



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 103209653 B

(45)授权公告日 2017.04.26

(21)申请号 201180054995.4

(22)申请日 2011.11.07

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 103209653 A

(43)申请公布日 2013.07.17

(30)优先权数据
61/414,938 2010.11.18 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2013.05.15

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/IB2011/054952 2011.11.07

(87)PCT国际申请的公布数据
W02012/066449 EN 2012.05.24

(73)专利权人 皇家飞利浦电子股份有限公司
地址 荷兰艾恩德霍芬
专利权人 美国健康及人类服务部

(72)发明人 J·克吕克尔 S·达拉尔
B·J·伍德 S·徐

(74)专利代理机构 永新专利商标代理有限公司
72002
代理人 王英 刘炳胜

(51)Int.Cl.
A61B 18/00(2006.01)
A61B 90/00(2016.01)

审查员 董西健

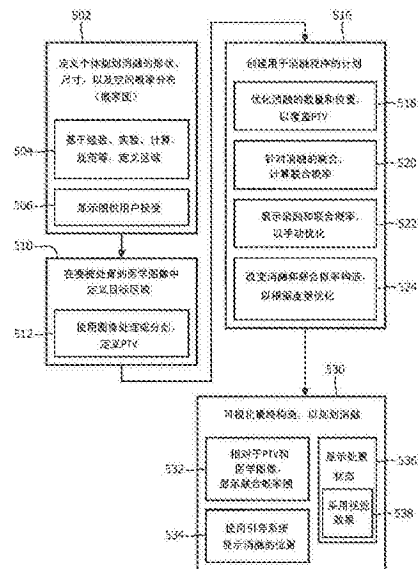
权利要求书2页 说明书10页 附图5页

(54)发明名称

用于概率消融规划的系统

(57)摘要

一种用于消融规划的系统和方法,包括基于处置概率定义(502)一个或多个消融体积的形状和尺寸,以及确定(510)要被处置的目标体积。通过使用所述一个或多个消融体积确定所述目标体积内所规划的消融的数量和位置,从而提供(516)程序计划。针对所述目标体积中的至少两个所规划的消融确定联合概率分布(520)。可视化(530)最终构造,以基于所述目标体积的处置概率确定是否符合计划目标。



1. 一种工作站,包括:

处理器(112);以及

存储器(120),其耦合到所述处理器,所述存储器存储概率估计模块(122)和规划工具(130);

所述概率估计模块被配置为根据处置概率分布定义消融体积的形状和尺寸,确定目标体积中至少两个规划的消融的联合概率的分布,以及使用所述目标体积和联合概率图的空间表示来计算度量,其中,所述处置概率分布表示围绕各个消融位点的所述消融体积中的每个内处置的可能性;

所述规划工具允许通过使用一个或多个消融体积确定目标体积内规划的消融的数量和位置,根据计划将所述消融体积分配到所述目标体积的离散体积,以及优化所述度量以产生具有相关联处置概率分布的消融体积的最终构造。

2. 如权利要求1所述的工作站,还包括显示器(110),所述显示器用于相对于所述目标体积的图像显示处置概率。

3. 如权利要求2所述的工作站,其中,所述处置概率纳入颜色编码的概率分布图,所述颜色编码的概率分布图示出在对象的三维图像中所述消融体积的处置状态。

4. 如权利要求1所述的工作站,其中,所述概率估计模块(122)基于医师的经验、模拟、实验以及消融探针的制造商规范中的一种来确定消融体积的尺寸和形状。

5. 如权利要求1所述的工作站,其中,所述概率估计模块根据额外的消融来更新所述处置概率分布,以反映多次消融的累积效应。

6. 如权利要求1所述的工作站,其中,所述目标体积包括规划的目标体积(136)。

7. 如权利要求1所述的工作站,其中,在显示器(110)上生成所述最终构造,以基于所述目标体积的处置概率确定是否符合计划目标。

8. 如权利要求1所述的工作站,其中,所述概率估计模块(122)至少基于所述目标体积中的灌注来调整所述概率。

9. 一种用于消融规划的系统,包括:

工作站(108),其包括处理器(112)和耦合到所述处理器的存储器(120),所述存储器存储概率估计模块和规划工具;

所述概率估计模块被配置为根据处置概率分布定义消融体积的形状和尺寸,确定目标体积中至少两个规划的消融的联合概率的分布,以及使用所述目标体积和联合概率图的空间表示来计算度量,其中,所述处置概率分布表示围绕各个消融位点的所述消融体积中的每个内处置的可能性;

所述规划工具允许通过使用一个或多个消融体积确定目标体积内规划的消融的数量和位置,根据计划将所述消融体积分配到所述目标体积的离散体积,以及优化所述度量以产生具有相关联处置概率分布的消融体积的最终构造;

消融探针(102),其被配置为消融所述目标体积中的组织;以及

显示器(110),其被配置为显示带有叠加层的所述目标体积的图像,所述叠加层示出所述目标体积的图像上的概率区域。

10. 如权利要求9所述的系统,其中,所述处置概率包括颜色编码的概率分布图,所述颜色编码的概率分布图示出在对象的三维图像中所述消融体积的处置状态。

11. 如权利要求9所述的系统,其中,所述概率估计模块(122)基于医师的经验、模拟、实验以及消融探针的制造商规范中的一种来确定消融体积的尺寸和形状。

12. 如权利要求9所述的系统,其中,所述概率估计模块(122)根据额外的消融来更新所述处置概率分布,以反映多次消融的累积效应。

13. 如权利要求9所述的系统,其中,在显示器(110)上生成所述最终构造,以基于所述目标体积的所述处置概率确定是否符合计划目标。

14. 如权利要求9所述的系统,其中,所述概率估计模块(122)至少基于所述目标体积中的灌注来调整所述概率。

用于概率消融规划的系统

[0001] 政府权利

[0002] 本发明是在履行与美国公共卫生署签订的合作研究和开发协议 (CRADA No. NCI-NIHCC-01864) 时做出的。美国政府可以拥有本发明的某些权利。

技术领域

[0003] 本公开涉及医学系统与程序, 并且更具体地涉及用于更准确地规划对象内的消融区域的系统和方法。

背景技术

[0004] 作为对更有创的手术程序的替代, 诸如射频消融 (RFA) 或低温消融的消融程序正被越来越多地执行。RFA过程中, 在超声、计算机断层摄影 (CT) 或磁共振成像 (MRI) 引导下, 将具有未绝缘尖端的电极插入到要被消融的肿瘤或病变中。在放置所述电极时, 施加射频电流到所述尖端, 该电流造成60摄氏度以上的组织发热和细胞死亡。为了摧毁较之在单一消融中被加热并被摧毁的针尖周围的体积更大的肿瘤, 需要重复地重新定位所述针尖, 以消融肿瘤的不同部分。所述不同部分需要彼此部分交叠。需要重复该过程直到整个肿瘤被一组消融“覆盖”, 所述一组消融也被称作“复合消融”。

[0005] 当前, 执行这些复合消融时没有定量的或经计算的规划, 并且依赖于医师的直觉和经验。复合消融规划的过程困难, 并且已有指出, 以 (较小的) 单次消融对规划处置体积 (PTV) 的完全覆盖一般需要数量大得惊人的消融。由此, 无法保证“在大脑中规划的”复合消融实际上完全覆盖所述PTV, 或者其以最优方式, 即用最少数量的消融 (每次消融进行12至20分钟) 覆盖所述PTV。

发明内容

[0006] 根据本公开的原理, 用于消融规划的系统和方法包括定义个体消融的概率图, 所述概率图反映围绕消融探针的顶端的体积中成功的组织消融的可能性的空间范围和变化。从多个重叠的个体概率图计算联合消融概率图。所述联合图被用于优化所规划的个体消融的数量和布局, 以便以最优方式消融目标体积。最优计划被用于引导所述目标体积的实际消融程序。关于成功消融的实际位置和实际概率图的程序内反馈被用于可视化所述实际程序的进展, 以及用于根据需要更新所述计划。

[0007] 一种用于消融规划的系统和方法, 包括基于处置概率定义一个或多个消融体积的形状和尺寸, 以及确定要被处置的目标体积。通过使用所述一个或多个消融体积确定所述目标体积内所规划的消融的数量和位置, 提供程序计划。针对所述目标体积中的至少两个所规划的消融, 确定联合概率分布。可视化最终构造, 以基于所述目标体积的处置概率确定是否符合计划目标。

[0008] 一种用于消融规划与执行的方法, 包括形成用于处置目标体积的处置计划, 所述处置计划包括: 基于处置概率定义一个或多个消融体积的形状和尺寸; 使用所述一个或多

个消融体积确定所述目标体积内所规划的消融的数量和位置；以及确定所述目标体积中至少两个所规划的消融的联合概率分布。引导消融探针至所规划的消融位置，并且根据所述计划消融所述目标体积。使用叠加在所述目标体积的图像上的视觉效果，针对所执行的消融，在显示器上显示概率图。根据所显示的概率更新所述处置计划。

[0009] 一种系统和工作站，包括处理器以及被耦合到所述处理器的存储器。所述存储器存储概率估计模块和规划工具。所述概率估计模块被配置为根据处置概率分布定义消融体积的形状和尺寸；确定目标体积中至少两个所规划的消融的联合概率分布；以及使用所述目标体积和联合概率图的空间表示计算度量。所述规划工具允许通过使用所述一个或多个消融体积确定所述目标体积内所规划的消融的数量和位置，根据计划将所述消融体积分配到目标体积的离散体积，以及优化所述度量以产生具有相关联处置概率分布的消融体积的最终构造。所述处置概率分布表示所述消融体积内处置的可能性。

附图说明

[0010] 根据本发明的示例性实施例的以下详细描述，本公开的这些以及其他目的、特征和优点将变得显而易见，所述示例性实施例要结合附图来阅读。

[0011] 本公开将参考以下附图详细呈现优选实施例的以下描述，其中：

[0012] 图1是示出根据一个示例性实施例，用于消融规划和消融程序的实现方式的系统/方法的框图/流程图；

[0013] 图2是示出根据一个示例性实施例，具有不同处置概率的区域的消融体积的示意图；

[0014] 图3是示出根据另一示例性实施例，具有包括累积处置效应的不同处置概率的区域的两个消融体积的示意图；

[0015] 图4是示出根据另一示例性实施例，具有叠加在对象中目标体积的图像上的不同处置概率的区域的两个消融体积的示意图；

[0016] 图5是示出根据一个示例性实施例，用于使用概率分布规划消融的系统/方法的框图/流程图；以及

[0017] 图6是图示根据另一示例性实施例，用于使用概率分布规划和执行消融的系统/方法的另一框图/流程图。

具体实施方式

[0018] 本公开描述经由射频能量 (RFA)、冷却 (低温消融) 或其他方法的应用的介入性肿瘤消融。引入自动规划，该自动规划提供以最小数量的个体消融覆盖规划处置体积 (PTV)，所述个体消融具有独立于彼此的，离散且明确定义的概率分布形状和尺寸。本实施例认识到，人体组织中的消融可能不具有明确定义的、可复制的、离散的形状和尺寸。相反，消融形状和尺寸根据多个参数而变化，所述参数可能不是或不能在程序过程中被精确测量 (例如组织的灌注和微结构)。结果，个体消融似乎“随机地”变化，并且可以用概率方法更好地描述。

[0019] 根据本原理，概率方法提供一种在个体消融之间引入协同效应的方式，并且使得医师或终端用户能够选择“置信水平”以根除整个 PTV。提供一种先进的消融规划系统，其利

用消融形状和尺寸的概率描述,并且基于所述PTV的覆盖范围的概率优化处置计划。应理解,本发明将在医学仪器方面进行描述,然而本发明的教导更为宽泛,并且可应用于在处置或分析复杂的生物学或机械系统中所采用的任何仪器。尤其地,本原理可应用于生物学系统的内部处置程序,人体所有区域中(例如肺、胃肠道、排泄器官、血管,等)的程序。可以将附图中所描绘的元件实现为硬件与软件的各种组合,并且这些元件提供可以被组合在单一元件或多个元件中的功能。

[0020] 可以通过专用硬件以及能够结合适当软件来运行软件的硬件的使用,提供附图所示的各个元件的功能。当由处理器提供时,所述功能可以通过单一专用处理器、通过单一共享处理器,或者通过多个个体处理器来提供,所述多个个体处理器中的一些可以被共享。此外,术语“处理器”或“控制器”的明确使用不应被解读为排他性地指能够运行软件的硬件,而是可以隐含地、不加限制地包括数字信号处理器(“DSP”)硬件、用于存储软件的只读存储器(“ROM”)、随机存取存储器(“RAM”)、非易失性存储器,等。

[0021] 此外,本文中记载本发明的原理、各方面和实施例,以及其具体范例的所有陈述,均意图囊括它们在结构上和功能上的等同物。额外地,意图这样的等同物包括当前已知的等同物以及未来发展的等同物(即,执行相同的功能而无关于结构的任何元件)。由此,例如本领域技术人员将认识到,本文中呈现的框图表示体现本发明原理的说明性系统部件和/或电路的概念图。类似地,要认识到,任何流程图、流程图等等表示实质上可以被表示在计算机可读存储介质中,并由此被计算机或处理器运行的各种过程,而无论这样的计算机或处理器是否被明确示出。

[0022] 此外,本发明的实施例可以采取可从计算机可用或计算机可读存储介质访问的计算机程序产品的形式,所述介质提供用于由计算机或任何指令执行系统使用,或结合计算机或任何指令执行系统使用的程序代码。为了该说明书的目的,计算机可用或计算机可读存储介质可以是任何装置,其可以包括、存储、通信、传播,或运输用于由指令执行系统、装置或设备使用或结合指令执行系统、装置或设备使用的程序。所述介质可以是电子、磁、光学、电磁、红外或半导体系统(或装置或设备)或者传播介质。计算机可读介质的范例包括半导体或固态存储器、磁带、可移除电脑磁盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、硬磁盘和光盘。光盘的当前范例包括只读光盘存储器(CD-ROM)、读写光盘(CD-R/W)和DVD。

[0023] 现在参考附图,附图中,相同的附图标记代表相同或相似的元素,并且首先参考图1,图示性示出系统100,其使用概率方法定义和/或估计消融形状和尺寸。所述系统100包括射频消融(RFA)探针102(例如单尖头探针或多尖头探针)。然而,可以采用多个探针或其他仪器来执行消融,例如低温消融、微波消融,等。

[0024] RF发生器106在程序过程中向所述消融探针102提供电力。工作站108使用例如显示器110,向用户提供规划/导航/消融反馈信息。所述工作站108可以包括计算机处理器112、显示器110、用户接口114(例如,鼠标、键盘等)以及用于存储数据和软件的存储器120。存储器120包括软件,所述软件可以包括概率估计模块122,其被配置为估计与对象的给定区域的处置相关联的几何形状和概率。可以先验地,或者使用针对每个RFA探针布局的针尖周围的成功消融的概率(的空间分布)的用户定制模型确定概率。计算围绕消融位点的消融体积最可能的形状/尺寸,并且所述最可能的形状/尺寸可以包括给定位置已被处置的概率。所述概率估计模块122被配置为根据处置概率分布,提供或定义消融体积的形状和尺

寸。所述模块122可以确定目标体积中至少两个所规划的消融的联合概率分布,并且使用所述目标体积和联合概率图的空间表示计算度量。

[0025] 可以采用空间追踪系统/设备124,以相对于由成像设备126提供的医学图像确定探针位置,所述成像设备126例如为X射线机、计算机断层摄影(CT)成像设备、磁共振成像(MRI)设备、超声(US)成像设备,等。所述空间追踪系统/设备124可以包括,例如6个自由度的电磁(EM)追踪传感器,其可以作为所述追踪设备124被放置在所述RFA探针上。实施例中,所述模块122收集诸如位置、处置时间、灌注等的的数据,以能够估计该区域以及周围区域的所述处置概率。处置区域134可以被显示并且可以被叠加在示出所述探针102、所述处置区域134和/或规划处置体积(PTV)136的图像扫描上。可以使用部署在所述探针102上的所述追踪设备124,显示所述探针102、区域134和所述PTV136在空间上正确的位置。规划消融区域134中及周围的概率可以由模块122沿平行赤道平面上的径向计算,以将规划(或实现的)消融形状表示为概率区域的形式(参见图2)。所述 消融概率区域形状也可以被叠加在扫描或图像和所述PTV136上,以显示所述PTV内部或周围要被消融的体积以及附近体素。

[0026] 消融可以将不同概率区域中的体素显示为特定颜色、质地或其他视觉上有区别的特征。一个范例中,所述PTV内部的部分可以具有与所述PTV外部部分不同的质地或其他效果,例如,它们可以具有不同的颜色。可以表示,并且可以显示剩余的PTV,以在所述规划阶段期间帮助针对额外的消融进行规划。

[0027] 规划工具130在规划消融的位置以及将所述消融显示为概率区域的方面提供帮助。规划工具130帮助实现用于达到计划目标的程序计划。例如,计划目标可以包括高于某个阈值的整个PTV的处置概率,低于某个阈值的健康组织的处置概率,以高于阈值的概率处置的健康组织的最小体积等。

[0028] 所述规划工具130通过使用一个或多个消融体积确定所述目标体积内所规划的消融的数量和位置,允许根据所述计划将所述消融体积分配到目标体积的离散体积。所述规划工具优化由模块122确定的度量,以产生具有相关联的处置概率分布的消融体积的最终构造。所述处置概率分布表示,例如,所述消融体积内处置的可能性。应理解,所述规划模块和所述概率估计模块122可以被组合,或者功能中的一些或全部可以由这两个模块中的一个或两者提供。

[0029] 所述模块122能够计算所达到的复合消融形状或处置区域,所述计算是基于在个体消融中对所述复合消融形状有贡献的每个离散体积(例如,体素)的处置概率。所述概率可以包括诸如消融持续时间、探针位置、灌注等的因素。一些实施例中,另外的引导可以来自先前程序和技术收集到的信息。例如,放疗处置规划使用定量方法,用于使用概率方法对辐射处置在肿瘤和正常组织上的影响进行建模。可以采于放疗处置规划评价的肿瘤控制概率(TCP)和正常组织并发症概率(NTCP)。TCP表示成功控制局部肿瘤的概率,而NTCP表示在放疗处置计划中,针对所规划的剂量分布对健康组织的一些所定义的不合期望的影响的概率。其他概念可以包括热疗,其采用被递送到组织的热剂量。使用在组织中所达到的温度以及时间-温度关系的知识,可以计算在参考温度的平衡时间暴露。热剂量可以被用于量化组织上的生物作用以达到成功的治疗响应的概率。

[0030] 使用对象的内部区域的映射体积或者其他图像,可以通过规划模块130实现的在病变或肿瘤的规划的目标体积(PTV)上叠加联合概率分布,从而在显示器110上可视化复合

消融区域。所述模块122计算图像中位置或体素的概率,以示出完全或部分处置的区域。所述概率区域可以被叠加在PTV上,以便临床人员或医师能够可视化所处置区域的更准确版本。

[0031] 一个实施例中,模块122可以还提供以下功能:通过减去原始PTV内部被完全处置的经消融的体素(阈值以内,例如95%概率),计算并可视化残余的PTV。消融程序期间的残余PTV的所述计算可以被用于反馈,以示出仍需要被处置的区域。

[0032] 所述消融规划工具130可以被存储在存储器120中,并且可以计算消融的最优数量和布局,以在程序期间随着消融的执行,而覆盖整个PTV或残余PTV。在确定针对每次消融的概率分布时,可以考虑制造商指定的用于规划RFA程序的消融的理想尺寸和形状。可以在未灌注且完美均匀组织的假设下获得所述形状和尺寸。可以基于关于有灌注的非均匀组织的信息,调节这些形状和尺寸。附近血管中的血流通过局部冷却所述消融区域,而改变所述消融的形状。如果所测量的最高温度低于50℃,则所感测区域周围组织不太可能已被消融。系统100在几何学方面记录探针102被插入处的组织区域的3D位置。这允许确定温度图,并且将温度图包括在对消融形状的概率的计算中。

[0033] 温度图可以被用于更新概率图。温度图是一种,例如根据有限元建模模拟、根据在体模/动物研究上的实际经验数据,等,生成针对单次消融的先验概率图的方式。

[0034] 消融规划方法可以将消融建模为具有特定尺寸和性质(例如,具有固定半径a、b、c的椭球体)。以此模型,消融形状“内部”的所有组织均被视为完全被消融,即被根除,并且所述形状外部的所有组织均被视为不受所述消融的影响并因此活着。规划目标是以最少数量的相同个体消融的副本,来完全覆盖PTV,并且向医师提供所述个体消融的位置。

[0035] 将消融(以及所述PTV)数学描述为具有明确定义的、固定的尺寸(内部的一切均被消融,但外部的都未消融)有几个缺点。这些缺点可以包括:1)当试图通过布局越来越多数量的消融来覆盖所述PTV时,很多时候存在非常小的所述PTV的部分(例如,单个体素)仍未被覆盖,并且因此需要额外的消融的布局。临床上,对所述处置增加这些额外的消融可能没有意义,这是因为个体消融尺寸中固有的不确定性,以及因为执行所述额外的消融所需要的大量时间。如果认为毗邻的体素被消融“绝对覆盖”,则“未被覆盖的”体素也“非常可能”已被消融,并且不授权用于额外的消融的时间。2)具有“固定的”消融尺寸,个体消融固有地独立于彼此,并且难以对极为接近地布局几个消融的“协同效应”进行建模。如果体素在所有所布局的消融“外部”,其被认为是“未被覆盖的”,而无论附近有多少消融,以及所述消融有多近(“全有或全无”模型)。现实中,被一个消融加热但却未被完全摧毁/凝结的组织更容易被另一毗邻的消融摧毁,即使其不直接处于任一消融的“杀死区”内部。3)基于医师在其他患者中的经验,以及基于特定患者的解剖结构、相貌等等,医师对可能需要多少消融来覆盖给定患者中的PTV具有直觉概念。以固定尺寸的消融,难以产生同时满足医师的直觉的自动计划,或者难以产生对于创建交互式/半自动计划必须的反馈。例如,如果覆盖所述PTV中所有体素的方案似乎使用太多消融,则难以确定哪些消融应从所述计划中消除——以及应如何移动剩余的消融——以优化剩余的覆盖。很容易计算出未被覆盖的体素的数量,但却不足以描述所述计划的质量。

[0036] 根据本原理,采用概率消融模型。基于可能的消融形状和尺寸的先验知识,能够针对每个体素计算或估计覆盖概率。提前定义这些消融体积,并且可以针对特定计划选择这

些消融体积。可以针对所述PTV生成概率直方图,并且所述医师可以选择针对覆盖的置信水平阈值。

[0037] 在规划阶段中,模块122可以被配置为生成视觉反馈给所述医师。在视觉上高亮不可能或较不可能被消融覆盖的区域(例如,通过根据概率进行颜色编码),允许所述医师快速认识到可以在哪里采用额外的消融,以确保完全的肿瘤根除(取决于程序时间限制,以及程序目标:例如治疗性或姑息性)。概率方法实现了基于医师-用户偏好和经验的规划的定制。尽管医师仍可以采用他们自己有关最小/最大期望消融尺寸的经验,但所述医师还可以利用计算机辅助规划的优势。所述用户接口114允许这些参数的用户输入,以及因此允许符合所述医师的经验计算机生成的计划。

[0038] 规划工具130可以基于任何任意形状的消融或构建块,创建PTV覆盖计划(概率图140)。模块130可以以多种方式描述个体消融,并且不仅仅为“二元”(一/零=消融的内部/外部)形状,而是具有空间变化的覆盖概率值的形状。模块130包括优化器132,优化器使用来自模块122的所述概率值,以针对所述PTV136创建具有最高覆盖概率(具有最少数量的消融)的覆盖计划。模块122可以针对被多于一个消融覆盖的区域计算覆盖的联合概率图142。此外,消融之间的区域可以具有这样的经计算的概率:被消融的组织之间的间隙或空间也将被分配一概率。这些联合概率区域可以通过规划工具130被映射到图像或视频上。

[0039] 显示器110示出针对任意给定布置的消融,遍及所述PTV的(空间上变化的)覆盖概率。用户接口114允许参数的交互性输入,所述参数描述针对个体消融的空间变化的覆盖概率。例如,可以使用医师经验/偏好或其他可用的信息,在程序前提供交互性输入。此外,程序内输入可以包括使用,例如通过在消融程序过程中的成像、测量等获得的反馈。

[0040] 所述PTV的覆盖范围规划是基于与二元覆盖规划相对的空间变化的消融概率,尽管可以采用两者的组合。所述医师-用户可以定制针对个体消融的概率描述,并将得到的覆盖计划的总体概率覆盖可视化。个体消融被描述为具有空间上变化的标量概率值的三维(3D)对象。

[0041] 消融概率图140可以在规划阶段使用,但也可以在消融程序的执行和反馈阶段使用。不同的使用情境在后文有描述。在规划阶段中,所述规划工具130将个体消融区与预先确定的或用户指定的固定的个体概率图140关联起来。可以通过模块122针对(一个或几个重叠的)个体规划消融的任意可能的构造计算消融的联合概率142。使用规划工具130,通过以下创建消融计划:计算从所述联合概率图142相对于所述PTV136的姿态(pose)推导的度量,以及通过(手动地或自动地)修改所述消融构造直到使用优化器132使所述度量得到优化。一个实施例中,接近所述PTV136的区域,例如对应于医学图像中某些解剖学特征的区域,可以被识别,以修改所述联合概率图142从而反映经由主要血管等的局部组织冷却。

[0042] 一个实施例中,所述消融计划的执行可以无需反馈地实施。所述计划可以被用于通过相对于医学图像可视化个体消融的最终构造和/或所述联合概率图142,来引导程序。可以采用常规的图像引导方法,以根据所述计划执行所述程序,或者可以将所述计划几何结构发送到引导系统(例如电磁的或其他的),以提供针对每个个体消融的针引导。该实施例中,不需要获得有关消融的实际位置、取向、尺寸或概率的信息。

[0043] 在另一实施例中,所述消融计划的执行根据位置/取向反馈来进行。程序执行期间,可以在每个个体消融期间,使用程序内医学成像、所述消融针的程序内空间追踪等,确

定消融探针或针102相对于所述医学图像的实际位置和取向。针对每个这样的个体执行的消融位置,假设的个体概率图140(例如,与针对程序前规划所用的相同),可以被映射到所述医学图像,并且被可视化,由此逐个消融地建立所执行的联合概率图142,其可以帮助所述医师评估所述PTV136是否被适当地消融。类似于所述规划阶段,在一个实施例中,所述PTV136附近对应于所述医学图像中的某些解剖学特征的区域可以被识别,以修改所执行的联合概率图142从而反映经由主要血管等的局部组织冷却。

[0044] 在又一实施例中,所述消融计划的执行根据位置/取向以及尺寸或概率反馈来进行。除了上文描述的反馈以外,医学成像或其他手段可以被用于确定或评估实际的、个体的、所执行的消融的实际尺寸或概率图(140)(例如,在所述规划阶段期间修改所述假设的个体概率图)。这些经修改的图可以被用于建立并可视化所执行的联合概率图142(再次,没有考虑或考虑了在所述PTV136附近的可能修改消融的所述经执行的联合概率的区域)。

[0045] 在又一实施例中,消融计划的执行根据反馈和迭代计划更新来进行。在所规划个体消融概率图140与对应的所执行消融概率图142之间出现偏差的事件中,每个所执行的消融,以及所执行联合概率图142的更新之后,可以采用所述图142以(手动地或自动地)更新所述程序计划。这确保了在每个实际消融之后,针对程序的剩余部分提供改进的或优化的计划。该计划更新可以使用与在初始规划阶段中相同的度量,以及相同的联合概率计算。(手动或自动)优化(132)中的仅有差别在于,一个或几个个体概率图140(例如,所执行的那种)将在固定的位置处(如使用反馈所证实的),而其他(所规划的或尚未被执行的那种)的位置/取向仍能被修改,以优化整体计划。

[0046] 参考图2,图示性示出消融体积的三个区域1、2和3。一个实施例包括作为具有0(明确未消融的,0%概率)到1.0(明确被消融的,100%概率)之间的值的3D阵列 A_{ijk} 的所述消融体积的离散化表示。三个阵列维度对应于消融的x、y和z维度,并且任意定义的体素大小(例如,1mm³)提供所述阵列中体素指数与消融区中物理位置之间的对应性。

[0047] 图2中,示意图200示出针对个体消融体积202的示例性概率分布。该实例中,所述消融体积202包括三个不同区域,一个区域为“明确被消融的”(区域1:该范例中与概率1相关联的所有体素),一个为“可能被消融的”(区域2:与0到1之间的概率相关联的所有体素值),以及一个为“明确未消融的”(区域3:该范例中与概率0相关联的体素点,其包括区域1和2外部的所有位置,以及体素阵列外部的区域)。为了本公开的目的,给定体素的消融概率也可以被称作体素值。区域1可以采用简单的3D几何形状,例如球形或椭球形(即,该形状内部的所有体素点具有体素值1)。区域2可以采用随着增加空间距离(直到最大距离 $r_{最大}$,从区域1的边界在所述明确被消融的区域1周围的等向性“不确定边缘”)从1变化到0的体素值。区域2中的体素值可以由 $f_2(x/r_{最大})$ 给出,其中x为距离区域1的边界的距离, $f_2(0)=1$, $f_2(1)=0$ 。函数 f_2 和 $r_{最大}$ 两者的形状均可以通过实验、通过计算(例如使用有限元模拟),或者作为基于用户经验的用户输入,得到确定。

[0048] 区域2的另一有利描述在于为椭圆形壳。这可以包括外径 $r_{x最大}$ 、 $r_{y最大}$ 、 $r_{z最大}$,以及内径 $r_{x最小}$ 、 $r_{y最小}$ 、 $r_{z最小}$,外径以外的消融概率为0,内径描述区域1的边界。该实现方式中,差值 $r_{x最大}-r_{x最小}$ 、 $r_{y最大}-r_{y最小}$ 、 $r_{z最大}-r_{z最小}$ 描述区域1周围的非等向性“不确定边缘”。区域2中的概率再次有利地由函数 $f_2(s)$ 描述,其中 $f_2(0)=1$, $f_2(1)=0$,并且椭圆形表面的参数设定 $E(s)$ 为使得 $E(0)$ 为区域1的边界,并且 $E(1)$ 为区域2的外边界,

[0049] 例如，

[0050]

$$E(s) = \left\{ x, y, z \left| \frac{x^2}{(rx_{\text{最小}} + s(rx_{\text{最大}} - rx_{\text{最小}}))^2} + \frac{y^2}{(ry_{\text{最小}} + s(ry_{\text{最大}} - ry_{\text{最小}}))^2} + \frac{z^2}{(rz_{\text{最小}} + s(rz_{\text{最大}} - rz_{\text{最小}}))^2} \right. \right\} =$$

[0051] 使得针对区域2中每个空间位置(x、y、z)，所述参数s₀可以用(x、y、z) ∈ E(s₀) 得出，并且在(x、y、z)处的消融概率/体素值由f₂(s₀)给出。

[0052] 函数f₂(x)被有利地描述为从f₂(0) = 1连续减小到f₂(1) = 0的函数。例如，由医师-用户使用将所述函数的形状可视化的用户接口(114)有利地选择线性的f₂(x) = 1 - x, x ∈ [0, 1]，正弦的f₂(x) = 0.5 * (1 - sin((x - 0.5) * π)), x ∈ [0, 1]，或要使用的其他特定函数。

[0053] 针对处置计划的规划、可视化和优化，可以定义函数q_n(p₁, p₂, ..., p_n)，确定在有多于一个消融交叠的位置中消融的“协同效应”。q_n的一个有利的实现方式定义n个独立随机事件的联合概率，每个独立随机事件具有发生概率p_n，递归地描述为：

$$[0054] \quad q_n = \begin{cases} \min(1, q_{n-1} + p_n(1 - q_{n-1})) & \text{对于 } n > 0 \\ 0 & \text{对于 } n = 0 \end{cases}$$

[0055] 参考图3，示意性地示出针对以概率消融描述创建的计划的可视化。图3示出两个部分交叠的椭圆形消融304和306的可视化(出于简要而为2D的)，所述椭圆形消融304和306在区域2中具有线性f₂和轮廓线308，示出不同概率的区域。随着向计划增加每个新的消融，计算概率区域，并且确定其“协同效应”。一个有利的实现方式为叠加在如图4中所描绘的处置区域的医学图像上的，针对每个体素计算的q_n的颜色编码的叠加层402。另一有利的实现方式包括根据q_n的阈值水平的有限集的颜色编码的叠加层，例如针对q_n > 0.95(最可能被消融)的区域为一种颜色，针对0.5 ≤ q_n ≤ 0.95(有可能被消融，但有可能处置不足的)区域为另一种颜色，以及针对q_n < 0.5(不太可能被消融)为第三种颜色(或者没有颜色)。也可以采用更大数量的区域。另一个有利的实现方式允许由医师-用户控制的，对消融叠加层的可变α混合，以示出更多或更少的潜在医学图像。

[0056] 针对处置计划的自动优化，即，对覆盖所述PTV的个体消融的数量和布局的优化，可以定义成本函数，以得以最小化。所述成本函数的一个有利的实现方式为q_n在阈值以下(例如q_n < 0.9)的所述PTV体积的部分。所述成本函数的另一有利的实现方式为所述PTV的总和或积分，其通过对每个位置中消融失败概率的测量(例如，1 - q_n)进行加权。在另一实现方式中，医师-用户可以指定针对PTV的不同区域，要达到的各个目标概率水平，例如，针对肿瘤的可见边缘为1.0的水平，针对从所述可见肿瘤直到5mm的边界区域为0.9的水平，以及针对从所述可见肿瘤5mm到10mm之间的边界区域为0.5的水平。可以采用颜色编码的可视化，以针对给定的手动或自动计划，高亮符合这些目标水平的地方。此外，联合地或顺序地自动优化可以旨在满足所有目标水平。

[0057] 在另一实现方式中，解剖结构附近减小成功消融的概率的解剖结构(例如冷却周围组织的血管)可以被分割，并在可视化和规划中得到考虑。可以将血管局部近似为圆柱形结构，按照因数g(r)减小所述消融概率，所述因数g(r)依赖于离圆柱体的距离r，其中g(r)可以通过计算(例如，用有限元模拟)、实验，或者(以用户输入)试探性地得到确定。

[0058] 参考图5，框图/流程图示根据一个实施例用于规划消融程序的系统/方法。方框

502中,定义了个体规划消融的形状、尺寸和空间概率分布(“个体消融概率图”或简称“概率图”)。方框504中,可以基于先前实验、计算、模拟、估计或者用户定义来预定义所述概率图,所述用户定义基于个体用户体验/偏好。这可以包括考虑要被处置的区的灌注以及其他特性。方框506中,可以可视化或者显示(一个或多个)个体消融概率图,用于所述用户接受或修改。

[0059] 方框510中,可以在医学图像(CT、MRI、X射线等)中定义要被处置的目标区域(PTV)。方框512中,可以使用图像处理方法自动定义所述PTV,或者通过“分割”所述图像中的PTV,由用户手动定义所述PTV。

[0060] 方框516中,执行规划过程,以创建用于消融程序的计划。方框518中,所述计划优化一个或若干个体消融的数量和/或位置与取向,使得所规划的个体消融的联合以最优方式覆盖所述PTV。针对个体消融的每种可能的构造,在方框520中,计算针对被消融的联合所覆盖的整个区域在空间上变化的消融联合概率(“联合概率图”)。当多重概率消融覆盖体素时,可以表达为合成规则(如针对 q_n 的公式)。针对消融的联合,为体素确定正被消融的有效概率。

[0061] 方框522中,手动优化可以包括提供消融的每种可能构造以及联合概率的可视化。可以采用用户接口,以交互地修改所述构造,直到所述构造以最优方式覆盖所述PTV。方框524中,自动优化可以包括提供优化算法(例如,成本函数),以改变所述个体消融构造,直到从所述联合概率图推 导出的度量得到优化。度量可以包括概率阈值、PTV覆盖、最小消融数量,等。

[0062] 方框530中,显示最终构造,并将其用作用于执行所述个体消融的计划。方框532中,所述最终构造的可视化可以包括相对于所述医学图像和PTV的联合概率图。方框534中,所述最终构造的可视化可以包括引导系统的标记或元素,以在所述构造中将所述个体消融的位置坐标提供为针对个体消融针布局的“目标”。

[0063] 所述可视化中,可以将区域显示为经处置的、未经处置的以及过渡的,其中过渡介于经处置和未经处置的概率区域之间。方框536中,可以相对于所述目标的图像,将处置状态显示在显示器上。方框538中,可以将颜色编码(或者其他视觉效果)的概率分布图显示为示出将所述消融体积的处置状态叠加在对象的三维图像上/中。可以通过采用视觉效果以表示所述体素已被处置的概率,从而显示所述体素的处置状态。

[0064] 参考图6,框图/流程图示出根据另一实施例用于执行消融程序的系统/方法。方框602中,如图5中所描述的形成用于处置目标体积的处置计划。这包括计算一个或多个消融区域的概率。所述区域可以包括要通过多次消融被处置的目标体积的离散体积。可以基于医师的经验、实验、消融探针的制造商规范等中的一种,确定消融体积的概率形状。也计算重叠消融部位的联合概率图。

[0065] 方框610中,可以基于具体实例或标准调整所述概率,例如,可以考虑所述目标体积中的血液或流体灌注。血流或其他流动模型可以被用来调整所述概率。这些调整可以是离血管最近的被消融区部分的局部。此外,也可以针对会影响消融体积被处置的概率的其他作用,对概率进行其他调整。

[0066] 方框612中,使用叠加在所述目标体积的图像上的视觉效果将概率显示在显示器中。所述视觉效果可以包括颜色,所述颜色被显示以表示所述目标体积的图像中的不同处

置概率。

[0067] 方框614中,将消融探针引导至所述目标体积,以根据所述计划执行消融。方框616中,根据所述计划消融所述目标体积。方框618中,可以根据重新计算的概率更新所述处置计划,以确定更准确的概率图。这可以包括显示视觉效果,以反映显示图像中的概率。以此方式,用户可以评价位置是否得到处置,并且可以确定下一次消融的最佳位置。

[0068] 方框620中,可以根据额外的消融更新所述概率,以反映多次消融的累积效应。这些更新优选以视觉形式显示在显示器上,以使用户能确定下一次消融的位置,无需不必要地消融已被处置的区域,或是因附近区域的累积效应而具有已被处置的高概率的区域。

[0069] 在解读所附权利要求书时,应理解:

[0070] a) 词语“包括”不排除提供的权利要求书所列出的那些以外的其他要素或动作的存在;

[0071] b) 要素前面的词语“一”不排除多个这样的要素的存在;

[0072] c) 权利要求书中的任何附图标记不限制它们的范围;

[0073] d) 几种“手段”可以由同一项目或硬件或软件实现的结构或功能来表示;以及

[0074] e) 除非具体指明,不意图要求特定的行为序列。

[0075] 已描述了用于概率消融规划的系统和方法的优选实施例(其意图为示例性而非限制性的),注意到,由本领域技术人员在以上教导启示下可以进行修改和变化。因此要理解,可以在所披露的公开内容的具体实施例中进行改变,所述改变在由所附权利要求书概括的本文所披露实施例的范围内。因此,专利证书要求并且期望保护的已描述专利法所要求的细节和特征在所附权利要求书中得到阐释。

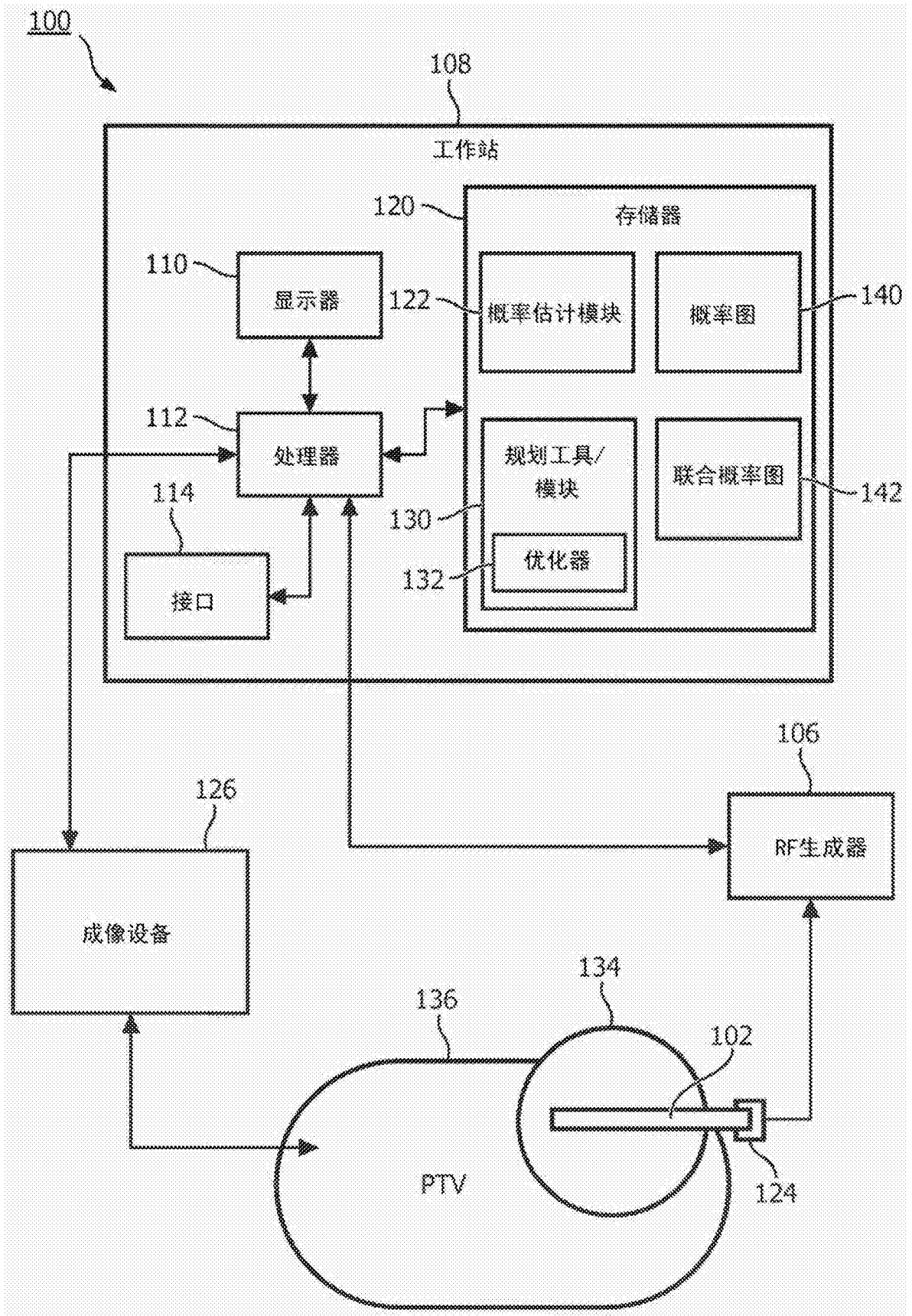


图1

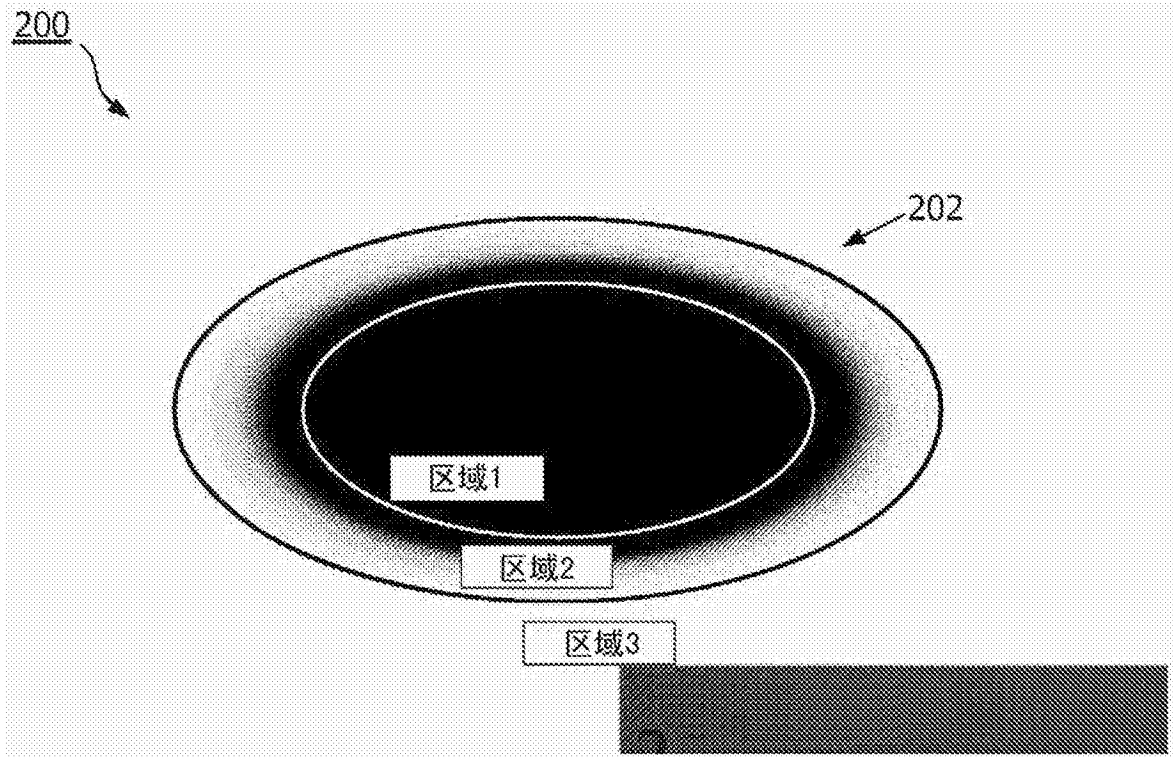


图2

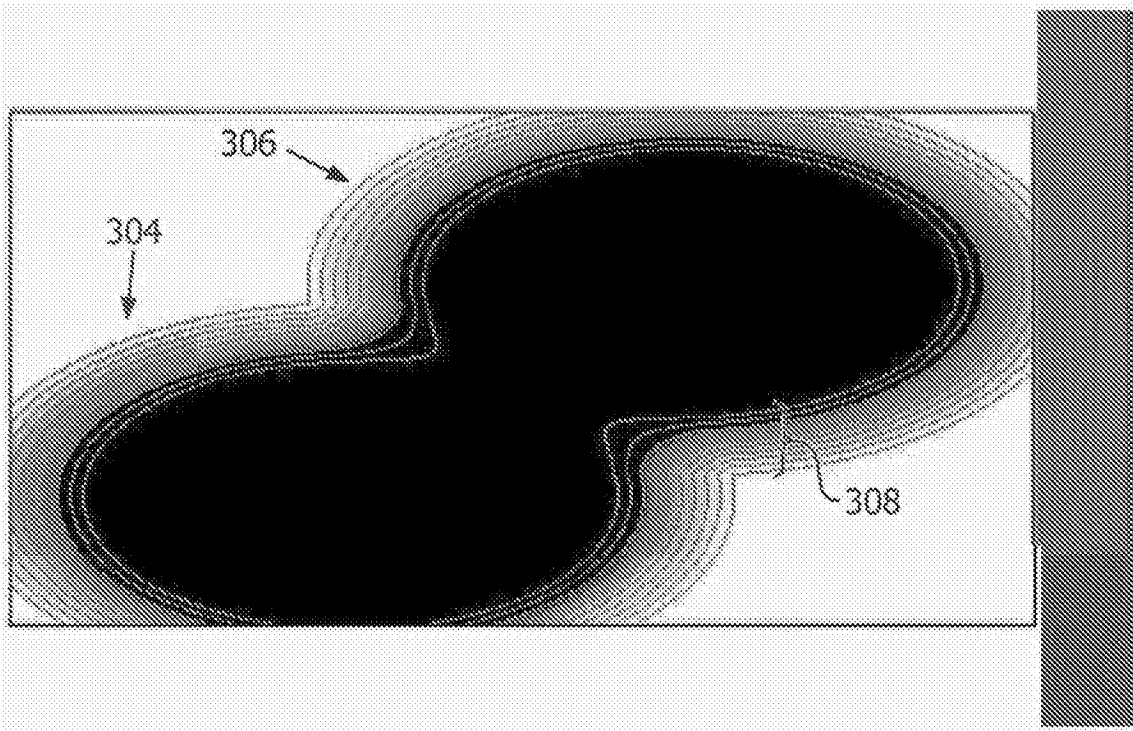


图3

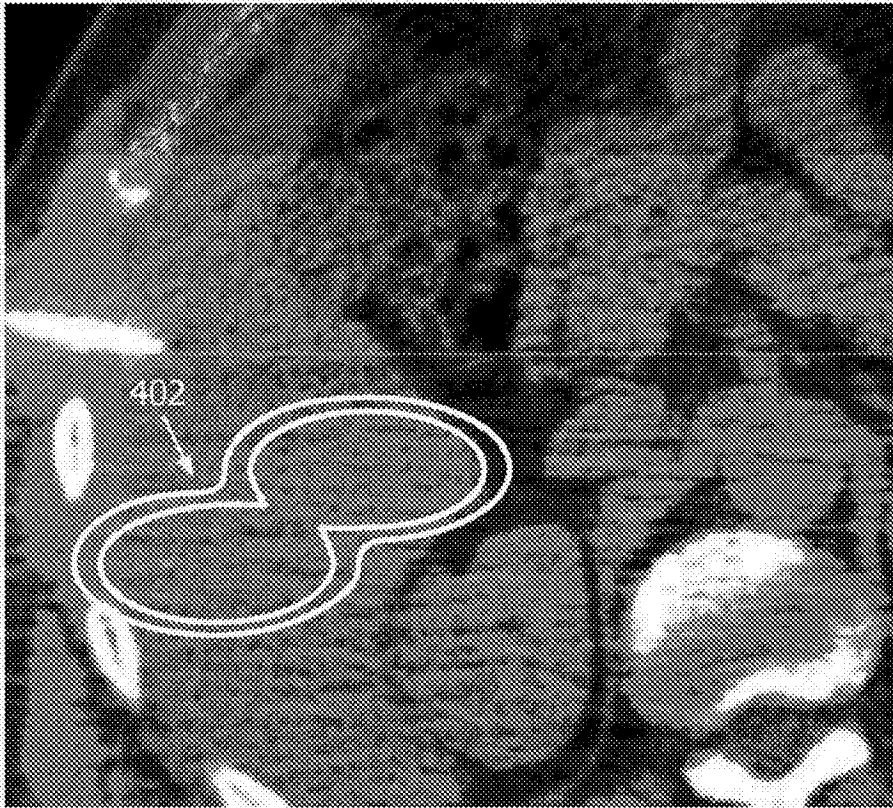


图4

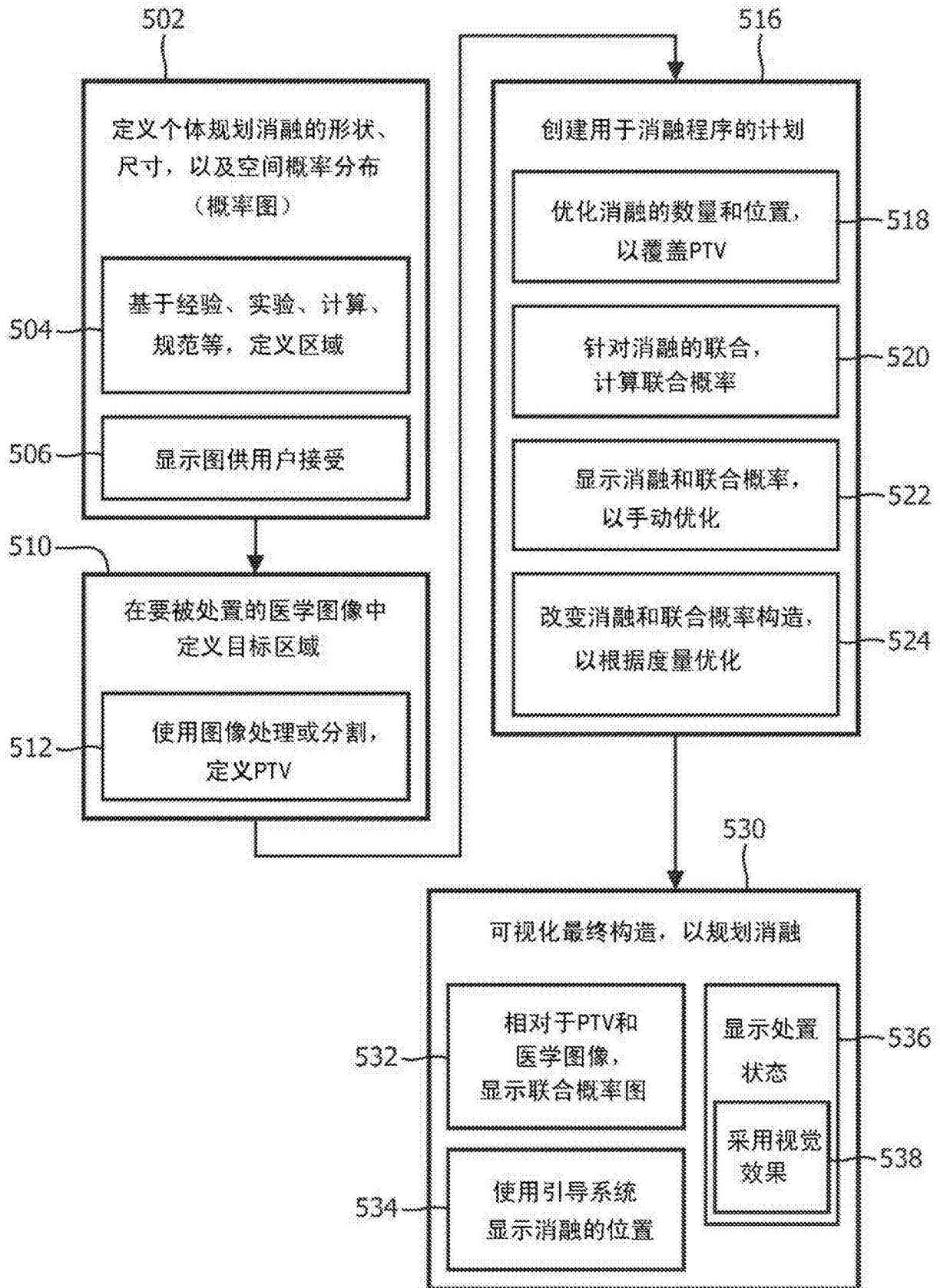


图5

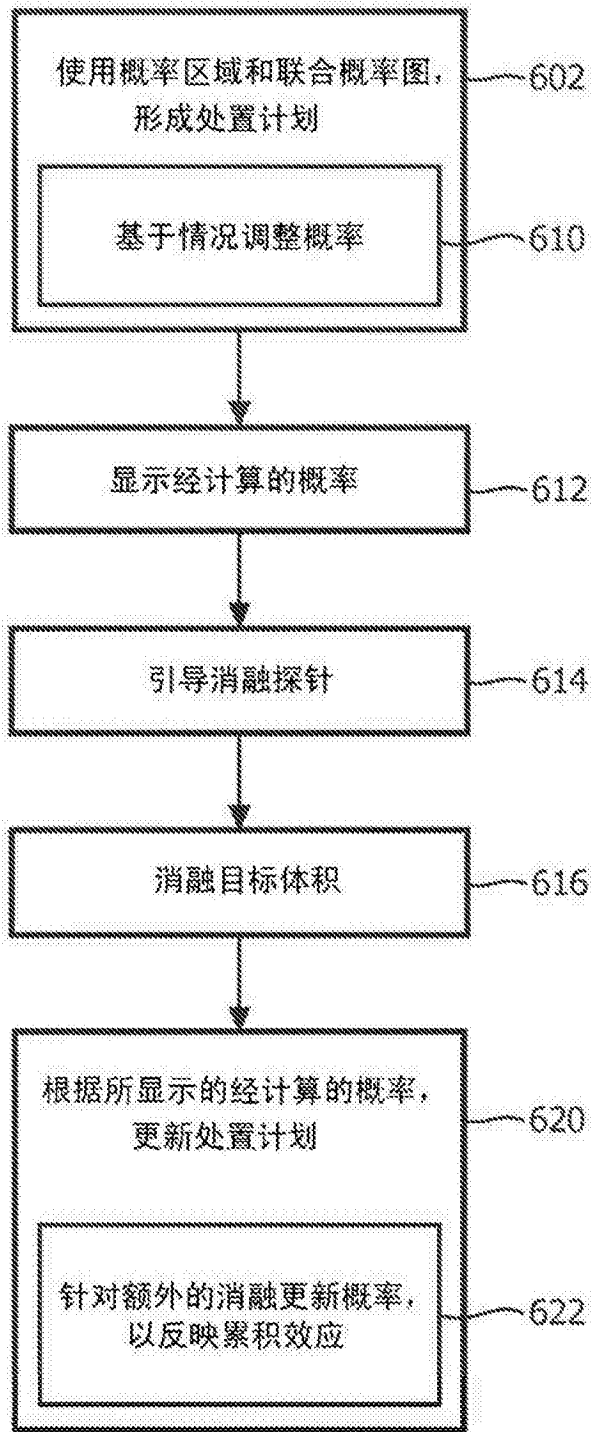


图6