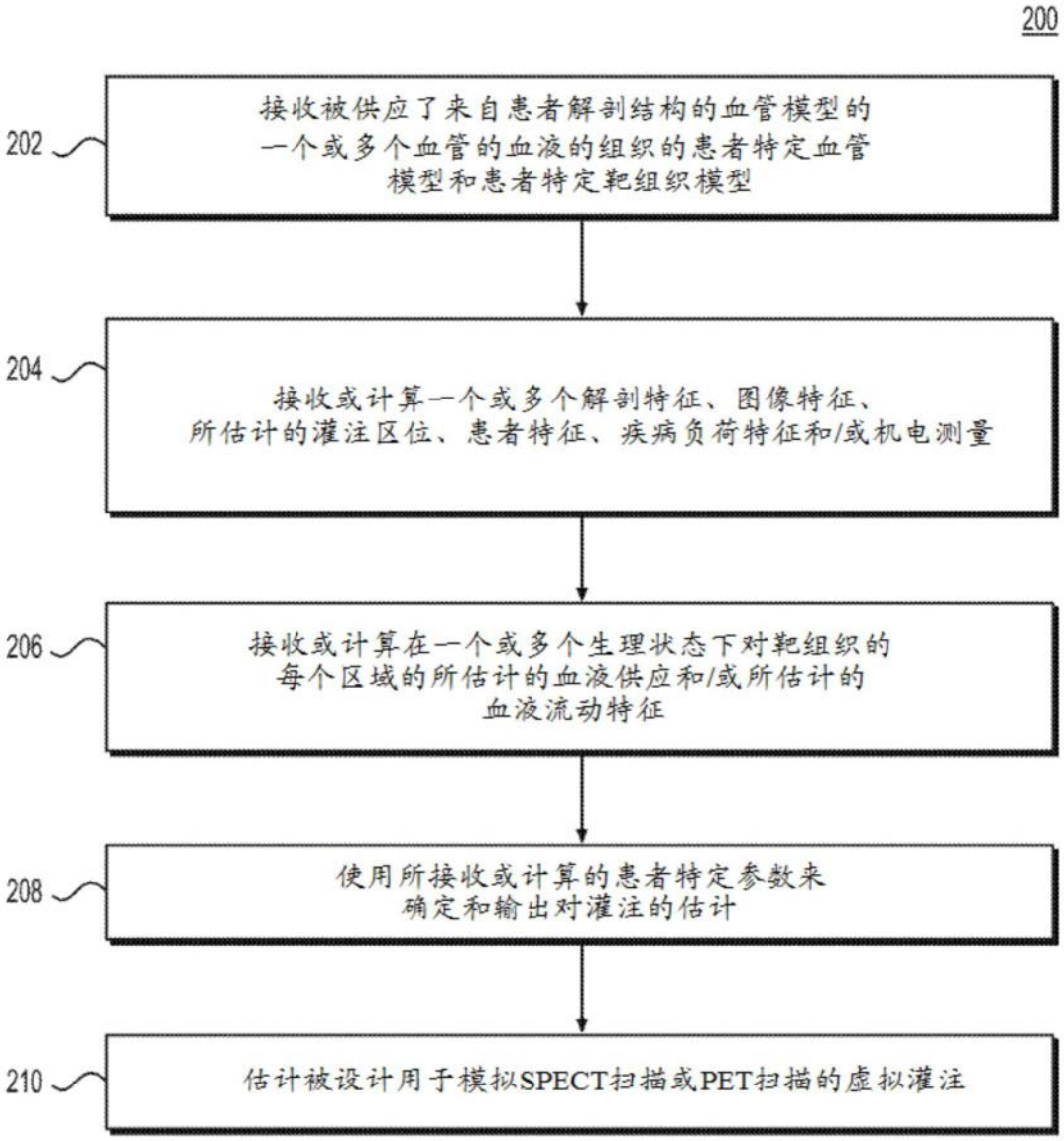

200
202
接收被供应了来自患者解剖结构的血管模型的一个或多个血管的血液的组织的患者特定血管模型和患者特定靶组织模型
204
接收或计算一个或多个解剖特征、图像特征、所估计的灌注区位、患者特征、疾病负荷特征和/或机电测量
206
接收或计算在一个或多个生理状态下对靶组织的每个区域的所估计的血液供应和/或所估计的血液流动特征
208
使用所接收或计算的患者特定参数来确定和输出对灌注的估计
210
估计被设计用于模拟SPECT扫描或PET扫描的虚拟灌注

图2


300
302
接收至少其中可估计血液供应的靶组织的患者特定模型
304
计算对靶组织的一个或多个解剖特征(例如，大小、形状、曲度、长度、厚度等等)的估计
306
接收在一个或多个生理状态下靶组织的一个或多个图像特征(例如，局部平均强度、纹理特征、标准图像等等)
308
接收患者特征
310
接收血管或靶组织疾病特征
312
接收机电测量
314
计算对在一个或多个生理状态下通向血管模型的每个区域的所供应的血液的估计
316
计算血液流动特征，所述血液流动特征包括以下项中的一个或多个：FFR、流动量值或流动方向
318
确定对灌注的估计
320
向电子存储介质或显示器输出对灌注的估计

图3

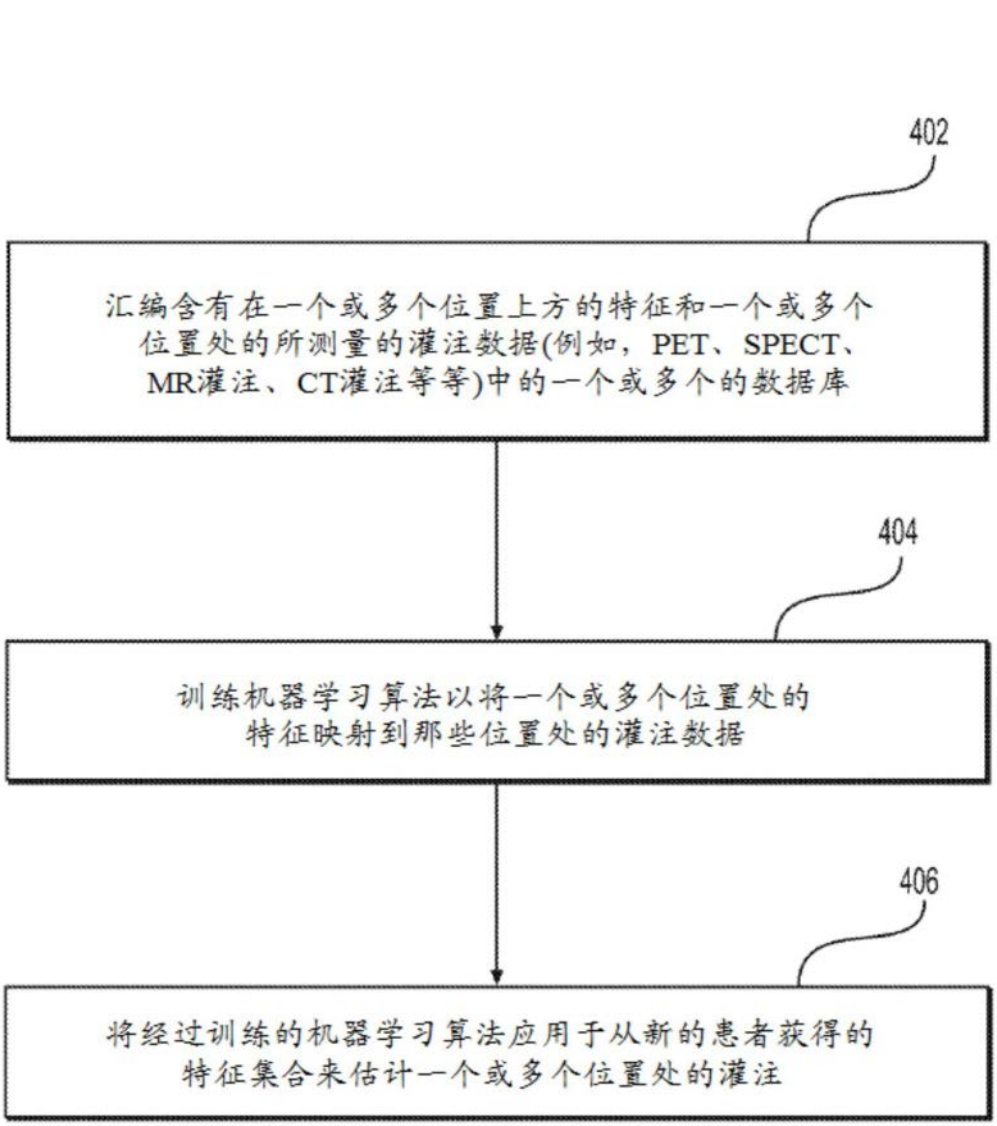

400
402
汇编含有在一个或多个位置上方的特征和一个或多个位置处的所测量的灌注数据(例如，PET、SPECT、MR灌注、CT灌注等等)中的一个或多个的数据库
404
训练机器学习算法以将一个或多个位置处的特征映射到那些位置处的灌注数据
406
将经过训练的机器学习算法应用于从新的患者获得的特征集合来估计一个或多个位置处的灌注

图4

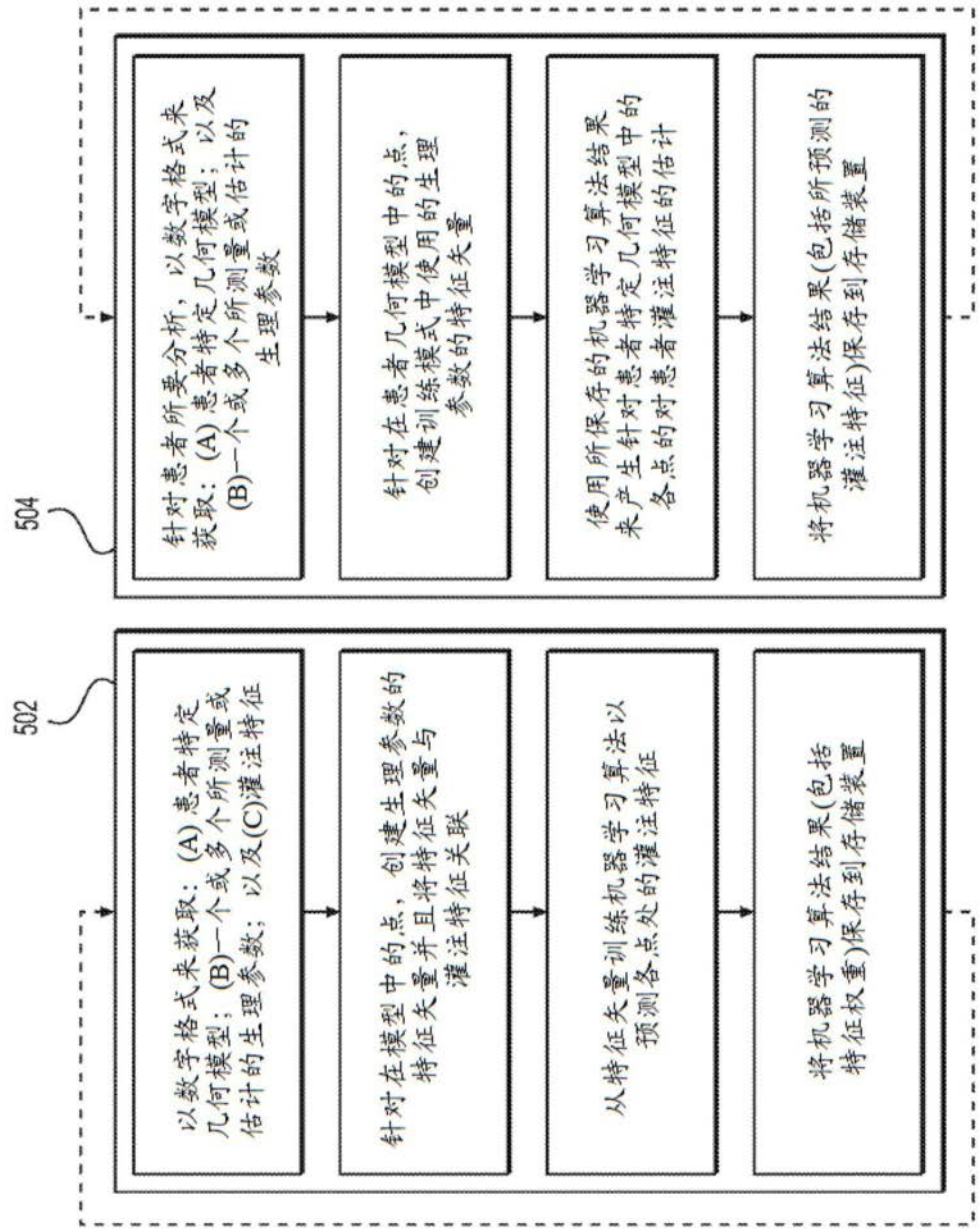

502
以数字格式来获取：(A)患者特定几何模型；(B)一个或多个所测量或估计的生理参数；以及(C)灌注特征
针对在模型中的点，创建生理参数的特征失量并且将特征失量与灌注特征关联
从特征失量训练机器学习算法以预测各点处的灌注特征
将机器学习算法结果(包括特征权重)保存到存储装置
504
针对患者所要分析，以数字格式来获取：(A)患者特定几何模型；以及(B)一个或多个所测量或估计的生理参数
针对在患者几何模型中的点，创建训练模式中使用的生理参数的特征失量
使用所保存的机器学习算法结果来产生针对患者特定几何模型中的各点的对患者灌注特征的估计
将机器学习算法结果(包括所预测的灌注特征)保存到存储装置

图5