



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118043902 A

(43) 申请公布日 2024. 05. 14

(21) 申请号 202280065848.5

J • R • 哈特森 T • 克勒

(22) 申请日 2022.09.07

(74) 专利代理机构 北京市金杜律师事务所

11256

(30) 优先权数据

专利代理师 吴雨蓁

63/250,253 2021.09.30 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

(51) Int.Cl.

2024.03.28

G16H 20/40 (2006.01)

(86) PCT国际申请的申请数据

G16H 40/63 (2006.01)

PCT/EP2022/074909 2022.09.07

G16H 50/50 (2006.01)

(87) PCT国际申请的公布数据

A61M 16/00 (2006.01)

W02023/052071 EN 2023.04.06

(71) 申请人 皇家飞利浦有限公司

地址 荷兰艾恩德霍芬市

(72) 发明人 C • P • 亨德里克斯 R • 布依扎

R • 普廖里 M • 波尔基

J • 萨布克兹尼斯基 R • 威克

权利要求书2页 说明书9页 附图6页

(54) 发明名称

用于安全机械通气的使用机械通气机数据和床边成像信息校准和更新的肺的数字孪生

(57) 摘要

一种机械通气设备,包括至少一个电子控制器,其被配置为接收与患者的肺相关联的成像数据和经肺压力数据;执行吸气图像和呼气图像的可变形图像配准,以产生肺的相对顺应性图或相对弹性图;基于吸气经肺压力和呼气经肺压力,将肺的相对顺应性图或相对弹性图转换为肺的定量顺应性图或定量弹性图;以及在显示设备上显示与定量顺应性图或定量弹性图相关或从该定量顺应性图或定量弹性图得到的信息。

1. 一种机械通气设备,包括至少一个电子控制器,所述电子控制器被配置为:
接收当患者利用机械通气机进行机械通气治疗时、与所述患者的肺相关联的成像数据和经肺压力数据,其中所述成像数据包括:
在所述机械通气治疗的吸气阶段期间获取的吸气图像;以及
在所述机械通气治疗的呼气阶段期间获取的呼气图像;并且所述经肺压力数据包括:
获取所述吸气图像时的吸气经肺压力;以及
获取所述呼气图像时的呼气经肺压力;
执行所述吸气图像和所述呼气图像的可变形图像配准,以产生所述肺的相对顺应性图或相对弹性图;
基于所述吸气经肺压力和所述呼气经肺压力,将所述肺的所述相对顺应性图或所述相对弹性图转换为所述肺的定量顺应性图或定量弹性图;以及
在显示设备上显示与所述定量顺应性图或所述定量弹性图相关或从所述定量顺应性图或所述定量弹性图得到的信息。
2. 根据权利要求1所述的设备,其中所述至少一个电子控制器进一步被配置为:
在所述机械通气治疗期间接收取决于时间的气道气流;以及
选择所述吸气图像和所述呼气图像作为在所述气道气流为零时获取的所述成像数据的图像。
3. 根据权利要求1所述的设备,其中所述至少一个电子控制器被配置为:
进一步基于所述患者的所述肺的气道树,将所述肺的所述相对顺应性图或所述相对弹性图转换为所述肺的所述定量顺应性图或所述定量弹性图。
4. 根据权利要求3所述的设备,其中所述至少一个电子控制器被配置为:
通过从所述成像数据的至少一个图像提取所述患者的所述肺的所述气道树,生成所述患者的所述肺的所述气道树。
5. 根据权利要求1所述的设备,其中所述至少一个电子控制器被配置为:
通过对由响应于所述机械通气治疗的所述肺的所述定量顺应性图或所述定量弹性图表示的所述患者的所述肺中的应力分布和应变分布进行建模,生成所述患者的所述肺的数字孪生。
6. 根据权利要求5所述的设备,其中所述至少一个电子控制器被编程为:
接收更新的成像数据;以及
利用更新的所述成像数据更新所述数字孪生。
7. 根据权利要求5所述的设备,进一步包括:
机械通气机,被配置为向所述患者递送所述机械通气治疗;
其中所述至少一个电子控制器被编程为:
控制所述机械通气机以使用所述数字孪生来调整递送到所述患者的所述机械通气治疗的一个或多个参数。
8. 根据权利要求5所述的设备,其中被显示的与所述定量顺应性图或所述定量弹性图相关或从所述定量顺应性图或所述定量弹性图得到的所述信息包括:
所述数字孪生的图形表示。
9. 根据权利要求1所述的设备,进一步包括:

成像设备,被配置为获取所述成像数据。

10. 根据权利要求9所述的设备,其中所述成像设备是计算机断层扫描(CT)成像设备。

11. 根据权利要求1所述的设备,其中所述至少一个电子控制器被编程为:

在所述机械通气机的显示设备上显示曲线图,所述曲线图示出所述机械通气机的相对于所述肺上的应变的设置。

12. 根据权利要求11所述的设备,其中所述至少一个电子控制器被编程为:

基于所述患者的临界水平,对与所述机械通气机的所述设置相关的所述曲线图上的线进行颜色编码。

13. 根据权利要求12所述的设备,其中所述至少一个电子控制器被编程为:

当所述肺上出现临界应变值时输出警报。

14. 根据权利要求11所述的设备,其中所述至少一个电子控制器被编程为:

接收来自用户在所述显示设备上的、在所显示的所述曲线图的一部分上的用户输入;以及

显示与所述曲线图中接收到所述用户输入的所述部分相关的附加信息。

15. 一种机械通气方法,包括利用至少一个电子控制器:

接收当患者利用机械通气机进行机械通气治疗时、与所述患者的肺相关联的成像数据和经肺压力数据,其中所述成像数据包括:

在所述机械通气治疗的吸气阶段期间获取的吸气图像;以及

在所述机械通气治疗的呼气阶段期间获取的呼气图像;并且所述经肺压力数据包括:

获取所述吸气图像时的吸气经肺压力;以及

获取所述呼气图像时的呼气经肺压力;

执行所述吸气图像和所述呼气图像的可变形图像配准,以产生所述肺的相对顺应性图或相对弹性图;

基于所述吸气经肺压力和所述呼气经肺压力,将所述肺的所述相对顺应性图或所述相对弹性图转换为所述肺的定量顺应性图或定量弹性图;以及

在显示设备上显示与所述定量顺应性图或所述定量弹性图相关或从所述定量顺应性图或所述定量弹性图得到的信息。

用于安全机械通气的使用机械通气机数据和床边成像信息校准和更新的肺的数字孪生

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本专利申请根据35U.S.C. §119(e) 要求提交于2021年9月30日的美国临时申请号63/250,253的优先权,该临时申请的内容通过引用并入本文。

[0003] 以下一般涉及呼吸治疗技术、呼吸压力和应变技术、通气机诱导的肺损伤(VILI)技术和相关技术。

背景技术

[0004] 在患者的机械通气治疗期间,临床医生基于患者的体型决定机械通气机应向患者提供的空气体积。该体积需要提供足够的通风,而不会由于应力(气压伤)、应变(体积伤)或由于肺泡的周期性打开和塌陷而产生的剪切(肺不张伤)而对肺造成损伤。这种由机械通气机施加的应力和应变引起的肺损伤被称为通气机诱导的肺损伤(VILI)。

[0005] 确定用于预防肺损伤的机械通气机设置的问题是,肺是不均匀的,本质上是由于局部变化的结构、几何形状和机械性质,或者次要地是由于疾病或感染(诸如慢性阻塞性肺病(COPD)、肺炎、水肿、Covid-19、纤维化等)引起的局部损伤或流体积聚。这可能导致局部应力和应变浓度远高于表观全局应力和应变,这可以基于患者的体型进行估计,或可以基于通过复杂的机械通气机测量的集总体积和顺应性进行估计。

[0006] 在一些目前的方法中,提供了一种用于评估和预防VILI的解决方案,包括基于计算机断层扫描(CT)呼气成像信息构建患者肺的三维(3D)生物物理模型(例如,参见Roth,J.等人,2017,“A comprehensive computational human lung model incorporating inter-acinar dependencies: Application to spontaneous breathing and mechanical ventilation”, Int. J. Numer. Meth. Biomed. Engng. (2017); e02787)。利用该模型,临床医生可以尝试机械通气机(MV)设置,并且经由仿真观察肺中发生的情况(例如,实质组织中的应变分布)。肺组织的机械性质(即肺泡管和肺泡间链接体的刚度)被选择为使得肺模型仿真实验行为。在该方法中,机械性质不是患者特有的,并且不是局部变化的。

[0007] 在可变形图像配准(DIR)中,通过使用变形模型将两个或更多个图像几何绘制到彼此上。它可以应用于在两个或更多个医学图像(例如,肺的吸气CT和呼气CT)中找到对应的体素或区域,或者通过示出对应组织元素的相对体积变化(即体积应变)来构建变形图。可以使用各种变形模型(例如,刚性、弹性、粘性、滑动表面等)。这样,DIR可以提供肺中结构和组织的区域变形的绘制,这为预防重症监护患者体内的VILI提供了有用的诊断信息。例如,(体积)应变的估计与机械通气肺中的肺炎症和损伤相关(例如,参见Andrade, C.I.和Hurtado, D.e., 2021, “Inelastic Deformable Image Registration (i-DIR): Capturing Sliding Motion through Automatic Detection of Discontinuities”, Mathematics 2021, 9, 97), 以及COPD的评估(例如,参见Galban, C.等人, 2012, “Computed tomography-based biomarker provides unique signature for diagnosis of COPD phenotypes and disease progression”, Nature Medicine 18(11), 1711; Budduluri, S., 2016, “CT

image registration-based lung mechanics In COPD”, PhD(哲学博士)论文,爱荷华大学,2016)。

[0008] 在线性弹性力学变形模型的情况下,如果力均匀分布,则应变图表示相对顺应性图,这是因为在线性弹性机械变形中,顺应性 C 与应变除以力成比例, $C \sim e/F$ 。对应地,因为弹性模量是 $E=1/C$,所以顺应性图的倒数是刚度图。不需要知道对应的力 F 。需要力 F (机械通气机压力) 在肺中均匀分布并且没有阻力(零流量)。这就是为什么在肺顺应性绘制中使用DIR屏息或暂停操纵。在操纵期间,确定平台压力。

[0009] 已知麻醉和插管啮齿动物的肺顺应性图(“肺部顺应性图像”)的构建(参见,例如,Guerrero,T.等人,2006,“Novel method to calculate pulmonary compliance images in rodents from computed tomography acquired at constant pressures”, Phys.Med.Biol.51(2006)1101-1112)。通过在不同的压力水平下组合肺部顺应性图和由机械通气机提供的屏气期间的全局压力,生成此类图从而以定量方式计算全局肺部顺应性,以测量非线性组织反应。此外,此类过程构建了“质量比肺部顺应性”图,以每克肺组织每cm H₂O的空气毫升(mL)为单位。

[0010] 下面公开了克服这些问题和其他问题的某些改进。

发明内容

[0011] 在一个方面,一种机械通气设备包括至少一个电子控制器,该电子控制器被配置为接收在患者利用机械通气机进行机械通气治疗时、与患者的肺相关联的成像数据和经肺压力数据,其中该成像数据包括在机械通气治疗的吸气阶段期间获取的吸气图像;以及在机械通气治疗的呼气阶段期间获取的呼气图像;并且经肺压力数据包括获取吸气图像时的吸气经肺压力;以及获取呼气图像时的呼气经肺压力;执行吸气图像和呼气图像的可变形图像配准,以产生肺的相对顺应性图或相对弹性图;基于吸气经肺压力和呼气经肺压力将肺的相对顺应性图或相对弹性图转换为肺的定量顺应性图或定量弹性图;并且在显示设备上显示与定量顺应性图或定量弹性图相关或从该定量顺应性图或定量弹性图得到的信息。

[0012] 在另一个方面,一种机械通气方法包括利用至少一个电子控制器:接收在患者利用机械通气机进行机械通气治疗时、与患者肺相关联的成像数据和经肺压力数据,其中该成像数据包括在机械通气治疗的吸气阶段期间获取的吸气图像;以及在机械通气治疗的呼气阶段期间获取的呼气图像;并且经肺压力数据包括获取吸气图像时的吸气经肺压力;以及获取呼气图像时的呼气经肺压力;执行吸气图像和呼气图像的可变形图像配准,以产生肺的相对顺应性图或相对弹性图;基于吸气经肺压力和呼气经肺压力将肺的相对顺应性图或相对弹性图转换为肺的定量顺应性图或定量弹性图;并且在显示设备上显示与定量顺应性图或定量弹性图相关或从该定量顺应性图或定量弹性图得到的信息。

[0013] 一个优点在于提供进行机械通气治疗的患者的肺的模型,该模型具有不均匀的组织刚度的机械性质、患者特定性和校准的机械性质。

[0014] 另一个优点在于提供进行机械通气治疗的患者的肺的模型,该模型具有与肺的机械性质对应的颜色编码的组织图片段。

[0015] 另一个优点在于在机械通气机的显示设备上提供进行机械通气治疗的患者的肺的模型,从而减少了重症监护室(ICU)中对额外计算机的需要。

[0016] 另一个优点在于提供进行机械通气治疗的患者的肺的模型,该模型利用患者的额外成像数据进行动态更新。

[0017] 另一个优点在于提供正在进行机械通气治疗的患者的胸腔(包括患者的肺)的数字孪生,该数字孪生可用于对机械通气机的设置的改变进行仿真。

[0018] 给定的实施例可以不提供任何上述优点、提供一个、两个、更多或所有上述优点,和/或可以提供本领域普通技术人员在阅读和理解本公开后将显而易见的其他优点。

附图说明

[0019] 本公开可以采取各种组件和组件的布置,以及各种步骤和步骤的布置。附图仅用于示出优选实施例的目的,并且不应被解释为限制本公开。

[0020] 图1概略地示出了根据本公开的说明性机械通气系统。

[0021] 图2示出了由图1的系统适当执行的操作的示例流程图。

[0022] 图3和图4示出了由图1的系统生成的图的示例。

[0023] 图5概略地示出了由图1的系统生成的数字孪生的示例。

[0024] 图6示出了用于生成图5所示的数字孪生的操作的示例流程图。

[0025] 图7示出了由图1的系统生成的示例曲线图。

具体实施方式

[0026] 如本文所用,“一个”、“一件”和“该”的单数形式包括复数形式,除非上下文另有明确规定。如本文所用,两个或更多个部件或组件“耦合”、“连接”或“接合”的陈述应指只要发生链接,这些部件就直接或间接地一起联接、操作或共同作用,即通过一个或多个中间部件或组件。本文中使用的定向短语,比如,例如但不限于,顶部、底部、左侧、右侧、上部、下部、前部、后部及其衍生形式,涉及附图所示的元件的定向,并且不限制所要求保护的发明的范围,除非文中明确列举。单词“包括(comprising)”或“包括(including)”不排除存在除本文所述和/或权利要求中列出的那些元件或步骤之外的元件或步骤的存在。在由若干装置组成的设备中,这些装置中的若干装置可以由同一硬件项目来实现。

[0027] 本文公开了用于支持床边临床医生和护理提供者提供安全机械通气的系统和方法,包括指导临床医生选择不会在特定患者体内产生VILI的通气机设置。

[0028] 使用可变形图像配准(DIR)与CT或X射线绘制线性或非线性局部肺顺应性数(相对数)。在呼吸周期中的零流量触发或定时成像,以确定绝对压力,而无需使用屏息操纵或暂停操纵。与成像同时,获取经肺压力读数。利用机械通气机数据执行图像校准,以将相对肺顺应性转换为绝对数。这使用了经肺压力值。该过程的输出是定量弹性图。

[0029] 然后生成患者胸腔(包括肺)的数字孪生,即四维(4D,空间和时间维度)生物物理肺模型,包括结构、通气和变形方面,其利用机械通气机数据和床边成像信息(例如使用成像模态,诸如X射线或超声)进行连续校准和更新。数字孪生对不同通气机设置下肺中的影响进行仿真,特别是组织压力。肺模型的输入是先前获取的定量弹性分布。

[0030] 一些实施例进一步提供了具有易于读取的显示的用户界面(UI)。模型输出被转换为可动作的临床决策支持(CDS)信息。机械通气机的用户界面(UI)示出了供临床医生决定的选项。

[0031] 参考图1,示出了用于向相关联患者P提供通气治疗的机械通气机2。如图1所示,机械通气机2包括出口4,该出口可与患者呼吸回路5连接以向患者P递送机械通气。患者呼吸回路5包括用于机械通气机的典型组件,比如入口管线6、可选的出口管线7(如果通气机采用单肢患者回路,则可以省略该组件)、用于与气管内导管(ETT)连接的连接器或端口8,以及一个或多个呼吸传感器(未示出),比如气体流量计、压力传感器,潮气末二氧化碳(etCO₂)传感器等。机械通气机2被设计为以编程的压力和/或流速将空气、空气-氧气混合物或其他可呼吸气体(供应未示出)递送到出口4,以经由ETT对患者进行通气。机械通气机2还包括用于控制机械通气机2的操作的电子控制器(例如,微处理器)13,以及用于在患者P的机械通气期间显示关于患者P的信息和/或机械通气机2的设置的显示设备14。

[0032] 图1概略地示出了用ETT 16(其下部处于患者P体内,并且因此以虚线示出)插管的患者P。连接器或端口8与ETT 16连接以可操作地连接机械通气机2,从而经由ETT 16将可呼吸空气递送到患者P。由机械通气机2经由ETT 16提供的机械通气可以治疗宽范围的病症,诸如,如肺气肿或肺炎等各种类型的肺部病症、诸如COVID-19感染或严重流感等影响呼吸的病毒或细菌感染、心血管病症,其中患者P接受富含氧气的可呼吸气体,等等。

[0033] 图1还示出了医学成像设备15(也称为图像获取设备、成像设备等)。图像获取设备15可以是计算机断层扫描(CT)图像获取设备、C臂成像器或其他X射线成像设备;磁共振(MR)图像获取设备;超声(US)图像获取设备;或者另一种模态的医学成像设备。如本文主要描述的,医学成像设备15包括CT医学成像设备。如本文所述,医学成像设备15用于获取患者P的图像,基于该图像执行ETT尺寸确定。应当注意的是,成像设备15可以不与机械通气机2位于同一房间,或者甚至不位于同一部门。例如,医学成像设备15可以位于放射科实验室中,而机械通气机2可以位于重症监护室(ICU)、心脏监护室(CCU)、分配给患者P的病房中,等等。这在图1中由分隔线L概略地指示。另外或可替代地,可以使用床边成像设备15B,比如说明性的超声成像设备。

[0034] 继续参考图1,示出了电子处理设备18,该电子处理设备被配置为在患者P的机械通气期间生成与患者P和/或机械通气机2的设置相关的数据。电子处理设备18可以包括电子处理设备,诸如工作站计算机(更一般地,计算机)、智能设备(例如,智能手机、平板计算机等)、或服务器计算机或多台服务器计算机(例如,互连以形成服务器集群、云计算资源等)。电子处理设备18包括典型的组件,诸如电子控制器20(例如,电子处理器或微处理器)、至少一个用户输入设备(例如,鼠标、键盘、轨迹球、智能设备的触摸屏上的手指滑动等)22,以及至少一个显示设备24(仅在图1中示出,例如LCD显示器、等离子体显示器、阴极射线管显示器等)。在一些实施例中,显示设备24可以是与电子处理设备18分离的组件。显示设备24还可以包括两个或更多个显示设备。

[0035] 电子控制器20与一个或多个非暂时性存储介质26可操作地连接。作为非限制性说明性示例,非暂时性存储介质26可以包括以下中的一个或多个:磁盘、RAID或其他磁存储介质;固态驱动器、闪存驱动器、电子可擦除只读存储器(EEROM)或其他电子存储器;光盘或其他光学存储;其各种组合;等等;并且可以是例如网络存储器、通气辅助设备18的内部硬盘驱动器、其各种组合,等等。应当理解,本文中对一个或多个非暂时性介质26的任何提及都应广泛地理解为包括相同或不同类型的单个介质或多个介质。同样,电子控制器20可以体现为单个电子处理器或者体现为两个或更多个电子处理器。非暂时性存储介质26存储可由

至少一个电子控制器20执行的指令。这些指令包括生成用于在远程操作员显示设备24上显示的图形用户界面 (GUI) 28的指令。

[0036] 此外,如本文所公开的,非暂时性存储介质26存储可由至少一个电子控制器20执行的指令,以执行通气辅助方法或过程100,从而向患者P提供通气治疗。

[0037] 应理解,如前所述,机械通气机2 (可以设置在医疗设施的第一房间中,而图像获取设备15和电子处理设备18可以设置在该医疗设施的不同的第二房间中)。这由图1的大致“中间”部分中的虚线L描绘。在另一示例中,机械通气机2和电子处理设备18可以设置在第一房间中,而图像获取设备15设置在医疗设施的第二房间中。在另一示例中,机械通气机2、图像获取设备15和电子处理设备18中的每者都可以设置在医疗设施的单独房间中。另外或可替代地,床边成像设备15B可以设置在患者的房间中。这些仅仅是说明性的示例。

[0038] 如本文所述,方法100可以由电子处理设备18执行,或者可以由机械通气机2的电子控制器13执行。

[0039] 参考图2,并继续参考图1,通气辅助方法100的说明性实施例作为流程图概略地示出。在操作102,通过医学成像设备15获得患者的一个或多个图像34。在特定示例中,所获取的图像34是CT图像34。为了获取CT图像34,电子控制器20被配置为控制医学成像设备15 (即,CT扫描仪) 以获取患者P的上呼吸道或呼吸道 (例如,从鼻子或嘴到隆突) 的CT图像34。

[0040] 成像操作102包括分析图像34,以确定在机械通气治疗的吸气阶段期间获取的吸气图像35和在机械通气治疗的呼气阶段期间获得的呼气图像36。例如,可以在患者P的最大吸气时获取吸气图像35,并且可以在患者P的最大呼气时获取呼气图像36。在与成像操作102同时执行的操作104中,还测量与患者P的肺相关联的经肺压力数据。经肺压力数据可以包括例如吸气经肺压力,诸如在获取吸气图像35时测量的经肺压力读数,以及呼气经肺压力,诸如在获取呼气图像36时测量的其他经肺压力读数。

[0041] 在一些实施例中,成像操作102可以包括在机械通气治疗期间接收取决于时间的气道气流,并且吸气图像35和呼气图像36被选择为在气道气流为零时获取的成像数据的图像。然后可以在操作104中同时测量经肺压力 (例如,利用具有压力传感器的食道导管,或者使用例如Umbrello, M. 和 Chiumello, D., 2018, “Interpretation of the transpulmonary pressure in the critically ill patient”, Ann Transl. Med 2018; 6(19): 383 中描述的方法)。

[0042] 在操作106,执行吸气图像35和呼气图像36的可变形图像配准 (DIR), 以产生肺的相对顺应性图或相对弹性图38。从DIR操作106确定个体肺组织上的体积应变,并且连同从机械通气机2 (从操作104) 施加在个体肺组织上的全局压力一起,可以在相对顺应性图或相对弹性图38中确定个体肺组织的刚度值。在一个示例中,对于弹性变形,弹性模量等于 $E_{\text{local}} = \Delta p \cdot V_{\text{local}} / \Delta V_{\text{local}}$ 。可替代地,顺应性图或弹性图38可以通过用全局肺变形缩放局部变形并且将来自机械通气机2的全局肺顺应性C或弹性E作为参考来校准: $E_{\text{local}} / E = \Delta V_{\text{global}} / \Delta V_{\text{local}}$ 。图3示出了使用全局压力 Δp 的相对顺应性图或相对弹性图38的示例。

[0043] 在另一个实施例中,操作106可以使用DIR与X射线或CT来执行,类似的变形图可以直接从患者P床边的电阻抗断层扫描 (EIT) 获得。优点是,由于EIT是可穿戴技术,因此可以连续更新顺应性图或弹性图38。类似地,床边成像设备15B可以在操作102中用于获取吸气图像和呼气图像。因为床边成像通常可以更频繁地执行,所以这将使得能够更频繁地更新

数字孪生。

[0044] 在操作108,基于吸气经肺压力和呼气经肺压力(从操作104获得),将肺的相对顺应性图或相对弹性图38转换为肺的定量顺应性图或定量弹性图39。经肺压力是胸膜腔内肺泡压力与胸膜内压力之间的差值。因此,经肺压力是引起肺组织变形的实际压力,使得使用本文公开的经肺压力使操作108能够将相对顺应性图或相对弹性图38转换为定量顺应性图或定量弹性图39。在一些示例中,可以使用患者P的肺的气道树40来执行转换操作108。气道树40有利地可以是从小在操作102处获取的一个或多个图像34提取的患者特定气道树。

[0045] 气道树40可以是一维(1D)气流模型,该气流模型示出不同气道生成中个体肺组织的局部阻力。气道树40的患者特定参数可以从例如在操作102中获取的分段3D-CT扫描中获得(例如,气道生成的分布、长度和直径)。可替代地,当CT扫描不可用时(例如,如果使用不能有效地对气道树40成像的成像模式来执行成像102),可以使用具有一些气道生成的通用支气管树网络。可选地,可以用测量的全局肺阻力来校准个体肺组织的局部阻力。当已知气道树40中的局部压力分布时,可以使用局部压力 Δp_{local} 而不是全局压力 Δp 来估计局部弹性。图4示出了使用局部压力 Δp_{local} 生成的相对顺应性图或相对弹性图38的示例。

[0046] 在操作110,可以通过响应于机械通气治疗,对由肺的定量顺应性图或定量弹性图39表示的患者肺中的应力和应变分布进行建模,来生成患者P的肺的数字孪生42。本文使用的肺的“数字孪生”是指实体肺的虚拟表示。使用计算建模,患者P的肺的数字孪生42使用传感器数据和从肺连续获取的其他信息来对生理过程进行仿真。数字孪生42可以被连续更新以评估患者P的肺功能,以反映患者P的状态(即,肺功能、疾病进展等)和对患者P的未来预测(即,优化机械通气机2的设置),从而提供最佳可能结果(即,以最小的损伤更快地恢复患者)。为此,可以接收更新的成像数据(即,附加图像34)并且将其用于更新数字孪生42。

[0047] 图5概略地示出了数字孪生42和辅助部件的示例。数字孪生42可以由在操作102中获取的图像34(例如,经由CT、X射线或超声(US))和在操作104中获取的对应的经肺压力读数来生成,并且数字孪生42可以存储在云或电子处理设备18的非暂时性计算机可读介质26中。临床医生可以经由机械通气机2检索并且使用数字孪生42,以对数字孪生42上的不同机械通气机设置进行仿真。基于仿真,临床医生可以调整机械通气机2的设置以治疗患者P。

[0048] 参考图6,并继续参考图1和图5,数字孪生生成和使用方法200的说明性实施例作为流程图概略地示出。在操作202,利用图像获取设备15生成一个或多个CT图像34。在操作204,电子处理设备18被配置为从图像34生成患者P的肺的解剖结构和几何形状模型。在操作206,使用肺的定量顺应性图或定量弹性图39,使用肺组织的局部机械性质来校准模型的机械性质,以生成数字孪生42。在操作208,应用计算流体动力学和计算力学过程来创建肺的流动和变形模型。在操作210,确定机械通气机初始设置(使用医学界接受的(多个)已知协议)。在操作212,对数字孪生42执行局部组织应力仿真,以对在不同通气设置(例如,流量、体积、压力、上升时间等)下对肺的影响(例如,组织应力和应变)进行仿真。由此,在操作214,由算法(或者可选地由临床医生)确定更新的机械通气机设置。例如,潮气体积或压力可以减少规定的量,以降低局部肺应变或应力,使得这些值不超过预定阈值。在操作216,在机械通气机2的显示设备14上显示一个或多个设置选项,包括所产生的肺应力。在操作218,临床医生选择所显示的设置选项中的一个或多个设置选项,这些设置选项然后由机械通气机2使用。在操作220,使用所选设置选项的机械通气治疗的结果显示在机械通气机2的显示

设备14上(在该点处可以重复操作204、206和/或212中的一个或多个操作,如图6中的箭头所示)。在操作222,可以执行患者P的床边成像(例如,EIT成像或X射线成像),并且可以进一步使用成像数据来更新数字孪生42,在该点处可以重复操作204。在操作224,临床医生可以决定是否继续进行机械通气治疗,并且如果是,则在操作226,患者P可以拔管(例如,通过移除ETT 16)。

[0049] 返回参考图1和图2,在操作112,可以控制机械通气机2,以使用数字孪生42来调整递送给患者P的机械通气治疗的一个或多个参数。

[0050] 在操作112,与定量顺应性图或定量弹性图39和/或数字孪生42相关或从其得到的信息可以显示在机械通气机2的显示设备14上。在一个实施例中,数字孪生42的图形表示可以显示在显示设备14上。数字孪生42的表示可以包括临床决策支持(CDS)信息,并且将该信息在机械通气机2的显示设备14上示出,使得临床医生可以快速且容易地选择或决定最佳机械通气治疗方案。例如,数字孪生42可以被显示,并且包括可选择的选项,以用于根据情况需要、患者护理路径和临床医生的专业知识继续进行机械通气治疗。

[0051] 取决于患者护理路径,临床医生可能需要不同类型的信息和支持来预防机械通气中的VILI,这些信息和支持可以显示在显示设备14上,包括选项(1)关于肺异质性的诊断数据和信息(例如,将来自功能性呼吸图像(FRI)的信息压缩为单个度量);选项(2)结果预测(即,提供尽可能短的停留时间的机械通气模式,或在机械通气失败时尽早选择其他治疗选项);选项(3)治疗计划支持(例如对MV参数和输出肺组织应力进行仿真);或选项(4)监测信息以执行和维持安全的机械通气,以及在必要时调整机械通气设置的建议。

[0052] 取决于情况,比如临床医生是否有足够的时间或很匆忙,临床医生是否处于计划中的例行就诊或紧急情况,信息的性质或系统所需的动作可能不同。然后可以在显示设备14上显示不同的选项,包括选项(A)当有足够的时间或有计划的例行就诊时:“示出现在正在发生的事情,或在治疗适应后将发生的事情”;选项(B)当时间有限时,患者P现在需要帮助,或者是紧急情况,“提供建议,或者一些场景可供选择;或者选项(C)当没有时间时,或者临床医生不在场时“自动化任务”。

[0053] 取决于临床医生的专业知识,可以在显示设备14上显示不同的选项,包括选项(i)肺科医生;或选项(ii)护士。

[0054] 在机械通气机2的电子处理器13中实现的查找表44可以用于确定哪些选项显示在显示设备14上。例如,查找表44可以接收医院部门议程、机械通气机传感器数据 and 环境传感器数据作为输入。根据这些输入,查找表44可以选择哪些选项(例如,选项1-4、A-C或i-ii)可以显示在显示设备14上。例如,对于情况方面,如果医院部门议程指示计划的例行就诊,则查找表44可以选择要显示的选项A以供选择。如果医院部门议程指示没有例行就诊并且存在警报,则查找表44可以选择要显示的选项B以供选择。如果没有护理人员在场(例如,从在场检测器、摄像机、麦克风、徽章读取器活动等确定),则查找表44可以选择要显示的选项C以供选择。

[0055] 对于专业知识方面,如果检测到护理人员的存在(例如,通过激活的面部或语音识别,或另一种自动识别技术,如来自徽章读取器的信息等),则从非暂时性计算机可读介质26导入专业知识级别(例如,肺科医生或护士),并且查找表44可以选择选项(i)或(ii)以供显示。

[0056] 对于患者护理路径方面,患者的护理路径阶段可以在急诊室信息系统、电子病历(EMR)数据库或另一个医院部门信息系统中注册。例如,如果患者P被诊断为患有严重的COVID-19并且被送入ICU,则查找表44可以选择选项3以供显示。在另一个示例中,如果患者P在ICU中通气一周,并且病情正在恶化,则查找表44可以选择选项4以供显示。

[0057] 在一些实施例中,可以显示多种类型的选项(例如,可以显示选项1、A和i,可以显示选择项3、B和ii,等等)。在其他实施例中,可以在显示设备14上按下按钮以示出标准或空白用户界面(UI),或者可以按下按钮以示出由查找表44选择的选项。

[0058] 在一些实施例中,显示操作112可以包括在显示设备14上显示曲线图46,该曲线图示出了机械通气机2相对于肺上应变的设置。在一个示例中,曲线图46可以是示出肺的潮气体积和肺上的应变的条形图。条形图46可以包括表示左肺和右肺的两列以及潮气体积滑块。还可以显示超过临界应变(例如, $e > 2$)的肺的百分比。条形图也可以进行颜色编码。例如,“绿色”条可以指示0%的肺过载(即应变)。“红色”条可以指示肺叶中的一个肺叶过度应变超过阈值(例如30%应变)。

[0059] 在其他示例中,曲线图46可以是折线图。折线图46可以示出根据机械通气设置的超过临界应变(例如, $e > 2$)的肺的百分比。在一些示例中,临界应变 e 可以是基于图像34所示的肺损伤(例如,来自肺气肿或纤维化)的患者特定应变。在其他示例中,曲线图46可以基于由机械通气机2的电子控制器13(或电子处理设备18的电子控制器20)执行的患者相似性分析来示出机械通气设置的改变对预期结果的影响。相似性分析使用纵向机械通气设置和机械通气传感器数据、诊断扫描、床边成像、患者特性和报告结果作为输入。例如,带有绿色、琥珀色和红色区域的图标指示根据机械通气设置预测的患者住院时间(以天为单位)。例如,从类似的COVID-19患者身上看,因为已经形成了太多的纤维化,所以现在进行有创机械通气似乎为时已晚。

[0060] 在其他示例中,折线图46还可以包括在患者P的呼吸周期期间实时的肺组织应力值或体积分布(例如,基于呼吸变短时发生的事件)。折线图46还可以示出其他数据,包括肺中存在的顺应性或弹性的范围、每个肺中的生物机械学度量(体积、弹性等)的比率等等。

[0061] 图7示出了显示在显示设备14上的折线图46的示例。如图7所示,表示肺的不同潮气体积的三条线被绘制为接受某种应变的肺的百分比与肺上的应变百分比。表示潮气体积1和2的线示为已达到或超过临界应变值(例如, $e = 2$),在这种情况下,可以向临床医生输出警报48(见图1)(即,作为显示设备14上的消息或作为音频音调)。

[0062] 在一些示例中,尽管图7中未示出,但可以基于患者P的临界水平对不同的线进行颜色编码。例如,潮气体积线1可以颜色编码为红色(指示肺上的高应变,因此需要临床医生的注意),潮气体积线2可以颜色编码为黄色(指示肺上的适度高应变,并且因此可能需要临床医生的注意),并且潮气体积线3可以颜色编码为绿色(指示肺的不超过临界值的低应变,并且因此不需要临床医生的注意)。

[0063] 在其他实施例中,临床医生可以在显示设备上选择曲线图46的一部分(例如,用手指敲击或滑动指示用户输入)。基于曲线图46中的接收到用户输入的部分,可以在显示设备14上显示与曲线图46的该部分相关的附加信息。例如,如果临床医生选择潮气体积线2,则可以显示该潮气体积的精确应变值(分布),并且临床医生可以决定是否调整机械通气机2的设置。

[0064] 已经参考优选实施例描述了本公开。在阅读和理解前面的详细描述后,其他人可能会发生修改和更改。旨在将示例性实施例解释为包括所有此类修改和更改,只要它们落入所附权利要求或其等同形式的范围内。

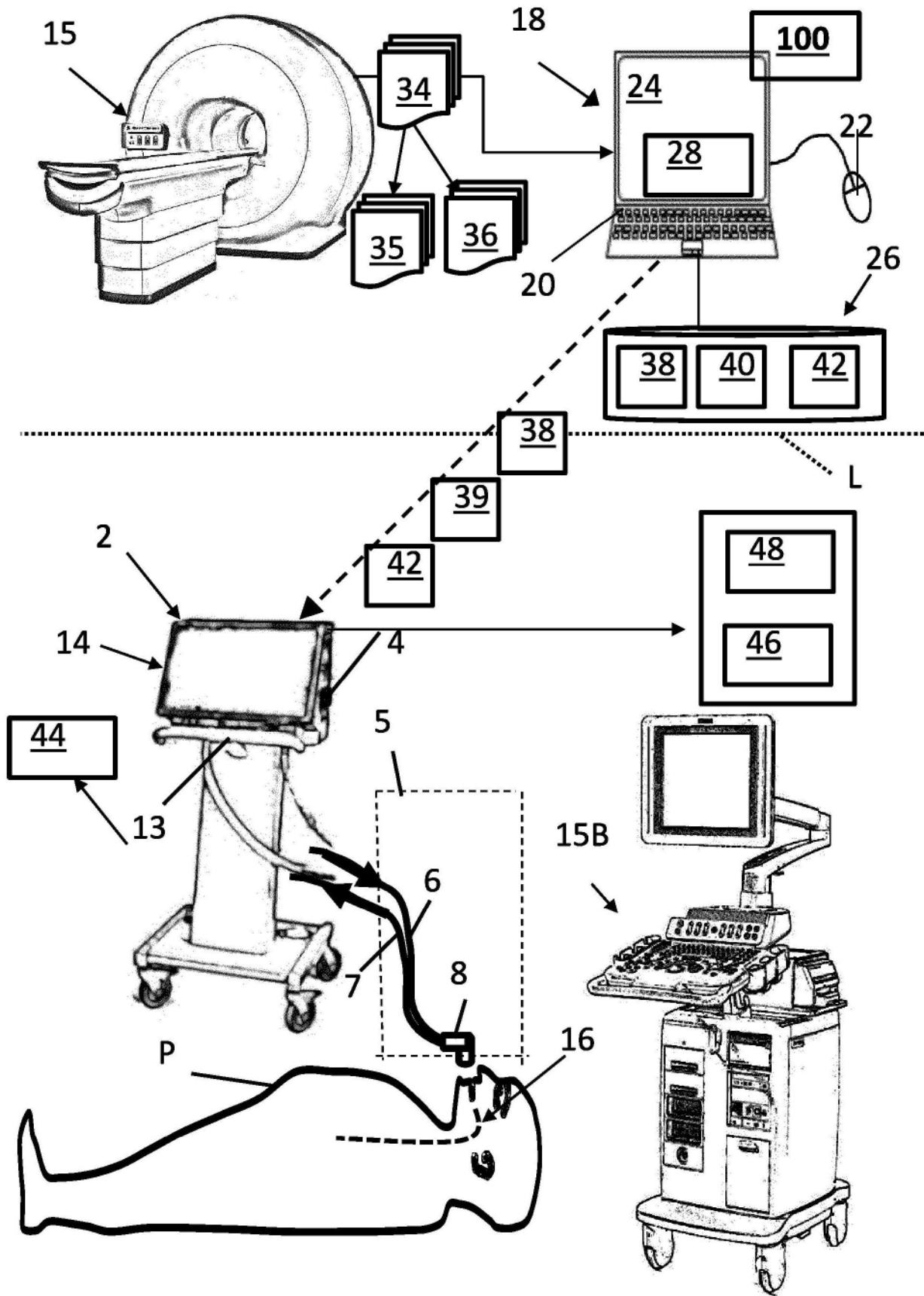


图1

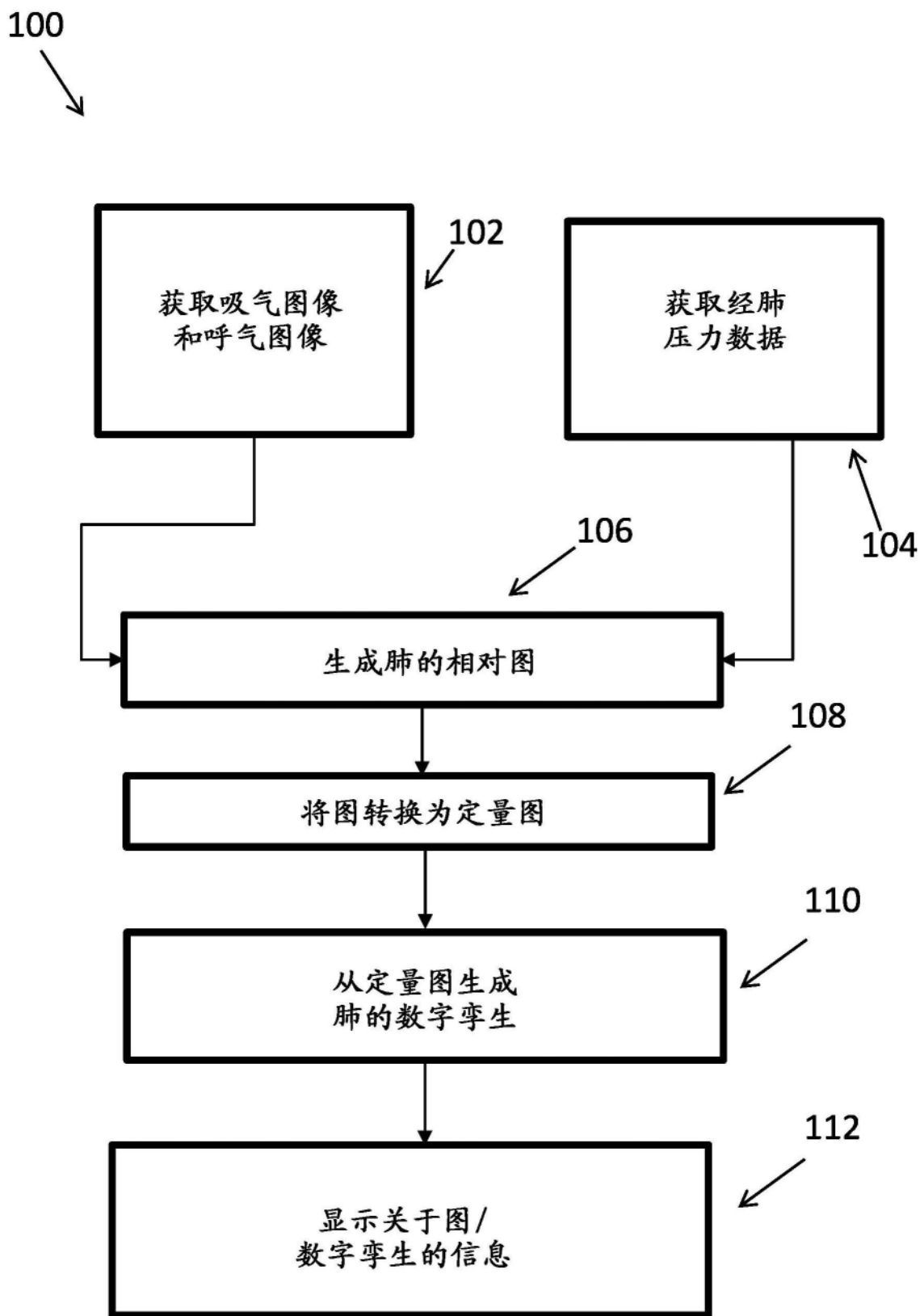


图2

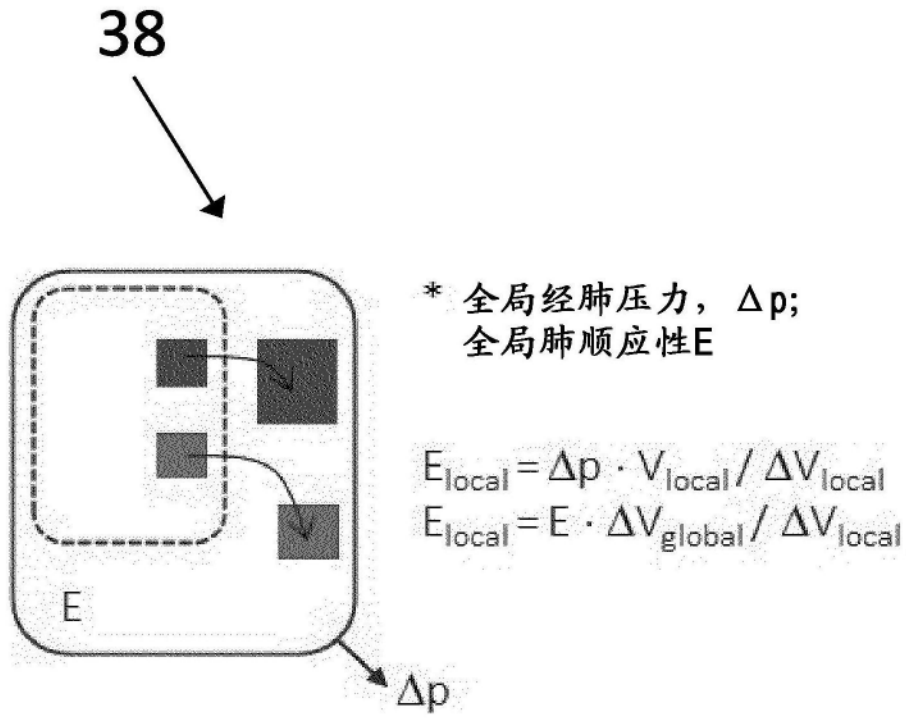


图3

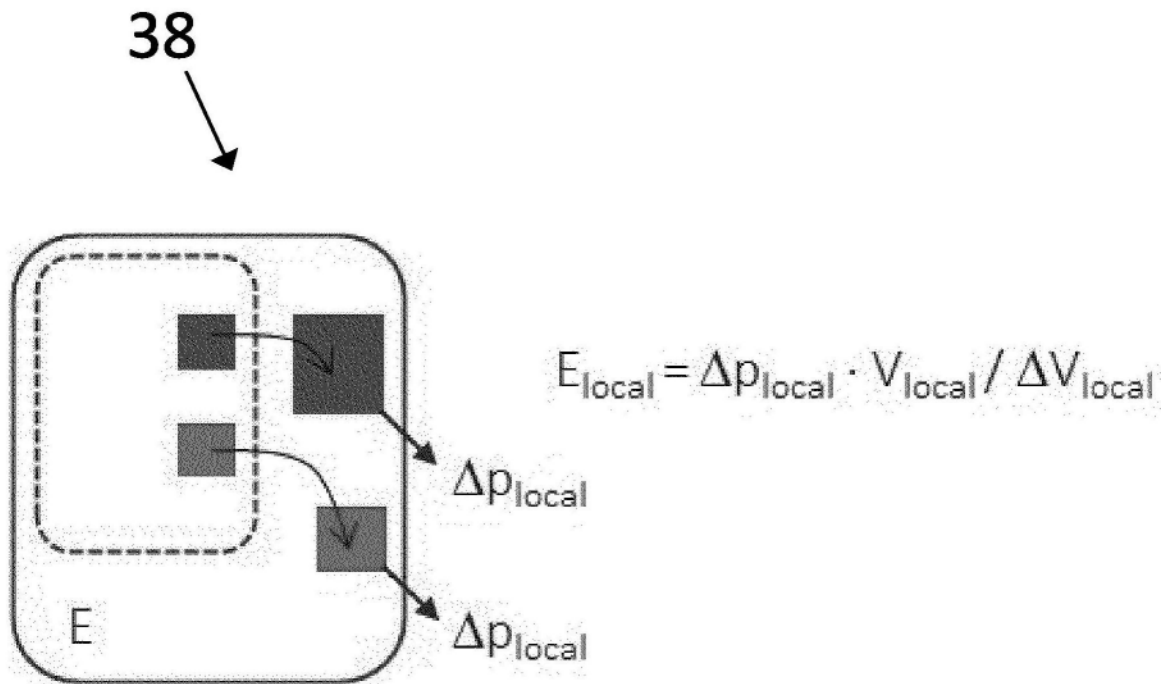


图4

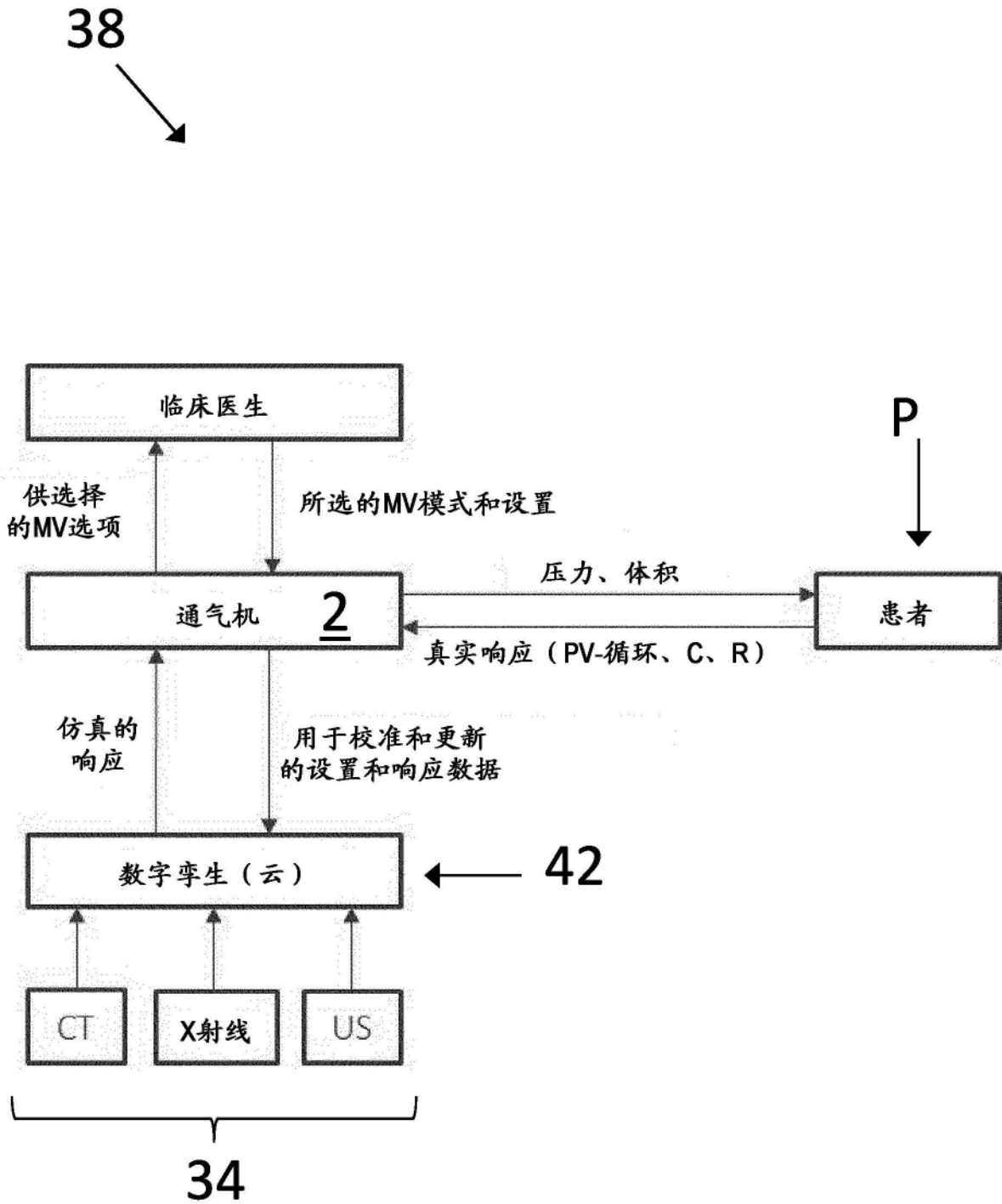


图5

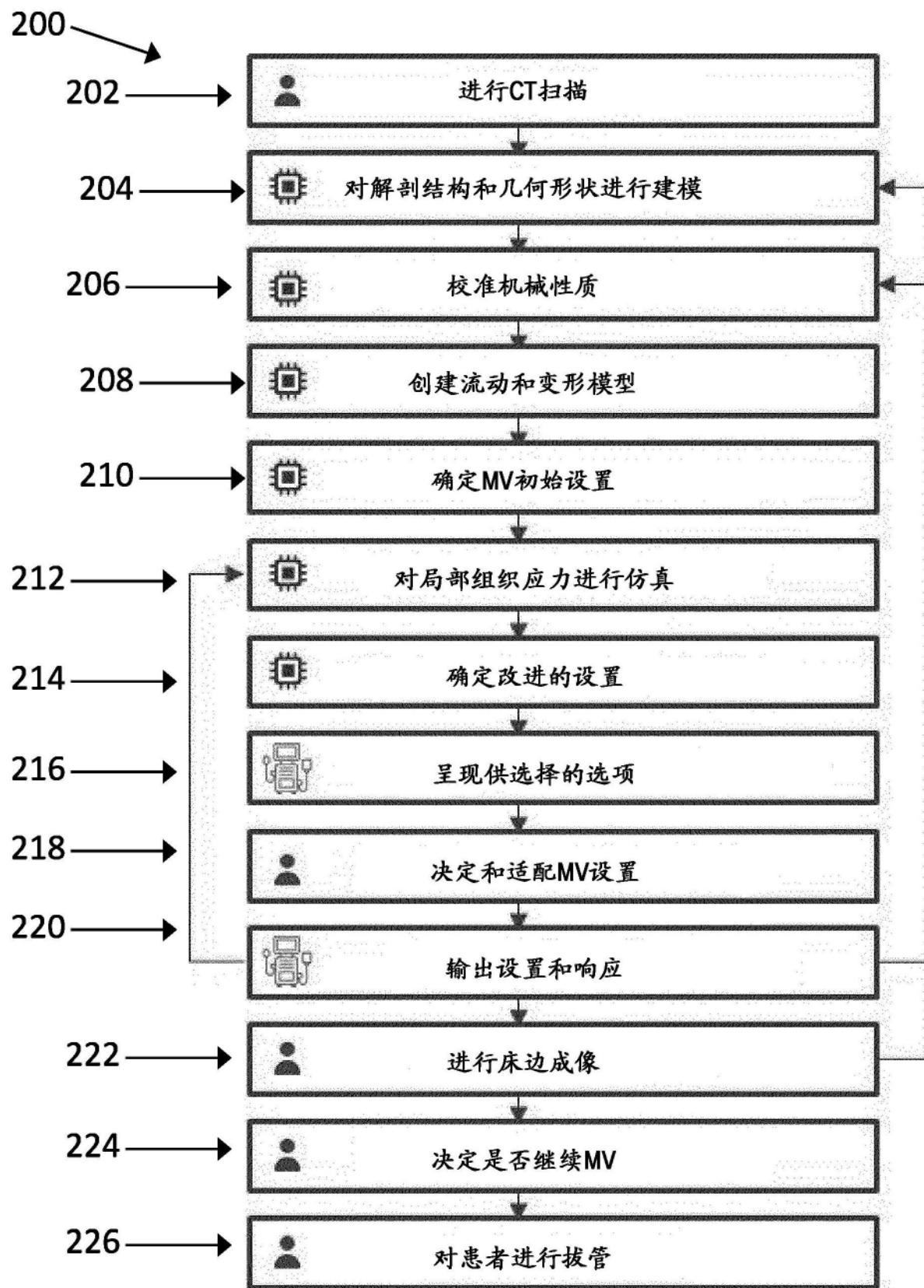


图6

46



接收特定应变的肺的%

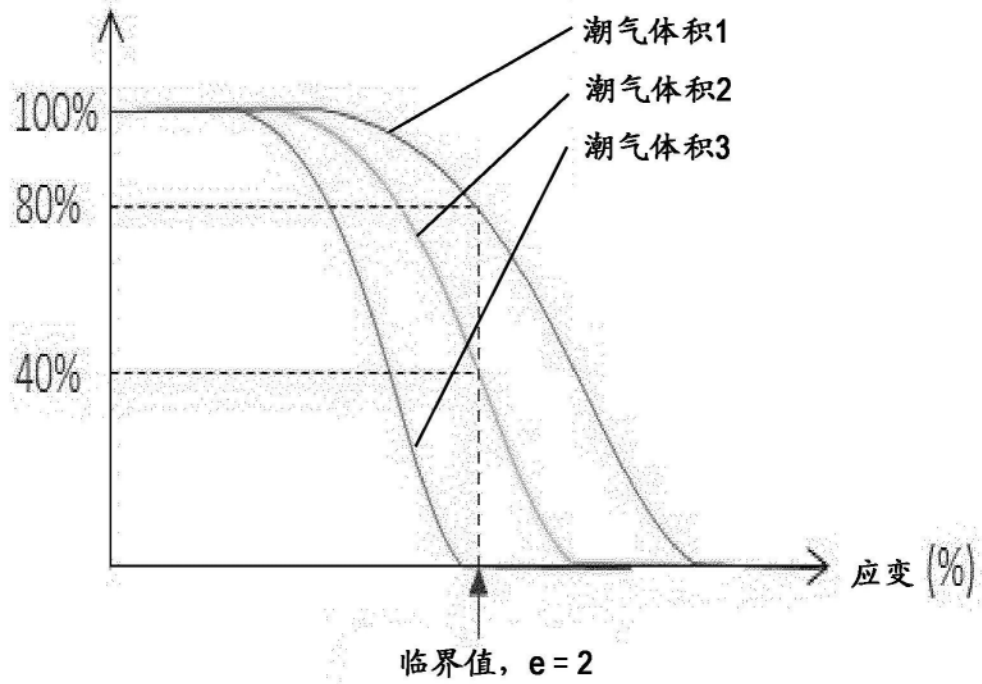


图7