



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112384279 B

(45) 授权公告日 2023. 08. 22

(21) 申请号 201980040654.8

(22) 申请日 2019.06.18

(65) 同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 112384279 A

(43) 申请公布日 2021.02.19

(30) 优先权数据  
18178160.0 2018.06.18 EP

(85) PCT国际申请进入国家阶段日  
2020.12.17

(86) PCT国际申请的申请数据  
PCT/EP2019/065949 2019.06.18

(87) PCT国际申请的公布数据  
W02019/243295 EN 2019.12.26

(73) 专利权人 皇家飞利浦有限公司  
地址 荷兰艾恩德霍芬

(72) 发明人 J·L·库斯特拉  
A·J·艾莱威尔特 T·诺尔特  
R·T·H·梅森 Z·托库齐  
V·舒尔茨

(74) 专利代理机构 永新专利商标代理有限公司  
72002

专利代理师 李光颖

(51) Int.Cl.  
A61B 18/18 (2006.01)  
A61N 5/10 (2006.01)  
A61B 18/02 (2006.01)  
A61B 18/04 (2006.01)

(56) 对比文件  
US 2006206105 A1, 2006.09.14  
US 2016059041 A1, 2016.03.03  
US 2017100078 A1, 2017.04.13  
US 2017106210 A1, 2017.04.20  
US 2018015294 A1, 2018.01.18  
US 2018042679 A1, 2018.02.15  
WO 2016033458 A1, 2016.03.03  
WO 2018092071 A1, 2018.05.24  
周舒畅;王玉锦;胡琼洁;胡玉娜;杨朝霞;张  
新平;康诗超;陈冲;黄嘉;夏黎明.2017 RSNA胸  
部影像学.放射学实践.2018,(03),第229-237  
页.

审查员 杨斐斐

权利要求书3页 说明书11页 附图3页

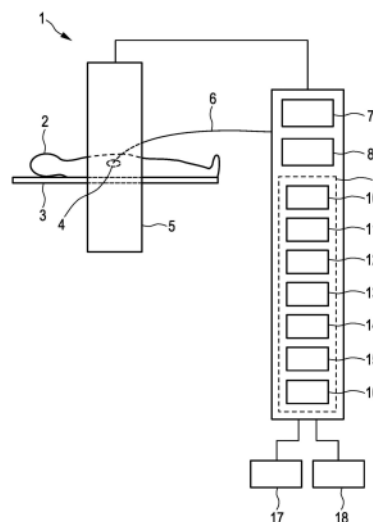
(54) 发明名称

治疗规划设备

(57) 摘要

本发明涉及用于规划要被施加到对象(2)的组织的治疗的组织的治疗规划设备。提供已经基于对组织的磁共振指纹扫描而生成的组织参数分布以及定义指示治疗的期望效果的至少一个参数的分布的治疗目标分布。机器学习模块(13)已经被训练为基于输入组织参数分布和输入治疗目标分布来输出定义对治疗的施加的至少一个治疗施加参数,使用所述机器学习模块通过基于所提供的组织参数分布和所提供的治疗目标分布确定至少一个治疗施加参数来对治疗进行规划。这允许考虑患者的实际定量组织参数分布,由此改

善规划质量。



1. 一种用于规划要被施加到对象的组织的热消融治疗的治疗规划设备,所述治疗规划设备(9)包括:

组织参数分布提供单元(10),其被配置为提供已经基于对所述组织的磁共振扫描而生成的至少一个组织参数分布,

治疗目标分布提供单元(11),其被配置为提供至少一个治疗目标分布,所述至少一个治疗目标分布定义指示所述治疗的期望效果的至少一个参数的分布,其特征在于:

机器学习模块(13),其已经被训练为基于至少一个输入组织参数分布和至少一个输入治疗目标分布来输出定义对所述治疗的所述施加的至少一个治疗施加参数,以及

治疗规划单元(14),其被配置为通过基于所提供的至少一个组织参数分布、所提供的至少一个治疗目标分布和经训练的机器学习模块(13)确定所述至少一个治疗施加参数来对所述治疗进行规划。

2. 根据权利要求1所述的治疗规划设备,其中,所述组织参数分布提供单元(10)被配置为基于对所述组织的磁共振指纹(MRF)扫描来确定所述至少一个组织参数分布。

3. 根据权利要求1所述的治疗规划设备,其中,所述组织参数分布提供单元(10)被配置为提供以下组织参数中的至少一个组织参数的分布作为所述至少一个组织参数分布:电导率、热导率、水含量、脂肪含量、表观扩散系数(ADC)和磁共振(MR)弛豫时间。

4. 根据权利要求1所述的治疗规划设备,其中,所述治疗规划设备(9)还包括:

治疗结果分布提供单元(15),其被配置为提供至少一个治疗结果分布,所述至少一个治疗结果分布定义指示治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布,所述治疗已经根据定义所施加的治疗的至少一个治疗施加参数而被施加,以及

训练单元(16),其被配置为通过至少使用至少一个提供的组织参数分布和至少一个提供的治疗结果分布作为训练输入并且至少使用所述治疗已经根据其被施加的所述至少一个治疗施加参数作为训练输出而对所述机器学习模块(13)进行训练。

5. 根据权利要求4所述的治疗规划设备,其中,所述治疗结果分布提供单元(15)被配置为基于在所述治疗已经根据所述至少一个治疗施加参数已经被施加之后执行的MRF扫描来提供所述至少一个治疗结果分布。

6. 根据权利要求1所述的治疗规划设备,其中,所述治疗目标分布提供单元(11)被配置为提供一种分布作为所述至少一个治疗目标分布,这种分布限定了在所述组织之内的第一区域中所述至少一个参数大于预定义阈值并且在所述组织之内的另一第二区域中所述至少一个参数小于所述预定义阈值。

7. 根据权利要求1所述的治疗规划设备,其中,所述治疗目标分布提供单元(11)被配置为提供由于所述治疗而获得的组织温度的分布作为所述至少一个治疗目标分布。

8. 根据权利要求1所述的治疗规划设备,其中,所述治疗规划设备(9)还包括治疗施加器特征提供单元(12),所述治疗施加器特征提供单元用于提供要被用于施加所述治疗的治疗施加器(6)的特征,其中,所述机器学习模块(13)已经被训练为进一步基于所述治疗施加器(6)的特征来输出定义对所述治疗的所述施加的所述至少一个治疗施加参数,并且其中,所述治疗规划单元(14)被配置为通过还基于所述治疗施加器的所提供的特征确定所述至少一个治疗施加参数来对所述治疗进行规划。

9. 一种用于将热消融治疗施加到对象的治疗系统,所述治疗系统(1)包括:

根据权利要求1所述的用于规划要被施加到所述对象(2)的组织的消融治疗的治疗规划设备(9),

消融治疗施加器(6),其被配置为将所规划的治疗施加到所述对象(2)。

10. 根据权利要求9所述的治疗系统,其中,所述治疗系统(1)还包括:

磁共振扫描器(5),其用于在将所规划的治疗施加到所述对象(2)时对所述组织进行扫描,

治疗结果分布提供单元(15),其被配置为确定至少一个治疗结果分布,所述至少一个治疗结果分布定义指示所述治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布,所述治疗是根据所规划的治疗而被施加的,其中,所述至少一个治疗结果分布是基于由所述磁共振扫描器(5)执行的扫描来确定的,

输出单元(18),其被配置为提供指示所确定的至少一个治疗结果分布的输出。

11. 一种用于训练机器学习模块的训练系统,所述训练系统(19)包括:

治疗施加参数提供单元(20),其被配置为提供定义向对象(2)的组织的消融治疗的施加的至少一个治疗施加参数,

治疗结果分布提供单元(21),其被配置为提供至少一个治疗结果分布,所述至少一个治疗结果分布定义指示所述消融治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布,所述消融治疗已经根据定义所施加的消融治疗的所述至少一个治疗施加参数而被施加,

组织参数分布提供单元(22),其被配置为提供至少一个组织参数分布,所述至少一个组织参数分布已经在所述消融治疗已经被施加到所述组织之前基于对所述对象(2)的所述组织的磁共振扫描而生成,

训练单元(23),其被配置为通过至少使用至少一个提供的组织参数分布和至少一个提供的治疗结果分布作为训练输入并且使用至少一个提供的治疗施加参数作为训练输出来对所述机器学习模块(13)进行训练。

12. 一种用于规划要被施加到对象的组织的消融治疗的治疗规划方法,所述治疗规划方法包括:

由组织参数分布提供单元(10)提供至少一个组织参数分布,所述至少一个组织参数分布已经基于对所述组织的磁共振扫描而生成,

由治疗目标分布提供单元(11)提供至少一个治疗目标分布,所述至少一个治疗目标分布定义指示所述治疗的期望效果的至少一个参数的分布,

提供机器学习模块(13),所述机器学习模块已经被训练为基于至少一个输入组织参数分布和至少一个输入治疗目标分布来输出定义对所述治疗的所述施加的治疗施加参数,以及

由治疗规划单元(14)通过基于所提供的至少一个组织参数分布、所提供的至少一个治疗目标分布和经训练的机器学习模块(13)确定所述至少一个治疗施加参数来对所述治疗进行规划。

13. 一种用于训练机器学习模块的训练方法,所述训练方法包括:

由治疗施加参数提供单元(20)提供定义向对象(2)的组织的消融治疗的施加的至少一个治疗施加参数,

由治疗结果分布提供单元(21)提供至少一个治疗结果分布,所述至少一个治疗结果分布定义指示所述热消融治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布,所述热消融治疗已经根据定义所施加的热消融治疗的所述至少一个治疗施加参数而被施加,

由组织参数分布提供单元(22)提供至少一个组织参数分布,所述至少一个组织参数分布已经在所述热消融治疗已经被施加到所述对象(2)的所述组织之前基于对所述组织的磁共振扫描而生成,

由训练单元(23)通过至少使用至少一个提供的组织参数分布和至少一个提供的治疗结果分布作为训练输入并且使用至少一个提供的治疗施加参数作为训练输出来对所述机器学习模块(13)进行训练。

14. 一种用于规划要被施加到对象的组织的治疗的计算机程序,所述计算机程序包括程序代码单元,当所述计算机程序在控制根据权利要求1所述的治疗规划设备的计算机上运行时,所述程序代码单元用于使所述治疗规划设备执行根据权利要求12所述的治疗规划方法的步骤。

15. 一种用于训练机器学习模块的计算机程序,所述计算机程序包括程序代码单元,当所述计算机程序在控制根据权利要求11所述的训练系统的计算机上运行时,所述程序代码单元用于使所述训练系统执行根据权利要求13所述的训练方法的步骤。

## 治疗规划设备

### 技术领域

[0001] 本发明涉及用于规划要被施加到对象的组织的治疗的规划设备、治疗规划方法以及计算机程序。本发明还涉及用于将治疗施加到对象的治疗系统，所述系统包括所述治疗规划设备。此外，本发明还涉及用于训练所述治疗规划设备的机器学习模块的训练系统、训练方法以及计算机程序。

### 背景技术

[0002] 一种需要被规划的治疗例如是热消融治疗，其中，通过例如热、冷、电的形式能量使肿瘤消融，并且其中，可以使用被置于肿瘤内或者靠近肿瘤放置的射频(RF)消融设备、微波消融设备或低温消融设备。为了规划消融流程，能够确定治疗施加参数，如消融设备的位置和消融设备的设置，例如，要在消融设备处设置的电压、施加能量的持续时间等，其中，能够基于患者的示出了肿瘤和肿瘤周围的解剖学图像来确定这些治疗施加参数，所述解剖学图像如计算机断层摄影成像(CT)图像、磁共振(MR)图像和超声图像。例如，在这样的图像中，能够描绘出肿瘤，以便确定患者体内的肿瘤的尺寸和位置，其中，能够使用该信息来规划消融设备的位置、消融设备的设置以及施加能量的持续时间，从而使得肿瘤被彻底消融，并且使得肿瘤周围仅从消融设备接收最低能量或者根本不从消融设备接收能量。尽管在治疗规划期间尝试确定治疗施加参数以使得仅肿瘤接收能量，但是往往不能够防止肿瘤周围组织接收到所施加的能量的显著部分。

[0003] WO 2018/092071A1提到了用于估计用以形成损伤的导管消融流程的有效性的方法。接收损伤有效性参数，并且估计对应消融的有效性。所述估计基于先前分析的损伤有效性参数与观测到的损伤有效性之间的所观测到的关联性。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的在于提供允许对要施加到对象的组织的治疗的经改善的规划的治疗规划设备、治疗规划方法以及计算机程序。本发明的另外的目的在于提供用于将治疗施加到对象的治疗系统，所述系统包括所述治疗规划设备。此外，本发明的目的在于用于训练所述治疗规划设备的机器学习模块的训练系统、训练方法和计算机程序。

[0005] 在本发明的第一方面中，介绍了一种用于规划要被施加到对象的组织的治疗的规划设备，其中，所述治疗规划设备包括：

[0006] 组织参数分布提供单元，其被配置为提供已经基于对所述组织的磁共振扫描而生成的至少一个组织参数分布，

[0007] 治疗目标分布提供单元，其被配置为提供至少一个治疗目标分布，所述至少一个治疗目标分布定义了指示所述治疗的期望效果的至少一个参数的分布，

[0008] 机器学习模块，其已经被训练为基于至少一个输入组织参数分布和至少一个输入治疗目标分布来输出定义对所述治疗的施加的至少一个治疗施加参数，以及

[0009] 治疗规划单元，其被配置为通过基于所提供的至少一个组织参数分布、所提供的

至少一个治疗目标分布和经训练的机器学习模块确定所述至少一个治疗施加参数来对所述治疗进行规划。

[0010] 根据本发明的实施例,所述组织参数分布提供单元被配置为基于磁共振指纹(MRF)扫描来生成所述至少一个组织参数分布。然而,任何其他已知的磁共振成像扫描或者磁共振成像扫描的组合也可以被用于该目的。根据本发明的优选实施例,所述磁共振成像扫描中的至少一种是定量磁共振成像扫描。由所述磁共振成像扫描得到的图像的类型优选是以下图中的一个或多个:电导率、热导率、水含量、脂肪含量、表观扩散系数(ADC)和MR弛豫时间(如 $T_1$ 弛豫时间或 $T_2$ 弛豫时间)。

[0011] 本说明书的其余部分将聚焦于MRF,但是MRI领域的技术人员将认识到,可以使用其他类型的(定量)磁共振成像扫描作为备选方案。

[0012] 当基于对组织的MRF扫描已经生成至少一个组织参数分布时,所述组织参数分布是诸如电导率、热导率、水含量、脂肪含量等的组织参数的定量分布。此外,由于机器学习模块已经被训练为基于所述至少一个输入组织参数分布,即基于定量组织参数分布,并且基于至少一个输入治疗目标分布,来输出至少一个治疗施加参数,如消融设备的位置、消融设备的设置或者施加治疗的持续时间,因而所述治疗规划能够考虑患者的实际定量组织参数分布,由此改进对所述治疗的规划。

[0013] 所述组织参数分布提供单元优选被配置为基于对组织的MRF扫描来确定所述至少一个组织参数分布。此外,所述组织参数分布提供单元优选被配置为提供以下组织参数中的至少一种的分布作为所述至少一个组织参数分布:电导率、热导率、水含量、脂肪含量、表观扩散系数(ADC)和MR弛豫时间(如 $T_1$ 弛豫时间或 $T_2$ 弛豫时间)。ADC是指示组织内的水的扩散的幅度的组织参数。已经发现,如果使用这些特定组织参数中的至少一种,就能够进一步改善治疗规划。

[0014] 优选地,所述治疗规划设备还包括:a)治疗结果分布提供单元,其被配置为提供至少一个治疗结果分布,所述至少一个治疗结果分布定义了指示治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布,所述治疗已经根据定义所施加的治疗的至少一个治疗施加参数而被施加;以及b)训练单元,其被配置为通过至少使用至少一个提供的组织参数分布和至少一个提供的治疗结果分布作为训练输入并且至少使用至少一个治疗施加参数(根据其施加了所述治疗)作为训练输出来对所述机器学习模块进行训练。因而,能够使用治疗结果分布来进一步训练所述机器学习模块。具体而言,能够使用特定患者的治疗结果分布来进一步训练所述机器学习模块,使得能够生成个性化机器学习模块。

[0015] 优选的是,所述治疗结果分布提供单元被配置为基于在已经根据所述至少一个治疗施加参数施加了治疗之后执行的MRF扫描来提供所述至少一个治疗结果分布。使用MRF扫描确定治疗结果分布允许基于定量组织参数对治疗结果分布的确定。这允许对治疗结果分布的经改善的提供,并且因而允许对机器学习模块的经改善的训练。对机器学习模块的这种改善的训练能够最终带来对治疗的进一步改善的规划。

[0016] 在实施例中,所述治疗目标分布提供单元被配置为提供一种分布作为所述至少一个治疗目标分布,所述分布限定了:在所述组织内的第一区域中,所述至少一个参数大于预定义阈值;并且在所述组织内的另一第二区域中,所述至少一个参数小于所述预定义阈值。例如,所述第一区域能够是肿瘤区域,并且所述第二区域能够是围绕所述肿瘤区域的区域,

其中,所述治疗目标分布能够是这样的一种分布,所述分布限定了:在肿瘤区域中,组织参数应当大于预定义阈值;并且在围绕所述肿瘤区域的区域中,所述组织参数应当小于所述预定义阈值。所述治疗目标分布还能够限定:在肿瘤区域中,组织参数应当小于预定义阈值;并且在围绕所述肿瘤区域的区域中,所述组织参数应当大于所述预定义阈值。因而,所述第二区域也能够是肿瘤区域,并且所述第一区域也能够是围绕所述肿瘤区域的区域。在此所使用的组织参数能够是例如水含量、热导率、电导率、MR弛豫时间(如 $T_1$ 弛豫时间或 $T_2$ 弛豫时间)或ADC。此外,在实施例,所述治疗目标分布提供单元被配置为提供由于所述治疗而获得的组织温度的分布作为所述至少一个治疗目标分布。例如,治疗目标分布能够限定:在肿瘤区域中,由于所述治疗而获得的组织温度应当大于预定义阈值;并且在围绕所述肿瘤区域的另外的区域中,由于所述治疗而获得的组织温度应当小于所述预定义温度阈值。这些治疗目标分布允许对期望治疗目标的非常可靠地限定,并且因此允许进一步改善的治疗规划,尤其是基于所提供的至少一个治疗目标分布的规划。

[0017] 所述治疗规划设备优选还包括治疗施加器特征提供单元,其用于提供要被用于施加所述治疗的治疗施加器的特征,其中,所述机器学习模块已经被训练为进一步基于所述治疗施加器的特征而输出定义对所述治疗的施加的至少一个治疗施加参数,并且其中,所述治疗规划单元被配置为通过也基于所述治疗施加器的所提供的特征确定所述至少一个治疗施加参数来对所述治疗进行规划。所述至少一个治疗施加参数例如是治疗施加器的形状、由治疗施加器提供的能量与治疗施加器的设置(如治疗施加器的设定电压)之间的关系等。通过也考虑治疗施加器的特征,能够进一步改善对治疗的规划。

[0018] 在本发明的另外的方面中,介绍了一种用于将治疗施加到对象的治疗系统,其中,所述治疗系统包括:

[0019] 根据权利要求1所述的用于规划要被施加到对象的组织的治疗的治疗规划设备,

[0020] 治疗施加器,其被配置为向所述对象施加所规划的治疗。

[0021] 在实施例中,所述治疗系统还包括:a)用于在将所规划的治疗施加到所述对象时对所述组织进行扫描的MRF扫描器;b)治疗结果分布提供单元,其被配置为确定至少一个治疗结果分布,所述至少一个治疗结果分布定义了指示所述治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布,所述治疗是根据所规划的治疗而施加的,其中,所述至少一个治疗结果分布是基于由所述MRF扫描器执行的所述扫描来确定的;以及c)输出单元,其被配置为提供指示所确定的至少一个治疗结果分布的输出。这允许用户(如放射科医生)在施加所述治疗时监测对所述治疗的施加,使得用户能够在输出指示应当做出反应的情况下做出反应,即,例如停止对所述治疗的施加。

[0022] 在本发明的另一方面中,介绍了一种用于训练机器学习模块的训练系统,其中,所述训练系统包括:

[0023] 治疗施加参数提供单元,其被配置为提供定义向对象的组织的治疗的施加的至少一个治疗施加参数,

[0024] 治疗结果分布提供单元,其被配置为提供至少一个治疗结果分布,所述至少一个治疗结果分布定义了指示所述治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布,所述治疗已经根据定义所施加的治疗的所述至少一个治疗施加参数而被施加,

[0025] 组织参数分布提供单元,其被配置为提供至少一个组织参数分布,所述至少一个

组织参数分布已经在对所述组织施加所述治疗之前基于对所述对象的所述组织的MRF扫描而生成，

[0026] 训练单元，其被配置为通过至少使用至少一个提供的组织参数分布和至少一个提供的治疗结果分布作为训练输入并且使用至少一个提供的治疗施加参数作为训练输出来对所述机器学习模块进行训练。

[0027] 在本发明的另外的方面中，介绍了一种用于规划要被施加到对象的组织的的治疗的治疗规划方法，其中，所述治疗规划方法包括：

[0028] 由组织参数分布提供单元提供至少一个组织参数分布，所述至少一个组织参数分布已经基于对所述组织的MRF扫描而生成，

[0029] 由治疗目标分布提供单元提供至少一个治疗目标分布，所述至少一个治疗目标分布定义了指示治疗的期望效果的至少一个参数的分布，

[0030] 提供机器学习模块，其已经被训练为基于至少一个输入组织参数分布和至少一个输入治疗目标分布来输出定义对所述治疗的施加的治疗施加参数，以及

[0031] 由治疗规划单元通过基于所提供的至少一个组织参数分布、所提供的至少一个治疗目标分布和经训练的机器学习模块确定所述至少一个治疗施加参数来对所述治疗进行规划。

[0032] 在本发明的另外的方面中，介绍了一种用于训练机器学习模块的训练方法，其中，所述训练方法包括：

[0033] 由治疗施加参数提供单元提供定义向对象的组织的的治疗的施加的至少一个治疗施加参数，

[0034] 由治疗结果分布提供单元提供至少一个治疗结果分布，所述至少一个治疗结果分布定义了指示所述治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布，所述治疗已经根据定义所施加的治疗的所述至少一个治疗施加参数而施加，

[0035] 由组织参数分布提供单元提供至少一个组织参数分布，所述至少一个组织参数分布已经在所述治疗被施加到所述对象的组织之前基于对所述组织的MRF扫描而生成，

[0036] 由训练单元通过至少使用至少一个提供的组织参数分布和至少一个提供的治疗结果分布作为训练输入并且使用至少一个提供的治疗施加参数作为训练输出来对所述机器学习模块进行训练。

[0037] 在本发明的另一方面中，介绍了一种用于规划要被施加到对象的组织的的治疗的计算机程序，其中，所述计算机程序包括程序代码单元，当所述计算机程序在控制根据权利要求1所述的治疗规划设备的计算机上运行时，所述程序代码单元用于使所述治疗规划设备执行根据权利要求12所述的治疗规划方法的步骤。

[0038] 在本发明的另外的方面中，介绍了一种用于训练机器学习模块的计算机程序，其中，所述计算机程序包括程序代码单元，当所述计算机程序在控制根据权利要求11所述的训练系统的计算机上运行时，所述程序代码单元用于使所述训练系统执行根据权利要求13所述的训练方法的步骤。

[0039] 应当理解，根据权利要求1所述的治疗规划设备、根据权利要求9所述的治疗系统、根据权利要求11所述的训练系统、根据权利要求12所述的治疗规划方法、根据权利要求13所述的训练方法、根据权利要求14所述的用于规划治疗的计算机程序以及根据权利要求15



所述的用于训练机器学习模块的计算机程序具有相似和/或相同的优选实施例,尤其是在从属权利要求中所定义的。

[0040] 应当理解,本发明的优选实施例还能够是从属权利要求或以上实施例与相应的独立权利要求的任意组合。

[0041] 根据下文描述的实施例,本发明的这些和其他方面将变得显而易见并且将参考所述实施例得到阐述。

#### 附图说明

[0042] 在以下附图中:

[0043] 图1示意性并且示例性地示出了用于将治疗施加到对象的治疗系统的实施例,

[0044] 图2示意性并且示例性地示出了用于训练机器学习模块的训练系统的实施例,

[0045] 图3示出了示例性地图示用于规划要被施加到对象的组织的治疗的治疗规划方法的实施例的流程图,

[0046] 图4示出了示例性地图示用于训练机器学习模块的训练方法的实施例的流程图,并且

[0047] 图5示意性并且示例性地图示了治疗结果分布。

#### 具体实施方式

[0048] 图1示意性并且示例性地示出了用于将治疗施加到对象的治疗系统的实施例。治疗系统1包括用于生成躺在支撑机构3(如患者台)上的患者2的MRF信号的MRF扫描器5。MRF扫描器由MRF扫描器控制单元7来控制,MRF扫描器控制单元7将MRF信号提供给组织参数分布提供单元10。组织参数分布提供单元10被配置为基于从MRF扫描器控制单元7接收到的MRF信号来确定至少一个组织参数分布。

[0049] 从例如D.Ma等人在Nature,第495卷,第187-192页(2013)上的文章“Magnetic resonance fingerprinting”以及Y.Jiang等人在Magnetic Resonance in Medicine,第1621-1631页(2015)上的文章“MR fingerprinting using fast imaging with steady state precession(FISP)with spiral readout”中获知MRF,尤其是MRF序列,在此通过引用将这些文章并入本文。MRF能够基于快速稳态梯度回波序列,所述快速稳态梯度回波序列可以既是扰相的,又是平衡的。指纹序列能够包括快速播放出的一系列相继的RF脉冲,这些脉冲采用随机化的RF脉冲强度,即可变翻转角,以及随机化的计时,例如在相继脉冲之间的随机化计时,即可变的重复时间,或者脉冲与信号采集之间的随机化计时,即可变的回波时间。例如,所述重复时间能够处在10ms的范围中。可以通过改变扰相梯度强度来实现对扩散的敏感性。由于快速k空间采集技术(诸如螺旋采集技术)的使用或者可以包括欠采样的回波平面成像的使用,MRF信号采集能够是快速的。针对患者2体内的每个空间位置,即,在涉及三维情况的该实施例中,针对每个体素,在患者体内的相应空间位置处测量不同的信号演变(其根据随机化的序列而演变)以及定量的组织参数。因而,针对患者体内的每个空间位置,由MRF扫描器5采集对应的MRF信号。

[0050] 为了进行后处理,即,为了基于MRF信号来确定至少一个组织参数分布,组织参数分布提供单元10包括许多可能的信号演变和所分配的基础组织参数的词典。然后,通过将

每个体素中的测量到的信号演变与所述词典进行比较,即通过将MRF信号与所述词典进行比较,并且通过从所述词典中选择最佳匹配信号演变,而从MRF信号获得定量参数图,即,一个或多个组织参数分布。与词典的该比较将为每个体素产生一个或若干个定量组织参数。组织参数分布提供单元10能够确定例如患者体内的包括肿瘤4和患者的周围组织的区域内的电导率、热导率、水含量、脂肪含量等的分布。组织参数分布提供单元10还能够被配置为确定例如患者体内的包括肿瘤4和患者周围组织的所述区域内的MR弛豫时间和/或表观扩散系数的分布。

[0051] 组织参数分布提供单元10能够被视为用于规划要被施加到患者2的组织的的治疗的治疗规划设备9的部件,其中,治疗规划设备9还包括被配置为提供至少一个治疗目标分布的治疗目标分布提供单元11,所述至少一个治疗目标分布定义了指示所述治疗的期望效果的至少一个参数的分布。例如,治疗目标分布提供单元11能够提供定义在所述治疗已经被施加到患者2的组织之后应当呈现的期望水含量的分布的治疗目标分布,其中,该治疗目标分布能够定义在肿瘤区域4内水含量应当小于预定义阈值,并且肿瘤区域4的外部的的水含量应当大于该预定义阈值或者大于另外的第二预定义阈值。治疗目标分布提供单元11还能够被配置为提供期望温度分布作为治疗目标分布,其中,所述温度分布能够限定:在施加所述治疗时肿瘤区域4内的温度应当大于预定义温度阈值,并且肿瘤区域4外部的温度应当小于所述温度阈值。

[0052] 治疗规划设备9还包括治疗施加器特征提供单元12,其用于提供治疗施加器6的要被用于施加所述治疗的特征。所提供的特征例如是治疗施加器6的顶端的形状、由治疗施加器6施加到患者2的组织的能量与治疗施加器6的设置(如设置电压)等之间的关系。在该实施例中,所述治疗施加器是RF消融导管,其具有用于通过施加RF能量而消融患者2体内的组织的至少一个消融电极。治疗系统1包括治疗施加器控制单元8,其用于控制对治疗的施加,即用于设置施加消融能量的电压和/或电流和/或频率。

[0053] 治疗规划设备9还包括机器学习模块13,其已经被训练为基于至少一个输入组织参数分布、至少一个输入治疗目标分布并且基于治疗施加器6的特征来输出定义对所述治疗的施加的至少一个治疗施加参数。机器学习模块13能够被训练为例如输出消融导管6的顶端的位置以及由治疗施加器控制单元8设定的设置。此外,治疗规划设备9包括治疗规划单元14,其被配置为通过使用机器学习模块13基于所提供的至少一个组织参数分布、所提供的至少一个治疗目标分布和所提供的治疗施加器6的特征确定所述至少一个治疗施加参数来对所述治疗进行规划。

[0054] 治疗规划设备9还包括治疗结果分布提供单元15,其被配置为提供至少一个治疗结果分布,所述至少一个治疗结果分布定义了指示治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布,所述治疗已经根据定义所施加的治疗的至少一个治疗施加参数而施加。具体而言,在已经将治疗施加到患者2之后,MRF扫描器5对患者2进行扫描,由此生成MRF信号,其中,治疗结果分布提供单元15适于确定组织参数的分布以作为治疗结果分布。治疗结果分布提供单元15还能够适于例如组织参数的分布的阈值,以便确定并且然后提供治疗结果分布。例如,能够向其内的组织参数大于预定义阈值的区域分配第一值,如0,并且能够向其内的组织参数小于预定义阈值的其他区域分配第二值,如1,以便确定并且由此提供治疗结果分布。治疗规划设备9还能够包括训练单元16,训练单元16被配置为通过至少使用至

少一个提供的组织参数分布(其示出了在已经施加治疗之前的情况)和至少一个提供的治疗结果分布(其示出了在已经施加治疗之后的情况)作为训练输入并且至少使用至少一个治疗施加参数(根据其已经施加了治疗)作为训练输出来对机器学习模块13进行训练。这允许进一步训练机器学习模块13。

[0055] 治疗结果分布提供单元15还能够被配置为将在所述治疗已经被施加到组织之后确定的组织参数的分布与在所述治疗已经被施加到所述对象的组织之前确定的组织参数的分布进行比较,以便提供治疗结果分布。例如,能够对示出了在治疗已经被施加之前的情况的组织参数分布和示出了在治疗已经被施加之后的情况的组织参数分布彼此相减,以便提供治疗结果分布。同样地,能够对所得到的差值分布进行阈值处理,以便提供治疗结果分布。能够在整个治疗已经被施加到所述对象的组织之后和/或在仅治疗的部分已经被施加到对象的组织之后执行对所述治疗结果分布的确定。具体而言,能够在所述治疗被施加到所述对象的组织时执行对治疗结果分布的该确定。

[0056] 如果治疗结果分布提供单元15被配置为使用阈值化来确定治疗结果分布,那么对应的阈值能够是可调整的,以便允许阈值适于相应的患者。所述阈值能够是手动可调整的或者可以是自动可调整的,其中,针对所述阈值的自动调整,也能够使用机器学习。也可能的是,所述治疗结果分布提供单元包括相应组织的组织类型和状态与阈值之间的分配,其中,针对特定患者,将阈值提供为使得其对应于所要监测的相应组织的组织类型和状态。例如,针对肝脏的不同状态,如健康肝脏、肝硬化肝脏和脂肪肝,能够提供不同的阈值,其中,取决于患者的肝脏的实际状态,能够提供相应阈值并且将其用于该阈值化流程。

[0057] 治疗系统1还包括输入单元17(如键盘、计算机鼠标、触控板等)和输出单元18(如显示器)。输出单元18能够适于提供指示由治疗结果分布提供单元15提供的至少一个治疗结果分布的输出。具体而言,MRF扫描器5能够在治疗施加的期间采集MRF信号,并且治疗结果分布提供单元15能够被配置为实时地(即,在治疗的施加期间)基于所采集的MRF信号来确定所述至少一个治疗结果分布,由此允许医师实时地监测治疗施加,并且例如根据输出的实时治疗结果分布的指示,在需要的情况下停止对所述治疗的施加。

[0058] 图2示意性并且示例性地示出了训练系统19的实施例。训练系统19包括治疗施加参数提供单元20,其被配置为提供定义向对象的组织的治疗的施加的至少一个治疗施加参数。训练系统19还包括治疗结果分布提供单元21和组织参数分布提供单元22,治疗结果分布提供单元21被配置为提供至少一个治疗结果分布,所述至少一个治疗结果分布定义了指示治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布,所述治疗已经根据定义所施加治疗的至少一个治疗施加参数而施加,组织参数分布提供单元22被配置为提供在所述治疗已经被施加到所述组织之前已经基于对所述对象的组织的MRF扫描而生成的至少一个组织参数分布。此外,训练系统19包括训练单元23,训练单元23被配置为通过至少使用至少一个提供的组织参数分布和至少一个提供的治疗结果分布作为训练输入并且使用至少一个提供的治疗施加参数作为训练输出来对机器学习模块13进行训练。

[0059] 在下文中,将参考在图3中所示的流程图示例性地描述了用于规划要被施加到对象的组织的组织的治疗的治疗规划方法。

[0060] 在步骤101中,由组织参数分布提供单元10提供至少一个组织参数分布,如水含量的分布,其中,所述的至少一个组织参数分布已经基于由MRF扫描器5执行的对所述组织的

MRF扫描而生成。因此,提供了针对处于MRF扫描器5内的患者2所特有的至少一个组织参数分布。在步骤102中,由治疗目标分布提供单元11提供了至少一个治疗目标分布,所述至少一个治疗目标分布定义指示所述治疗的期望效果的至少一个参数的分布。例如,治疗目标分布能够限定:在治疗已经被施加到患者2之后,在肿瘤区域4内水含量应当小于预定义阈值;并且在肿瘤区域4周围的区域中,水含量应当大于另一第二阈值。

[0061] 在步骤103中,提供了机器学习模块13,其已经被训练为基于至少一个输入组织参数分布(如在治疗已经被施加到患者2之前的水含量的分布)和至少一个输入治疗目标分布(如在治疗已经被施加患者2之后应当呈现的水含量分布)来输出治疗施加参数,如消融导管6的位置或者消融导管6的设置。

[0062] 在步骤104中,由治疗规划单元14通过基于所提供的至少一个组织参数分布、所提供的至少一个治疗目标分布和经训练的机器学习模块13确定至少一个治疗施加参数(如消融导管6的位置或者消融导管6的设置)来规划所述治疗。

[0063] 在下文中,将参考在图4中所示的流程图示例性地描述用于训练机器学习模块13的训练方法的实施例。

[0064] 在步骤201中,由治疗施加参数提供单元20提供定义向对象的组织的治疗的施加的至少一个治疗施加参数。此外,在步骤201中,由治疗结果分布提供单元21提供至少一个治疗结果分布,所述至少一个治疗结果分布定义了指示所述治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布,其中,所述治疗结果分布已经根据定义所施加的治疗的至少一个治疗施加参数而取得。此外,在步骤201中,由组织参数分布提供单元22提供至少一个组织参数分布,所述至少一个组织参数分布以及在所述治疗被施加到组织之前基于对所述对象的组织的MRF扫描而生成。具体而言,在步骤201中,提供不同的训练集,其中,每个训练集包括至少一个治疗施加参数、至少一个治疗结果分布以及至少一个组织参数分布。所述训练集能够每者也包括相应治疗施加器的特征,其中,在步骤202中,由训练单元23将这些训练集用于训练机器学习模块13。具体而言,至少使用至少一个提供的组织参数分布、至少一个提供的治疗结果分布以及也优选相应治疗施加器的特征作为训练输入,其中,所述至少一个提供的治疗施加器参数被用作训练输出。

[0065] 上文所描述的治疗规划设备提供了通过MRF扫描的定量性质启用的数据驱动方案,以便学习针对给定患者的最佳治疗参数,由此提供个性化治疗规划。能够使用初始MRF扫描(即,在施加治疗之前已经执行的MRF扫描)来规划例如消融设置,即,治疗施加参数。也能够使用MRF扫描来监测所施加的治疗的实际结果。然后,能够使用该信息来训练机器学习模块,其中,能够针对不同患者完成该操作,以便改善治疗规划。

[0066] 所述治疗施加器优选被配置为通过例如热、冷或电的形式的能量来执行用于消融肿瘤的聚焦治疗。例如,所述治疗施加器能够是可以被配置为经皮引入并且置于肿瘤核心之内的RF消融设备、微波消融设备或者低温消融设备。一旦所述治疗施加器被定位,就能够开启所述治疗施加器,以消融肿瘤。能够通过使用如上文所描述的治疗规划设备来规划治疗施加器的位置和治疗施加器的设置。

[0067] 所述治疗施加器优选适于消融肿瘤,使得蛋白质凝固,其导致水被从所述组织中挤出。因此,在实施例中,通过使用MRF扫描来确定水含量分布,其中,水含量的该分布被用于提供治疗结果分布,即,以便评估所施加的治疗的结果,例如,肿瘤区域中的组织是否已

经被完全消融。因此，MRF被用于识别改变，并且还能够在用于确定特定组织的存在。

[0068] 所述治疗结果分布提供单元优选使用MRF来定量地确认所述消融结果。测量一个组织参数分布或者同时测量若干个组织参数分布（能够在其基础上确定组织的生存力）给出了对组织的状态的非常深的洞察。具体而言，所述MRF扫描器能够适于在优选短于20秒的相对较短的扫描时间内同时地采集不同的组织参数分布。图5示意性并且示例性地示出了这样的治疗结果分布30，其指示在消融掉肝脏31的部分之后肝脏31内的水含量。在该治疗结果分布中能够通过区域32容易地识别出实际上已经被消融的肝脏部分。

[0069] 在已知的临床实践当中，基于临床指南来执行治疗规划，这些临床指南通常是由一定群体范围内的临床检验得到的。针对规划的输入开始于成像数据，如CT数据、MR成像（MRI）数据或超声成像数据，其中，通过描绘流程识别出目标结构（如肿瘤）以及风险器官的解剖学位置。从此以后，原始成像数据在大多数情况下被忽略，因为仅使用各种结构的所识别出的几何结构。与此相比，上文所描述的治疗规划设备使用MRF的定量性质，使得能够在干预之前识别出特定组织特性，并且将其用作输入来用于对消融设置的规划，即，用于对至少一个治疗施加参数的确定。同样地，以后能够基于MRF定量地测量消融治疗的结果，即对组织的消融治疗的效果。这允许数据驱动系统主动地学习特定治疗施加参数对特定组织的效果。因此，上文所描述的治疗规划设备不仅考虑几何结构，还将患者的特定组织参数用于计算个性化治疗计划。测得的治疗成果被进一步馈送到学习系统，即，馈送到机器学习模块的进一步训练，以便提供针对治疗递送的、尤其是针对热治疗递送的自演变方案。

[0070] 使用MRF用于确认并且优选使用MRF用于对热消融流程的实时跟踪提供关于所述流程对组织的细胞的影响的直接定量洞察。通过使用MRF测量与例如细胞死亡和/或细胞的生存力直接相关的组织特性提高了对消融的最终结果的置信度。治疗结果分布提供单元15能够适于使用提供定量数据的仅一个MR成像序列（即一个MRF序列）或者使用若干个MRF序列来评估治疗成果。

[0071] 如上文所提到的，能够实时地，并且也可以在治疗后设置中，使用基于MRF对治疗结果分布的确定。就实时应用而言，用户能够在治疗的实际施加期间基于所提供的实时治疗结果分布来调整治疗的施加，即，治疗递送。此外，就对治疗施加的实时监测而言，治疗施加器优选是MR兼容设备。就治疗后监测而言，所述治疗施加器也能够是非MR兼容设备。MR兼容设备例如是由具有MR兼容性的材料构建的低温消融设备或高强度聚焦超声（HIFU）消融设备。

[0072] 所述训练单元优选适于使用至少一个提供的组织参数分布（其已经基于在治疗被施加之前所采集的MRF信号而确定）、治疗施加器的特征（如针对相应消融设备的热图）、至少一个治疗施加参数（治疗是根据其而施加的，如消融设备的位置和消融设备的所使用的设置）以及至少一个治疗结果分布（如通过使用MRF扫描而确定的组织参数的分布）来训练机器学习模块。然后，经训练的机器学习模块被用于提供个性化治疗规划，其中，个性化指代使用实际患者的一个或若干个实际组织参数分布，所述分布是基于对应的MRF扫描而确定的。

[0073] 为了监测消融治疗，所述治疗结果分布提供单元依据MRF扫描来确定至少一个治疗结果分布，所述至少一个治疗结果分布定义了指示所施加的治疗的至少一个获得的效果的至少一个参数的至少一个分布。例如，基于MRF扫描来确定组织参数分布，并且所确定的

组织参数分布被阈值化,使得将彻底坏死的区域与组织的其他区域区分开。

[0074] 在允许进行实时治疗监测的实施例当中,在将消融设备(即治疗施加器)定位到目标区域(如肿瘤区域)中之后,患者在处置期间留在MRF扫描器中。在治疗的施加期间,按照规律的间隔播放出MRF序列,其中,立即执行与信号演变的词典的匹配,并且在输出单元18上示出所得到的参数图,即所得到的组织参数分布。所述输出向用户(如放射科医生)指示基于组织参数分布识别出的组织的不同类型,其中,基于组织参数相对于基线的、即相对于已经在治疗被施加到组织之前确定的组织参数分布的改变而向放射科医生建议组织损伤的描绘。基于该信息,能够判定处置进程,并且在需要操纵的情况下(诸如结束所述流程)或者在必要情况下,可以由用户来调整消融治疗的参数,即,能够修改例如处置的持续时间、处置的目标温度、消融功率输入、消融设备的位置等。

[0075] 就实时监测而言,治疗施加器(即,消融设备)是MR兼容的。如果在实施例中消融设备是非MR兼容的,那么可以使处置间隔(即施加消融能量的间隔)与MRF扫描交替进行,从而允许多个治疗循环连同对治疗结果的中间评估。同样地,处置后评估也是可能的,其中,在这种情况下,在消融治疗已经完成之后,去除非MR兼容的消融设备,并且将患者转移至MRF扫描器,即被配置为执行MRF扫描的MR成像扫描器。然后,执行MRF扫描,并且确定组织参数值,即,确定组织参数分布,并且使用这些分布确定坏死区带的范围,能够在所确定的组织参数分布中将坏死区带与周围组织区分开。能够通过针对目标解剖结构调谐特定参数来改善MRF扫描。例如,这些参数是翻转角、脉冲数量、序列计时(如重复时间和回波时间)等。对于特定患者组织特性(如肝硬化)或者已知肿瘤类型,可以进一步调谐这些参数。因此,针对不同的治疗目标,MRF扫描设置能够是不同的。例如,能够提供目标与定义MRF扫描的参数之间的对应分配,使得MRF能够适于相应的目标。

[0076] 尽管在上文参考图1描述的实施例中,所述治疗系统包括MRF扫描器,但是在另一实施例中,所述治疗系统可以不包括MRF扫描器。具体而言,为了基于MRF扫描而生成组织参数分布,能够使用治疗被施加到患者之前执行的MRF扫描,其中,例如,MRF扫描器5能够位于另一房间内,即,不在治疗被施加的房间内。此外,还能够在MRF扫描器所处的另一位置处执行对治疗的结果的评估。

[0077] 通过研究附图、本公开和所附的权利要求,本领域技术人员能够在实践所要求保护的本发明的过程中理解并实施针对所公开实施例的其他变型。

[0078] 在权利要求当中,词语“包括”不排除其他元件或步骤,并且不定冠词“一”或“一个”不排除复数。

[0079] 单个元件或设备可以履行权利要求中列举的若干项的功能。在互不相同的从属权利要求中陈述某些措施不表示不能有利地将这些措施组合使用。

[0080] 由一个或若干个单元或设备执行的流程,诸如对治疗的规划、对机器学习模块的训练、用于监测治疗的治疗结果分布的提供等,可以由任意其他数量的单元或设备来执行。根据所述治疗规划方法的这些流程和/或对治疗规划设备的控制以及/或者根据所述训练方法对训练系统的控制均能够被实施为计算机程序的程序代码模块和/或专用硬件。

[0081] 可以将计算机程序存储/分配到适当的介质(例如,与其他硬件一起提供的或者作为其他硬件的部分提供的光学存储介质或者固态介质)上,也可以按照其他形式分布计算机程序,例如,通过互联网或者其他有线或无线电信系统。

[0082] 权利要求中的任何附图标记不应当被理解为对范围构成限制。

[0083] 本发明涉及用于规划要被施加到对象的组织的治疗的治疗规划设备。提供了基于对组织的磁共振指纹扫描而生成的组织参数分布以及由此定义指示治疗的期望效果的至少一个参数的分布的治疗目标分布。机器学习模块已经被训练为基于输入组织参数分布和输入治疗目标分布而输出定义对治疗的施加的至少一个治疗施加参数,使用所述机器学习模块通过基于所提供的组织参数分布和所提供的治疗目标分布确定至少一个治疗施加参数来对治疗进行规划。这允许考虑患者的实际定量组织参数分布,由此改善规划质量。

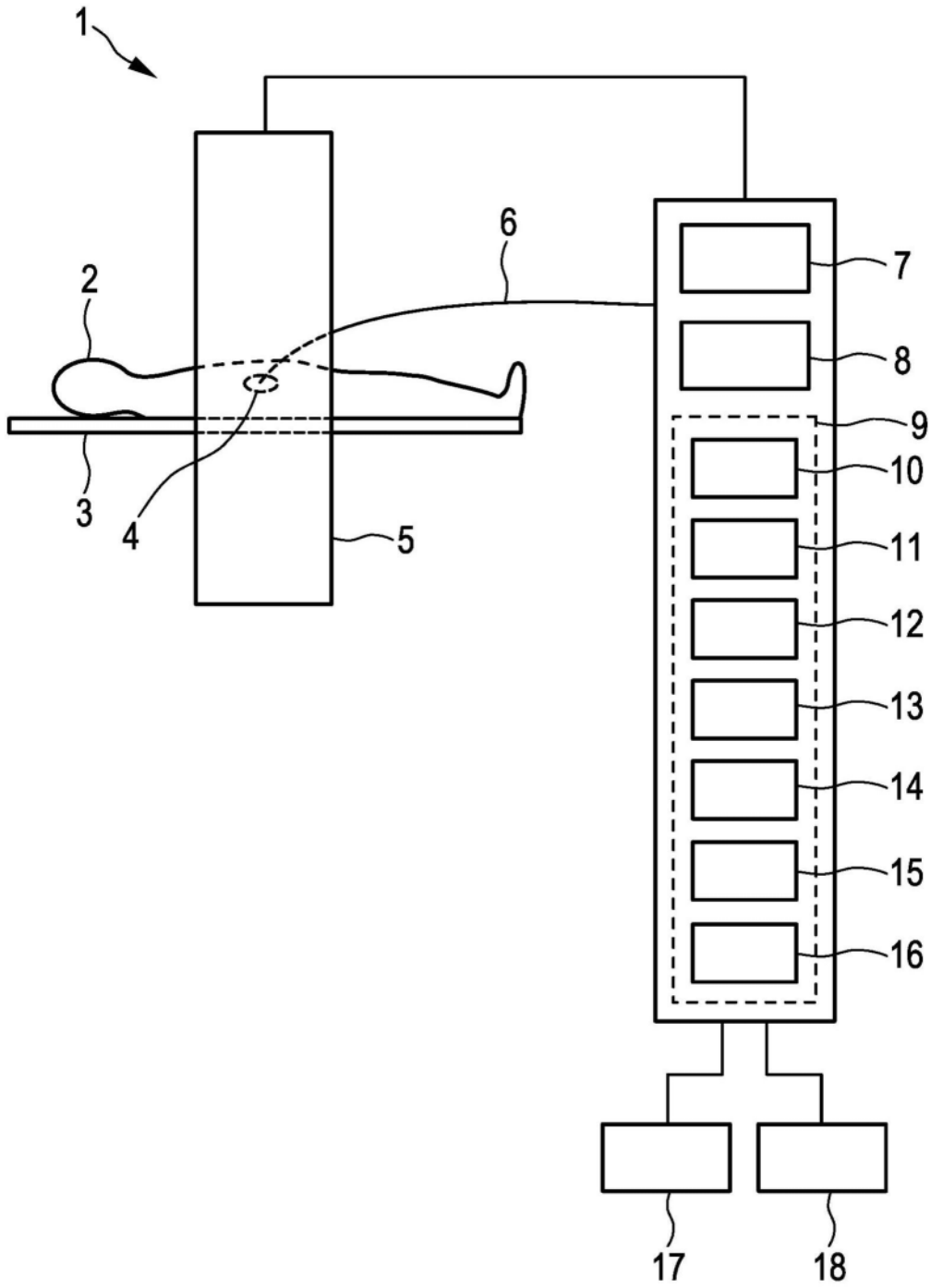


图1



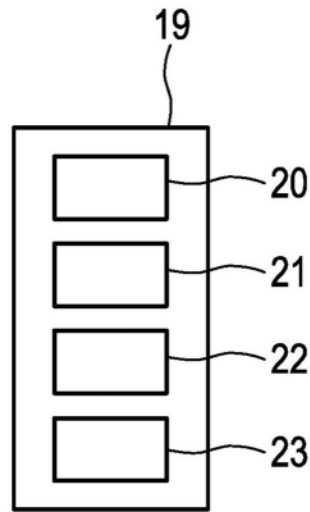


图2

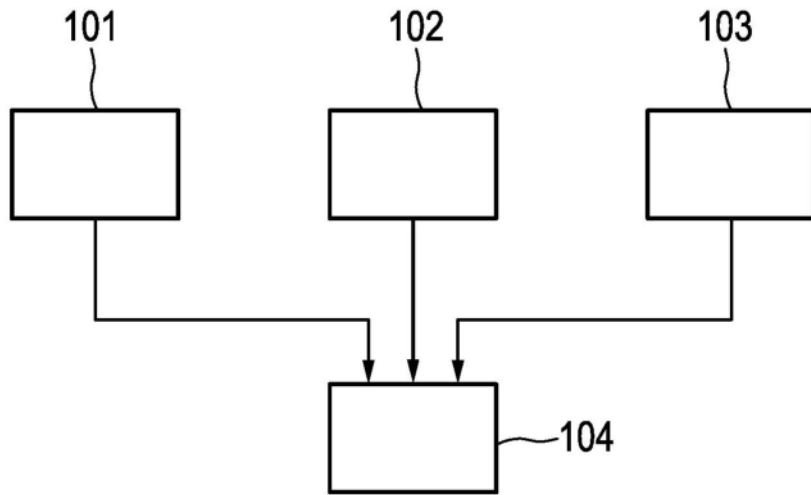


图3

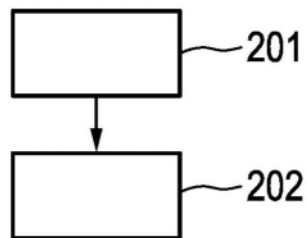


图4

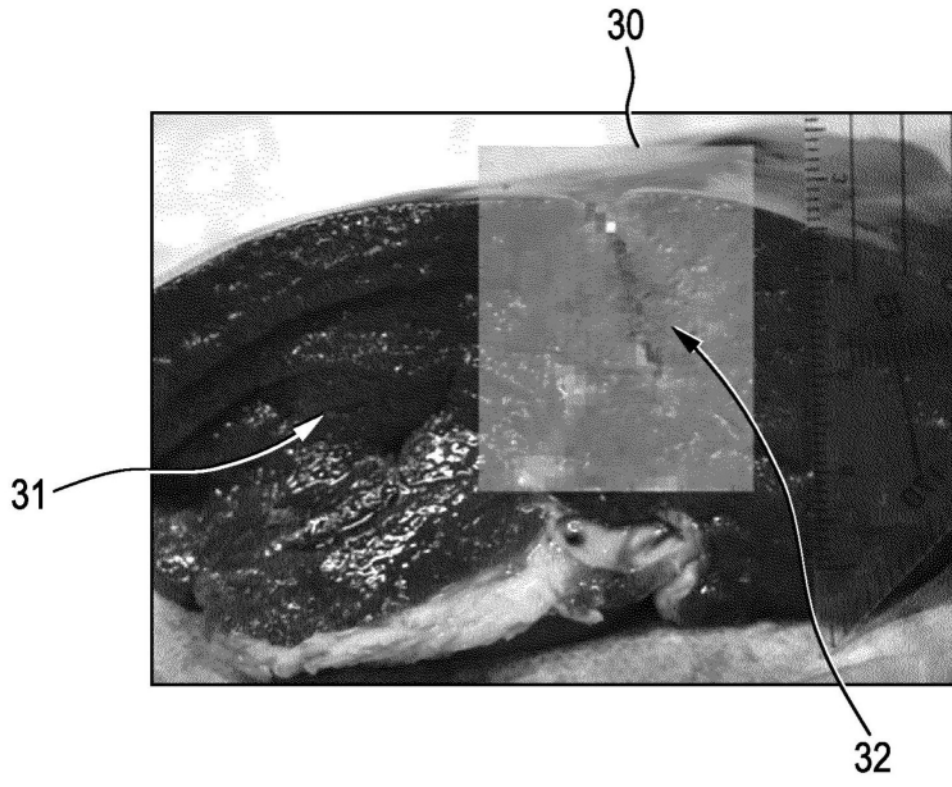


图5