

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2024 年 7 月 18 日 (18.07.2024)



(10) 国际公布号
WO 2024/148595 A1

- (51) 国际专利分类号:
A61B 5/055 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2023/072037
- (22) 国际申请日: 2023 年 1 月 13 日 (13.01.2023)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (71) 申请人: 中国科学院深圳先进技术研究院 (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。
- (72) 发明人: 张磊 (ZHANG, Lei); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 刘新 (LIU, Xin); 中国广东省深圳市

南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 郑海荣 (ZHENG, Hairong); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。 梁栋 (LIANG, Dong); 中国广东省深圳市南山区深圳大学城学苑大道 1068 号, Guangdong 518055 (CN)。

(74) 代理人: 北京市诚辉律师事务所 (BEIJING CHENGHUI LAW FIRM); 中国北京市朝阳区朝阳北路 99 号楼 2 单元 905, Beijing 100123 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE,

(54) Title: ABDOMINAL VESSEL WALL IMAGING METHOD AND SYSTEM

(54) 发明名称: 一种腹部血管壁成像方法和系统

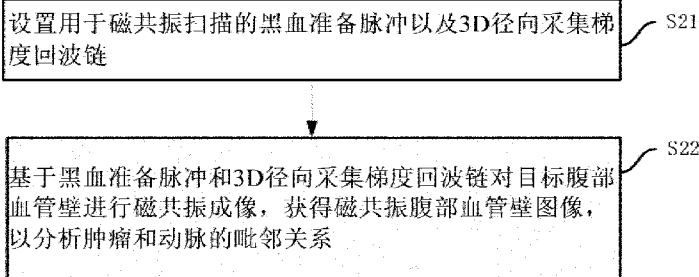


图 2

- S210 Configure a black-blood preparation pulse and a 3D radial acquisition gradient echo train for magnetic resonance scanning
- S220 On the basis of the black-blood preparation pulse and the 3D radial acquisition gradient echo train, perform magnetic resonance imaging on a target abdominal blood vessel wall to obtain a magnetic resonance abdominal blood vessel wall image, so as to analyze the adjacency between a tumor and an artery

(57) Abstract: An abdominal vessel wall imaging method and system. The method comprises: applying a set radio frequency pulse sequence to an imaging area, wherein the set radio frequency pulse sequence sequentially comprises in temporal order: a delay alternating with nutation for tailored excitation (DANTE) pulse, a fat suppression (FS) pulse, and a 3D radial acquisition gradient echo train; and on the basis of a black-blood preparation pulse and the 3D radial acquisition gradient echo train covering main abdominal blood vessels (including abdominal aorta, gastric artery, splenic artery, celiac trunk, common hepatic artery, superior mesenteric artery, inferior mesenteric artery, renal artery, etc.), performing magnetic resonance imaging on a target abdominal blood vessel wall to obtain a magnetic resonance abdominal blood vessel wall image (S220). The imaging method can reduce motion artifacts caused by respiration and intestinal peristalsis, and also suppress blood flow signals, thereby improving the resolution of the abdominal blood vessel wall image.



PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE,
SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

- (84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区
保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ,
NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚
(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE,
BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR,
HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO,
PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF,
CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN,
TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要: 一种腹部血管壁成像方法和系统, 该方法包括: 将一设定射频脉冲序列应用于成像区域, 其中, 设定射频脉冲序列按照时间顺序依次包括: 延迟交替章动定制激发DANTE脉冲、脂肪抑制FS脉冲和3D径向采集梯度回波链, 基于黑血准备脉冲和3D径向采集梯度回波链覆盖腹部主要的血管(包括腹主动脉、胃动脉、脾动脉、腹腔干、肝总动脉、肠系膜上动脉、肠系膜下动脉和肾动脉等), 对目标腹部血管壁进行磁共振成像, 获得磁共振腹部血管壁图像(S220)。该成像方法能够减弱由于呼吸、肠道蠕动引起的运动伪影, 并同时抑制血流信号, 提高了腹部血管壁图像的分辨率。

一种腹部血管壁成像方法和系统

5 技术领域

本发明涉及磁共振成像技术领域，更具体地，涉及一种腹部血管壁成像方法和系统。

背景技术

10 胰腺癌恶性程度高、转移能力强、极易复发、预后能力差，发病率在世界范围内呈持续上升趋势。根治性切除是目前治疗胰腺癌最有效的手段，基于影像学检查结果提示的肿瘤的位置以及和周围重要血管的关系以及远处转移情况，评估肿瘤可切除性并将其分为可切除，交接可切除和不可切除 3 种类型，具体参见表 1。

15 表 1 胰腺癌可切除性的影像学评估

可切除状态	动脉	静脉
可切除胰腺癌	肿瘤未触及腹腔干、肠系膜上动脉或肝总动脉	肿瘤未触及肠系膜上静脉或门静脉，或有触及但未 > 180°，且静脉轮廓规则
交界可切除胰腺癌	胰头和胰颈部肿瘤：肿瘤触及肝总动脉，但未累及腹腔干或左右肝动脉起始部，可以被完全切除并重建；肿瘤触及肠系膜上动脉，但没有 > 180°；若合并动脉解剖变异如副肝右动脉、替代肝右动脉、替代肝总动脉等，应注意明确是否受累及受累范围，可能影响手术决策	胰头和胰颈部肿瘤：肿瘤触及肠系膜上静脉或门静脉 > 180°或触及范围虽未 > 180°，但静脉轮廓不规则或存在静脉血栓，切除后可行静脉重建；肿瘤触及下腔静脉
	胰体/尾部肿瘤：肿瘤触及腹腔干未 > 180°；肿瘤触及腹腔干 > 180°，但未触及腹主动脉，且胃十二指肠肠动脉未受累（有学者认为这种情况属于局部进展期范畴）	胰体或尾部肿瘤：肿瘤触及脾静脉门静脉汇入处，或门静脉左侧有触及但未 > 180°，静脉轮廓不规则；受累血管可完整切除，其远端可行安全重建；肿瘤触及下腔静脉
不可切除胰腺癌		
局部进展期	胰头和胰颈部肿瘤：肿瘤触及肠系膜上动脉 > 180°；肿瘤触及腹腔干 > 180°	胰头和胰颈部肿瘤：肿瘤侵犯或栓塞（瘤栓或血栓）导致肠系膜上静脉或门静脉不可切除重建；肿瘤大范围触及肠系膜上静脉远侧空肠引流支
	胰体/尾部肿瘤：肿瘤触及肠系膜上动脉或腹腔干 > 180°；腹腔干及腹主动脉受累	胰体/尾部肿瘤：肿瘤侵犯或栓塞（瘤栓或血栓）导致肠系膜上静脉或门静脉无法切除重建
合并远处转移	远处转移（包括切除范围以外淋巴结转移）	远处转移（包括切除范围以外淋巴结转移）

肿瘤和胰腺周围血管的接触程度对切除治疗至关重要，参见图 1 所示的肿瘤（T）和动脉（A）的毗邻关系，其中图 1（a）示意了肿瘤和血管表

面接触小于 180° 且没有导致血管形变；图 1 (b) 示意了肿瘤和血管表面接触超过 180° 且没有导致血管形变，这种情况不建议进行切除手术；图 1 (c) 是血管壁形态不规则的情况，不管肿瘤和血管之间接触程度如何，都被认为是肿瘤入侵血管壁的征兆，也不建议进行切除手术。

5 目前，磁共振血管壁成像是唯一能够无创、并且同时显示血管壁和管腔的成像手段。然而现有的磁共振血管壁成像主要应用于大脑和颈动脉，在腹部应用比较少，这主要是因为腹部一直在运动（呼吸、肠道蠕动等），而磁共振对运动特别敏感，对于运动的组织成像效果较差。

DANTE 是用于抑制运动质子信号的新方法(DANTE-prepared pulse
10 trains:a novel approach to motion-sensitized and motion-suppressed quantitative magnetic resonance imaging, Magnetic resonance in medicine, 2012 年, 5 期 68 卷, 第 1423 页), 对颈动脉血流信号的抑制效果明显优于以往的黑血技术。仿真研究表明, DANTE 对运动速度大于 0.2cm/s 的质子信号的衰减可以达到 80%。

15 在现有技术中, 清华的 Ning 等人提出使用带呼吸导航 iMSDE-SPGR 序列进行腹主动脉和肾动脉的扫描 (Ning ZH, et al., Free-breathing three-dimensional isotropic-resolution MR sequence for simultaneous vessel wall imaging of bilateral renal arteries and abdominal aorta: Feasibility and reproducibility. Med Phys. 2022 Feb;49(2):854-864), 该方案采用呼吸导航
20 抑制腹部运动产生的伪影, 利用 iMSDE 抑制血流信号, 达到黑血效果, SPGR 序列则是用于采集信号。这种方案对于呼吸不均匀的患者容易产生运动伪影, 而且 iMSDE 模块的压血效果也没有 DANTE 好。

Zhu 等人利用 DANTE-SPACE 进行腹主动脉血管壁扫描 (Zhu CC, et al., Isotropic 3D black blood MRI of abdominal aortic aneurysm wall and
25 intraluminal thrombus. Magn Reson Imaging. 2016 Jan;34(1):18-25), 该方案没有采用任何运动矫正技术来抑制腹部运动产生的伪影, 采用 3.4 倍平均来增加信噪比。这种方案受腹部运动影响较大, 图像模糊, 血管壁边界不清晰。

发明内容

本发明的目的是克服上述现有技术的缺陷，提供一种鲁棒的腹部血管壁成像方法和系统，同时解决由于腹部运动导致的成像模糊和血流抑制的问题，改善了血管壁的成像质量。

根据本发明的第一方面，提供一种腹部血管壁成像方法。该方法包括以下步骤：

将一设定射频脉冲序列应用于成像区域，其中，设定射频脉冲序列按照时间顺序依次包括：延迟交替章动定制激发 DANTE 脉冲、脂肪抑制 FS 脉冲和 3D 径向采集梯度回波链，所述 3D 径向采集梯度回波链包含一系列梯度回波；

基于所述延迟交替章动定制激发 DANTE 脉冲、所述脂肪抑制 FS 脉冲和所述 3D 径向采集梯度回波链对目标腹部血管壁进行磁共振成像，获得磁共振腹部血管壁图像。

根据本发明的第二方面，提供一种腹部血管壁成像系统。该系统包括：

扫描设置单元：用于将一设定射频脉冲序列应用于成像区域，其中，设定射频脉冲序列按照时间顺序依次包括：延迟交替章动定制激发 DANTE 脉冲、脂肪抑制 FS 脉冲和 3D 径向采集梯度回波链，所述 3D 径向采集梯度回波链包含一系列梯度回波；

图像采集单元：用于基于所述延迟交替章动定制激发 DANTE 脉冲、所述脂肪抑制 FS 脉冲和所述 3D 径向采集梯度回波链对目标腹部血管壁进行磁共振成像，获得磁共振腹部血管壁图像。

与现有技术相比，本发明的优点在于，针对腹部运动的特点，设置特有的扫描脉冲序列，能够减弱由于呼吸、肠道蠕动引起的运动伪影，并同时抑制血流信号，提升了腹部血管壁图像的清晰度。

通过以下参照附图对本发明的示例性实施例的详细描述，本发明的其它特征及其优点将会变得清楚。

附图说明

被结合在说明书中并构成说明书的一部分的附图示出了本发明的实施例，并且连同其说明一起用于解释本发明的原理。

图 1 是现有技术中肿瘤和动脉的毗邻关系示意图；

图 2 是根据本发明一个实施例的腹部血管壁成像方法的流程图；

5 图 3 是根据本发明一个实施例的磁共振扫描脉冲的时序图；

图 4 是根据本发明一个实施例的辐条之间间隔黄金角可均匀地填充 k 空间的示意图；

图 5 是根据本发明一个实施例的利用 DANTE-uCSR 采集的腹部血管壁图像效果图；

10 图 6 是根据本发明另一实施例的利用 DANTE-uCSR 采集的腹部血管壁图像的效果图；

附图中，RF-射频；Slice-层；Phase-相位；Readout-读出；Signal-信号。

具体实施方式

15 现在将参照附图来详细描述本发明的各种示例性实施例。应注意到：除非另外具体说明，否则在这些实施例中阐述的部件和步骤的相对布置、数字表达式和数值不限制本发明的范围。

以下对至少一个示例性实施例的描述实际上仅仅是说明性的，决不作为对本发明及其应用或使用的任何限制。

20 对于相关领域普通技术人员已知的技术、方法和设备可能不作详细讨论，但在适当情况下，所述技术、方法和设备应当被视为说明书的一部分。

在这里示出和讨论的所有例子中，任何具体值应被解释为仅仅是示例性的，而不是作为限制。因此，示例性实施例的其它例子可以具有不同的值。

25 应注意到：相似的标号和字母在下面的附图中表示类似项，因此，一旦某一项在一个附图中被定义，则在随后的附图中不需要对其进行进一步讨论。

本发明将 DANTE (Delay Alternating with Nutation for Tailored Excitation, 延迟交替章动定制激发) 与 3D 径向采集梯度回波链相结合进

行血管壁磁共振成像，在重新设计用于磁共振成像的脉冲序列基础上，提出了一种磁共振腹部血管壁成像方法，能够更有效、更均匀地抑制血流信号，同时提高组织的信噪比。应理解的是，下述各实施例以对腹部血管壁磁共振成像为例进行描述，并非用以限定本发明的成像区域和用途。本领域技术人员了解本发明各实施例的方法还可以用于对人体或动物其他部位的血管壁进行成像，同样地还可以用于与血流具有类似成像特性的其他部位的成像。

参见图 2 所示，所提供的腹部血管壁成像方法包括以下步骤：

步骤 S210，设置用于磁共振扫描的黑血准备脉冲以及 3D 径向采集梯度回波链。

在一个实施例中，用于磁共振成像的时序序列的时序图如图 3 所示，其中图 3 (a) 示意了该时序图包含准备脉冲和 3D 径向采集梯度回波链两部分，准备脉冲由黑血脉冲 DANTE 和压脂脉冲 FS 构成，DANTE 用于抑制血流信号，达到黑血效果。3D 径向采集梯度回波链用于采集磁共振信号，能有效抑制呼吸和肠道蠕动产生的运动伪影。

DANTE 可用于抑制血流信号。具体地，DANTE 脉冲群由多个重复的脉冲模块构成，参见图 3 (b) 所示，每个脉冲模块包括一个矩形脉冲和施加在三个方向的散相梯度（灰色框），其中矩形脉冲的翻转角 α 大小为几度到十几度，例如可为 2° 至 19° 范围，如为 10° 脉冲。散相梯度幅值可设为磁共振系统能运行的最大值，可设为 $20\text{mT/m} \sim 80\text{mT/m}$ (毫特斯拉/米)，如设为 80mT/m 。脉冲模块的重复次数可视应用情况调整，一般从几十到几百，重复次数越多，血流抑制效果越好，但会增加扫描时间和降低图像的信噪比，例如可将脉冲模块的重复次数设置为 40 至 500 范围内。

DANTE 利用一系列低翻转角的射频脉冲穿插去相位梯度，对流动的组织信号产生体素间的相位散相作用，能很好地抑制血流信号。DANTE 准备模块理论上的对比度加权为 $\sqrt{T1/T2}$ ，不会对后面的采集序列 (uCSR) 的对比度加权产生影响。此外，由于采用了小翻转角脉冲，对 B1 场的不均匀性理论上不敏感，这使得 DANTE 序列可以很好的用于超高场磁共振成像。

压脂脉冲 FS 用于抑制成像区域内的脂肪、减少脂肪相关的运动和化学伪影等、增强扫描的效果并增加图像的组织对比度等，有利于观察器官的形态和轮廓。利用压脂脉冲 FS 可以改善图像质量、提高小病灶的检出率。压脂方法可采用 STIR 序列、FatSat 序列或 IDEAL 序列等现有技术或其他衍生的方法。

3D 径向梯度回波链是由一系列梯度回波构成，单个梯度回波的时序图如图 3 (c) 所示，在 xy 平面采用径向 (radial) 轨迹填充 k 空间，在层选方向采用傅里叶编码实现 3D 采集，参见图 3 (d) 所示。因为径向采集的每条线都经过 k 空间的中心，能够有效抑制运动伪影，例如呼吸，肠道蠕动等产生。

传统磁共振成像一般采用笛卡尔 k 空间采样模式，即采集平行线按顺序填充 k 空间，这种采集方式简单便捷，并且不太受设备系统性能的影像。然而，这种采集方式容易受呼吸运动影响从而产生运动伪影，不适用于腹部血管壁成像。在本发明实施例中，采用径向 k 空间采集 (radial sampling) 来解决这一问题，参见图 4 所示，它以星状方式采集 k 空间，每条径向 k 空间线 (简称辐条) 都穿过 k 空间中心，消除了相位编码容易被呼吸运动影响的问题，从而实现自由呼吸扫描。当前辐条和下一个辐条之间的夹角有多个选择，例如采用黄金角 (111.25°)，使得每一条 k 空间线都不会和之前的采样重复，在重建时能最大化利用所有 k 空间信息以提高图像质量。同时，这种采集方式实现了非常高的时间维度的不相干性和灵活性，与压缩感知 (CS) 技术结合后，可进一步提高图像的时间分辨率。

综上，本发明针对腹部血管壁的成像特点，设计了特有的磁共振成像时序序列 (或称为 DANTE-uCSR)，有效提升了图像的清晰度。

步骤 S220，基于黑血准备脉冲和 3D 径向采集梯度回波链对目标腹部血管壁进行磁共振成像，获得磁共振腹部血管壁图像，以分析肿瘤和动脉的毗邻关系。

具体地，将上述脉冲序列应用于成像区域后，采集成像区域在射频脉冲链激励下产生的磁共振信号，该磁共振信号可以利用现有方法或改进方法进行采集，例如经过射频脉冲、选层梯度、读出梯度、相位编码等过程

实现得到磁共振信号。采集得到磁共振信号通过例如磁共振图像重建算法可以得到成像区域中腹部血管壁磁共振图像。对于该步骤，本领域技术人员可以根据本发明实施例设定的脉冲序列实现，在此不再赘述。

基于黑血准备脉冲和 3D 径向采集梯度回波链对目标腹部血管壁进行
5 磁共振成像，可获得实时的磁共振图像，以判断肿瘤和血管壁表面的接触情况以及血管形变情况，进而分析是否进行切除手术，用于临床指示。

为进一步验证本发明用于腹部血管壁成像的可行性和效果，利用新开发的 DANTE-uCSR 序列，扫描了几例志愿者，扫描结果参见图 5 和图 6 所示，图 5 是 DANTE-uCSR 采集的腹部血管壁图像，分辨率 $1.3\text{mm} \times 1.3\text{mm}$
10 $\times 4.5\text{mm}$ ，时间为 4min44s，可以清晰的看到腹主动脉和肠系膜上动脉（箭头所示）的血管壁。图 6 是 DANTE-uCSR 采集的腹部血管壁图像，分辨率 $1.3\text{mm} \times 1.3\text{mm} \times 1.5\text{mm}$ ，时间为 5min44s，可以看到腹主动脉、腹腔干和肠系膜上动脉开口处（箭头所示）的血管壁。由图可以清晰看到，腹腔干肠系膜上动脉这两根主要大动脉的血管壁，这两根血管是胰腺癌会累及的
15 主要大血管。

相应地，本发明还提供一种腹部血管壁成像系统。用于实现上述方法的一个方面或多个方法。例如，该系统包括：扫描设置单元，其用于将一设定射频脉冲序列应用于成像区域，其中，设定射频脉冲序列按照时间顺序依次包括：延迟交替章动定制激发 DANTE 脉冲、脂肪抑制 FS 脉冲和 3D
20 径向采集梯度回波链，所述 3D 径向采集梯度回波链包含一系列梯度回波；图像采集单元，其用于基于所述延迟交替章动定制激发 DANTE 脉冲、所述脂肪抑制 FS 脉冲和所述 3D 径向采集梯度回波链对目标腹部血管壁进行磁共振成像，获得磁共振腹部血管壁图像。该系统的各单元可采用通用处理器或专用硬件实现，例如 FPGA 等。

综上所述，本发明针对腹部运动对血管壁成像所造成的影响，独创地
25 设计了脉冲序列，能够有效、均匀地抑制血流信号，弥补了 DANTE 技术不能克服腹部运动伪影的缺陷，并通过将 DANTE 和 3D 径向采集梯度回波链相结合进一步提高了磁共振血管壁成像质量。与最好的现有技术 iMSDE-SPGR 相比，本发明采用 DANTE 抑制血流信号，比 iMSDE 黑血效

果更佳，进而通过采用径向采集技术，有效抑制可腹部运动伪影，获得了更加鲁棒的磁共振图像。

本发明可以是系统、方法和/或计算机程序产品。计算机程序产品可以包括计算机可读存储介质，其上载有用于使处理器实现本发明的各个方面的计算机可读程序指令。

计算机可读存储介质可以是可以保持和存储由指令执行设备使用的指令的有形设备。计算机可读存储介质例如可以是但不限于电存储设备、磁存储设备、光存储设备、电磁存储设备、半导体存储设备或者上述的任意合适的组合。计算机可读存储介质的更具体的例子（非穷举的列表）包括：便携式计算机盘、硬盘、随机存取存储器（RAM）、只读存储器（ROM）、可擦式可编程只读存储器（EPROM 或闪存）、静态随机存取存储器（SRAM）、便携式压缩盘只读存储器（CD-ROM）、数字多功能盘（DVD）、记忆棒、软盘、机械编码设备、例如其上存储有指令的打孔卡或凹槽内凸起结构、以及上述的任意合适的组合。这里所使用的计算机可读存储介质不被解释为瞬时信号本身，诸如无线电波或者其他自由传播的电磁波、通过波导或者其他传输媒介传播的电磁波（例如，通过光纤电缆的光脉冲）、或者通过电线传输的电信号。

这里所描述的计算机可读程序指令可以从计算机可读存储介质下载到各个计算/处理设备，或者通过网络、例如因特网、局域网、广域网和/或无线网下载到外部计算机或外部存储设备。网络可以包括铜传输电缆、光纤传输、无线传输、路由器、防火墙、交换机、网关计算机和/或边缘服务器。每个计算/处理设备中的网络适配卡或者网络接口从网络接收计算机可读程序指令，并转发该计算机可读程序指令，以供存储在各个计算/处理设备中的计算机可读存储介质中。

用于执行本发明操作的计算机程序指令可以是汇编指令、指令集架构（ISA）指令、机器指令、机器相关指令、微代码、固件指令、状态设置数据、或者以一种或多种编程语言的任意组合编写的源代码或目标代码，所述编程语言包括面向对象的编程语言—诸如 Smalltalk、C++、Python 等，以及常规的过程式编程语言—诸如“C”语言或类似的编程语言。计算机可读

程序指令可以完全地在用户计算机上执行、部分地在用户计算机上执行、
作为一个独立的软件包执行、部分在用户计算机上部分在远程计算机上执行、
或者完全在远程计算机或服务器上执行。在涉及远程计算机的情形中，
远程计算机可以通过任意种类的网络—包括局域网(LAN)或广域网
5 (WAN)—连接到用户计算机，或者，可以连接到外部计算机（例如利用因特网服务提供商来通过因特网连接）。在一些实施例中，通过利用计算机可读程序指令的状态信息来个性化定制电子电路，例如可编程逻辑电路、现场可编程门阵列（FPGA）或可编程逻辑阵列（PLA），该电子电路可以执行计算机可读程序指令，从而实现本发明的各个方面。

10 这里参照根据本发明实施例的方法、装置（系统）和计算机程序产品的流程图和/或框图描述了本发明的各个方面。应当理解，流程图和/或框图的每个方框以及流程图和/或框图中各方框的组合，都可以由计算机可读程序指令实现。

这些计算机可读程序指令可以提供给通用计算机、专用计算机或其它
15 可编程数据处理装置的处理器，从而生产出一种机器，使得这些指令在通过计算机或其它可编程数据处理装置的处理器执行时，产生了实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作的装置。也可以把这些计算机可读程序指令存储在计算机可读存储介质中，这些指令使得计算机、可编程数据处理装置和/或其他设备以特定方式工作，从而，存储有指令的
20 计算机可读介质则包括一个制造品，其包括实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作的各个方面的指令。

也可以把计算机可读程序指令加载到计算机、其它可编程数据处理装置、或其它设备上，使得在计算机、其它可编程数据处理装置或其它设备上执行一系列操作步骤，以产生计算机实现的过程，从而使得在计算机、
25 其它可编程数据处理装置、或其它设备上执行的指令实现流程图和/或框图中的一个或多个方框中规定的功能/动作。

附图中的流程图和框图显示了根据本发明的多个实施例的系统、方法和计算机程序产品的可能实现的体系架构、功能和操作。在这点上，流程图或框图中的每个方框可以代表一个模块、程序段或指令的一部分，所述

模块、程序段或指令的一部分包含一个或多个用于实现规定的逻辑功能的可执行指令。在有些作为替换的实现中，方框中所标注的功能也可以以不同于附图中所标注的顺序发生。例如，两个连续的方框实际上可以基本并行地执行，它们有时也可以按相反的顺序执行，这依所涉及的功能而定。

5 也要注意的，框图和/或流程图中的每个方框、以及框图和/或流程图中的方框的组合，可以用执行规定的功能或动作的专用的基于硬件的系统来实现，或者可以用专用硬件与计算机指令的组合来实现。对于本领域技术人员来说公知的是，通过硬件方式实现、通过软件方式实现以及通过软件和硬件结合的方式实现都是等价的。

10 以上已经描述了本发明的各实施例，上述说明是示例性的，并非穷尽性的，并且也不限于所披露的各实施例。在不偏离所说明的各实施例的范围和精神的情况下，对于本技术领域的普通技术人员来说许多修改和变更都是显而易见的。本文中所用术语的选择，旨在最好地解释各实施例的原理、实际应用或对市场中的技术改进，或者使本技术领域的其它普通技术
15 人员能理解本文披露的各实施例。本发明的范围由所附权利要求来限定。

权 利 要 求 书

1. 一种腹部血管壁成像方法，包括以下步骤：

将一设定射频脉冲序列应用于成像区域，其中，设定射频脉冲序列按照时间顺序依次包括：延迟交替章动定制激发 DANTE 脉冲、脂肪抑制 FS 脉冲和 3D 径向采集梯度回波链，所述 3D 径向采集梯度回波链包含一系列梯度回波；

基于所述延迟交替章动定制激发 DANTE 脉冲、所述脂肪抑制 FS 脉冲和所述 3D 径向采集梯度回波链对目标腹部血管壁进行磁共振成像，获得磁共振腹部血管壁图像。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述延迟交替章动定制激发 DANTE 脉冲包含多个重复的脉冲模块，每个脉冲模块包含一个矩形脉冲和施加在三个方向的散相梯度。

3. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，将所述矩形脉冲的翻转角设置为 2° 至 19° 范围内，将所述散相梯度的幅值设置为磁共振成像系统能够运行的最大值，所述脉冲模块的数目根据磁共振成像的信噪比要求以及扫描时间要求进行设置。

4. 根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于，将所述散相梯度的幅值设置为 80mT/m，所述脉冲模块的持续时间为 1ms~2ms，所述脉冲模块的重复次数为 50~500。

5. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，所述 3D 径向采集梯度回波链用于实现径向 k 空间采集，在 xy 平面采用径向轨迹填充 k 空间，并且每条径向 k 空间线都穿过 k 空间中心，在层选方向采用傅里叶编码实现。

6. 根据权利要求 5 所述的方法，其特征在于，在径向 k 空间采集过程中，将当前径向 k 空间线和下一个径向 k 空间线之间的夹角设置为黄金角 111.25° 。

7. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，还包括：利用所获得的磁共振腹部血管壁图像，判断肿瘤和血管壁表面的接触情况以及血管形变情况。

8. 一种腹部血管壁成像系统，包括：

扫描设置单元：用于将一设定射频脉冲序列应用于成像区域，其中，设定射频脉冲序列按照时间顺序依次包括：延迟交替章动定制激发 DANTE 脉冲、脂肪抑制 FS 脉冲和 3D 径向采集梯度回波链，所述 3D 径向采集梯度回波链包含一系列梯度回波；

5 图像采集单元：用于基于所述延迟交替章动定制激发 DANTE 脉冲、所述脂肪抑制 FS 脉冲和所述 3D 径向采集梯度回波链对目标腹部血管壁进行磁共振成像，获得磁共振腹部血管壁图像。

9. 一种计算机可读存储介质，其上存储有计算机程序，其中，该计算机程序被处理器执行时实现根据权利要求 1 至 7 中任一项所述的方法的步骤。
10

10. 一种计算机设备，包括存储器和处理器，在所述存储器上存储有能够在处理器上运行的计算机程序，其特征在于，所述处理器执行所述计算机程序时实现权利要求 1 至 7 中任一项所述的方法的步骤。

15

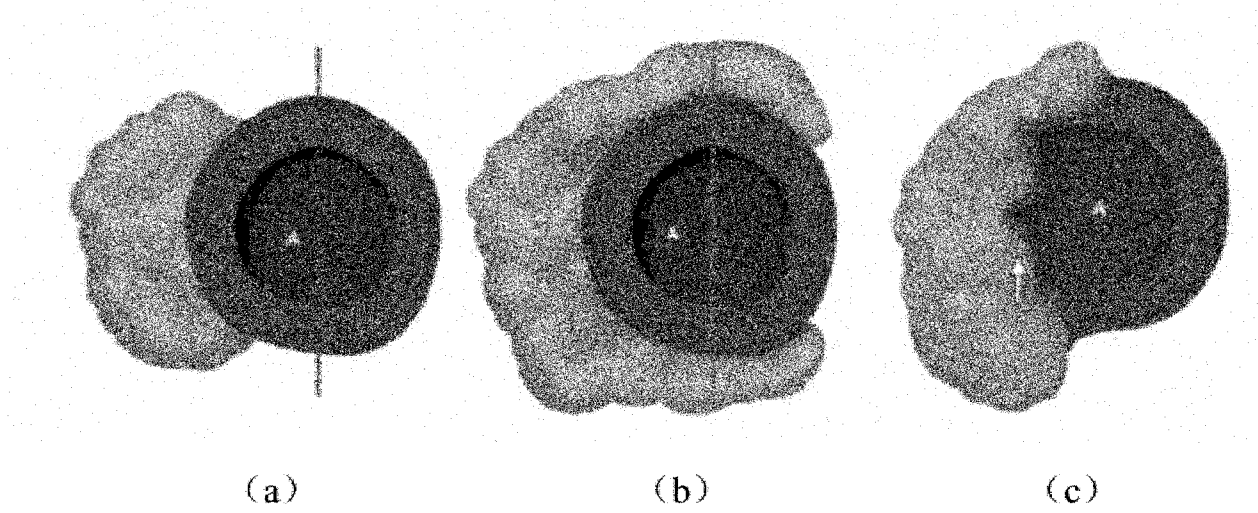


图 1

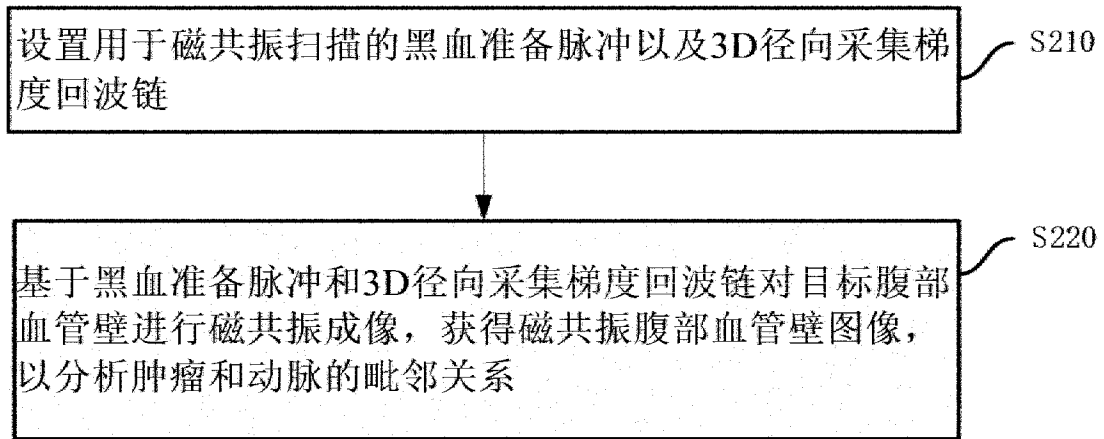


图 2

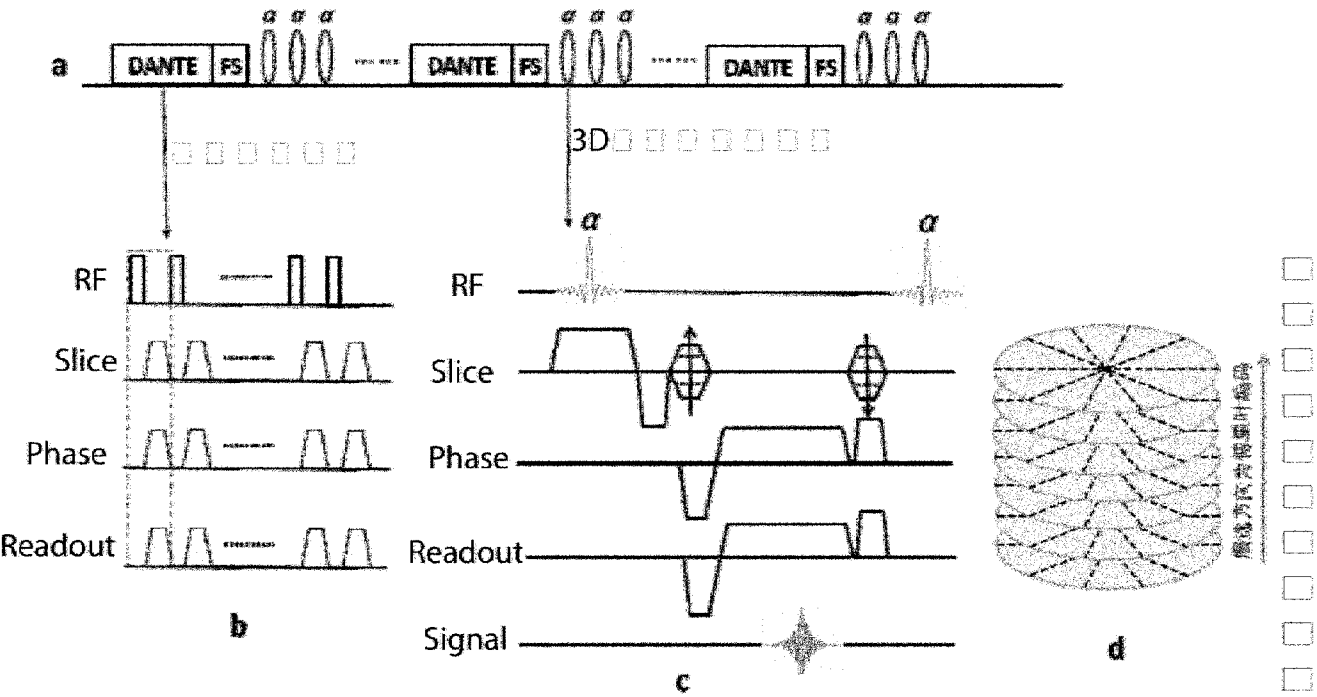


图 3

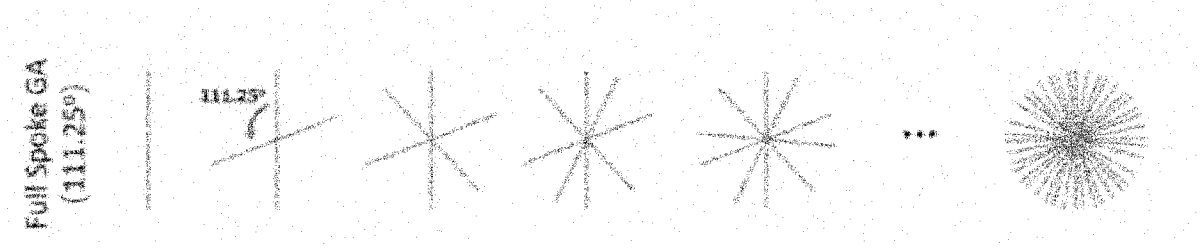


图 4

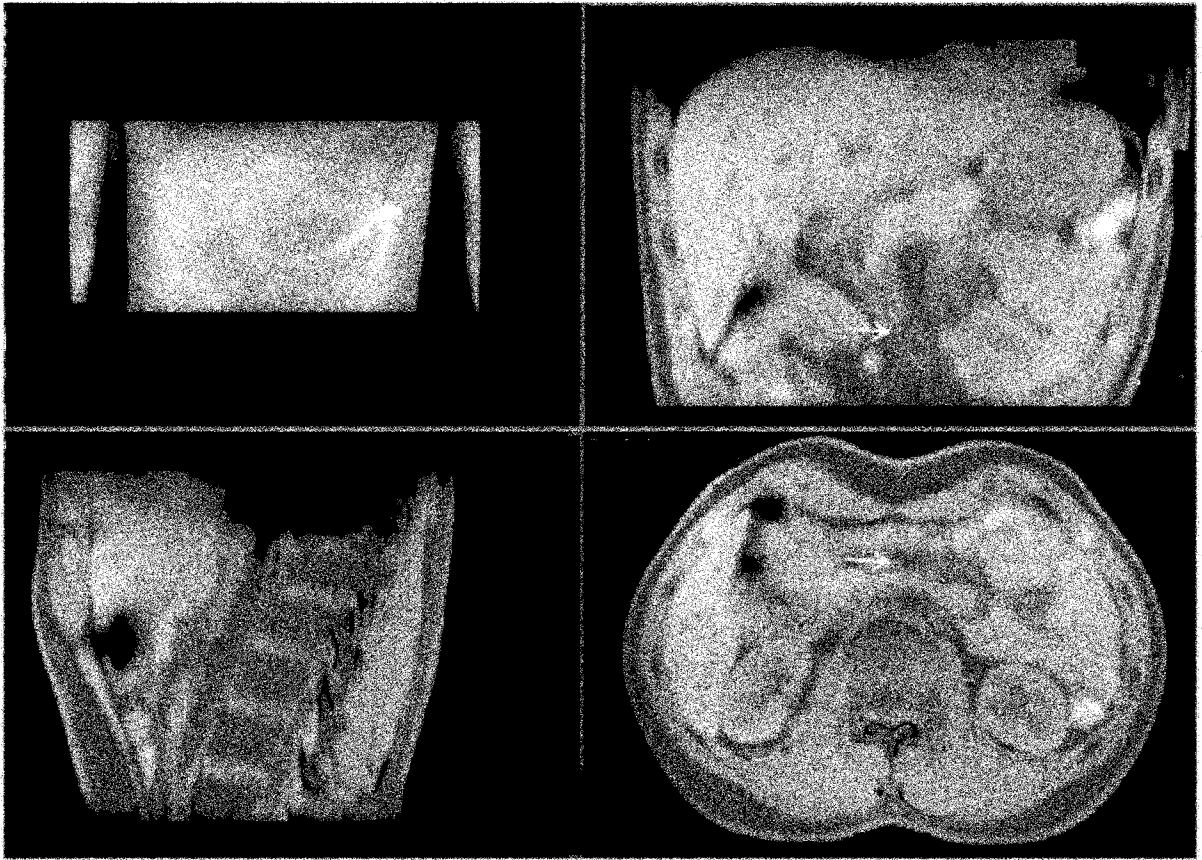


图 5

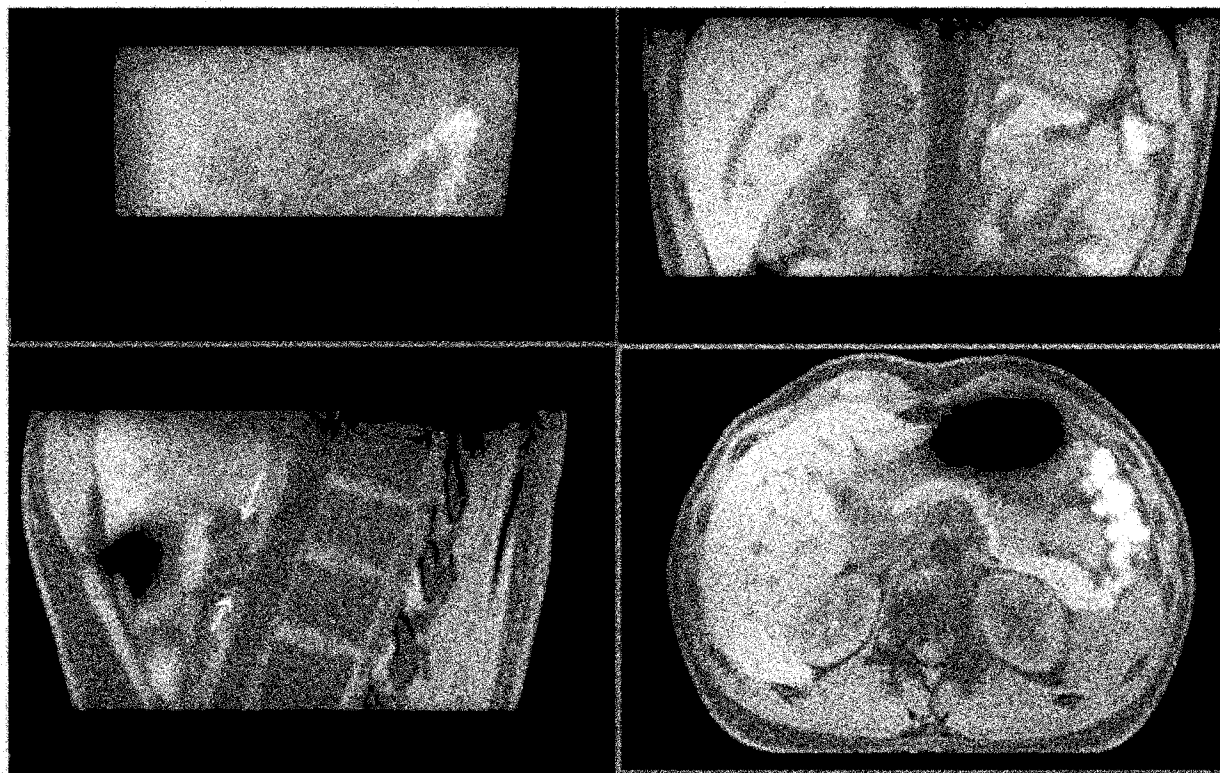


图 6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/072037

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
A61B5/055(2006.01)i		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)		
IPC:A61B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
CNABS, CNTXT, CNKI, VEN, WPABSC, WPABS, ENTXTC, ENTXT: 血管壁, 延迟交替, 章动, 黑血, DANTE, 脂肪, 抑制, 压制, 压脂, FS, 径向, 梯度回波, vessel, wall, delay, alternat+, nutat+, tailor, dark w blood, DANTE, fat, suppress+, FS, radial, sampl+		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2016266223 A1 (SIEMENS HEALTHCARE GMBH et al.) 15 September 2016 (2016-09-15) description, pages 1-5, and figures 1-9	1-10
Y	CN 107690309 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 13 February 2018 (2018-02-13) description, pages 4-11, and figures 1-23	1-10
Y	US 2008154117 A1 (SONIA NIELLES-VALLESPIN) 26 June 2008 (2008-06-26) description, pages 1-3, and figures 1-5	1-10
Y	US 2019025396 A1 (NORTHSHORE UNIVERSITY HEALTHSYSTEM) 24 January 2019 (2019-01-24) description, pages 3-6, and figures 1-5	1-10
A	CN 104545918 A (SHENZHEN INSTITUTES OF ADVANCED TECHNOLOGY, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES) 29 April 2015 (2015-04-29) entire document	1-10
☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
09 October 2023		09 October 2023
Name and mailing address of the ISA/CN		Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088		
		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2023/072037**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 103976735 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 13 August 2014 (2014-08-13) entire document	1-10
A	US 7706855 B1 (GENERAL ELECTRIC COMPANY) 27 April 2010 (2010-04-27) entire document	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2023/072037

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)		Publication date (day/month/year)
US	2016266223	A1	15 September 2016	US	10052033 B2	21 August 2018
CN	107690309	A	13 February 2018	US	2018267125 A1	20 September 2018
				US	10746833 B2	18 August 2020
				WO	2018085969 A1	17 May 2018
US	2008154117	A1	26 June 2008	JP	2008142553 A	26 June 2008
				JP	5301144 B2	25 September 2013
				DE	102006058316 A1	19 June 2008
				DE	102006058316 B4	14 October 2010
US	2019025396	A1	24 January 2019	US	10845447 B2	24 November 2020
CN	104545918	A	29 April 2015	None		
CN	103976735	A	13 August 2014	None		
US	7706855	B1	27 April 2010	None		

A. 主题的分类 A61B5/055(2006.01)i 按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类		
B. 检索领域 检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号) IPC:A61B 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用)) CNABS,CNXTX,CNKI,VEN,WPABSC,WPABS,ENTXTC,ENTXT: 血管壁, 延迟交替, 章动, 黑血, DANTE,脂肪, 抑制, 压制, 压脂, FS, 径向, 梯度回波, vessel,wall,delay,alternat+,nutat+,tailor,dark w blood,DANTE,fat,suppress+, FS, radial,sampl+		
C. 相关文件		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	US 2016266223 A1 (SIEMENS HEALTHCARE GMBH 等) 2016年9月15日 (2016 - 09 - 15) 说明书第1-5页, 图1-9	1-10
Y	CN 107690309 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2018年2月13日 (2018 - 02 - 13) 说明书第4-11页, 图1-23	1-10
Y	US 2008154117 A1 (NIELLES-VALLESPIN SONIA) 2008年6月26日 (2008 - 06 - 26) 说明书第1-3页, 图1-5	1-10
Y	US 2019025396 A1 (NORTHSHORE UNIV HEALTH SYSTEM) 2019年1月24日 (2019 - 01 - 24) 说明书第3-6页, 图1-5	1-10
A	CN 104545918 A (中国科学院深圳先进技术研究院) 2015年4月29日 (2015 - 04 - 29) 全文	1-10
A	CN 103976735 A (清华大学) 2014年8月13日 (2014 - 08 - 13) 全文	1-10
☒ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。		
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “D” 申请人在国际申请中引证的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件(如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件		
国际检索实际完成的日期 2023年10月9日	国际检索报告邮寄日期 2023年10月9日	
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	授权官员 张清楠 电话号码 (+86) 010-62085610	

C. 相关文件		
类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
A	US 7706855 B1 (GEN ELECTRIC) 2010年4月27日 (2010 - 04 - 27) 全文	1-10

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2023/072037

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
US	2016266223	A1	2016年9月15日	US	10052033	B2	2018年8月21日
CN	107690309	A	2018年2月13日	US	2018267125	A1	2018年9月20日
				US	10746833	B2	2020年8月18日
				WO	2018085969	A1	2018年5月17日
US	2008154117	A1	2008年6月26日	JP	2008142553	A	2008年6月26日
				JP	5301144	B2	2013年9月25日
				DE	102006058316	A1	2008年6月19日
				DE	102006058316	B4	2010年10月14日
US	2019025396	A1	2019年1月24日	US	10845447	B2	2020年11月24日
CN	104545918	A	2015年4月29日		无		
CN	103976735	A	2014年8月13日		无		
US	7706855	B1	2010年4月27日		无		