(19)国家知识产权局

(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 113330483 B
(45)授权公告日 2024.08.16

(21)申请号 202080010533.1

(22)申请日 2020.09.14

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113330483 A

(43)申请公布日 2021.08.31

(30)优先权数据
19197989.7 2019.09.18 EP

(85)PCT国际申请进入国家阶段日
2021.07.22

(86)PCT国际申请的申请数据
PCT/EP2020/075593 2020.09.14

(87)PCT国际申请的公布数据
WO2021/052896 DE 2021.03.25

(73)专利权人 拜耳公司
地址 德国勒沃库森

(72)发明人 M·罗雷尔 A·尤伯三世

(74)专利代理机构 北京北翔知识产权代理有限公司 11285
专利代理师 郑建晖 关丽丽

(51)Int.Cl.
G06T 7/00(2017.01)
G06N 3/0464(2023.01)
G06N 3/09(2023.01)

(56)对比文件

Lior Weizman等.Prediction of Brain MR Scans in Longitudinal.Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI 2012.2012,第7511卷正文第179页第1段-186页第3段,图1-3.

Lior Weizman等.Prediction of Brain MR Scans in Longitudinal.Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-MICCAI 2012.2012,第7511卷正文第179页第1段-186页第3段,图1-3.

Alon Shtern.Shape Correspondence using Spectral Methods and Deep Learning.Thechnion-Computer Science Department-PHD thesis PHD.2017,正文第85页第1段-第100页第1段,图6.1-6.9.

审查员 张文玉

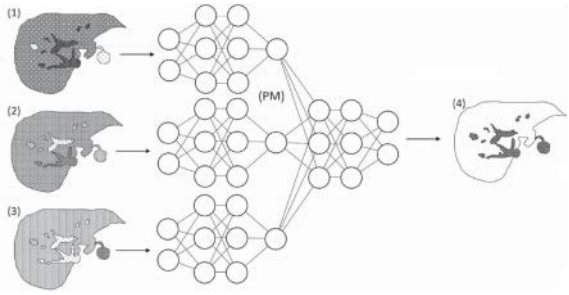
权利要求书4页 说明书10页 附图3页

(54)发明名称

由监督学习训练的预测模型预测磁共振成像图像

(57)摘要

本发明涉及磁共振成像检查的加速。本发明的主题是方法、系统、计算机程序产品、用途、所使用的造影剂以及成套组件。



CN 113330483 B

1.一种计算机实施的方法,包括以下步骤:

- 接收多个MRT图像,其中所述MRT图像的至少一部分示出施用造影剂之后的第一时间跨度期间的检查区域,

- 将所述多个MRT图像馈送到预测模型,其中所述预测模型已经通过监督学习进行训练,从而基于所述MRT图像从示出施用造影剂之后的第一时间跨度期间的检查区域的所述MRT图像的至少一部分来预测示出第二时间跨度期间的检查区域的一个或多个MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

- 通过所述预测模型生成示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个预测的MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

- 显示和/或输出所述一个或多个预测MRT图像和/或将所述一个或多个预测的MRT图像存储在数据存储器中;

其中选择所述第一时间跨度以使得所述第一时间跨度示出不同时期中的检查区域,其中所述时期包括自然期、动脉期、门静脉期和晚期,其中接收示出所述自然期中的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述动脉期期间的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述门静脉期中的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述晚期中的检查区域的至少一个MRT图像;

其中所述第二时间跨度处于肝胆期内;

其中所述第一时间跨度在施用所述造影剂之前的1分钟至1秒的时间跨度内开始,或从施用所述造影剂开始且从施用所述造影剂起持续2分钟至15分钟的时间跨度,且其中所述第二时间跨度在施用所述造影剂之后的至少10分钟开始。

2.根据权利要求1所述的方法,其中至少一个所接收到的MRT图像示出了施用造影剂之前的检查区域,且至少一个所接收的MRT图像示出了施用造影剂之后的检查区域。

3.根据权利要求1或2所述的方法,其中所述检查区域是哺乳动物的肝脏或肝脏的一部分。

4. 根据权利要求1或2所述的方法,其中所接收的MRT图像示出在时间点TP0之前以及从TP0到TP1的时间跨度期间和/或从 TP1到TP2的时间跨度期间和/或从TP2到TP3的时间跨度期间和/或从TP3到TP4的时间跨度期间的哺乳动物的肝脏或肝脏的一部分,其中在所述时间点TP0处所述造影剂以团注方式在静脉内施用,然后经由肝动脉和肝静脉进入肝细胞,其中在所述时间点TP1处所述造影剂在所述肝动脉中达到最大浓度,其中在所述时间点TP2处由所述造影剂在所述肝静脉中产生的信号强度的值与由所述造影剂在所述肝动脉中产生的信号强度的值一样大,其中在所述时间点TP3处所述造影剂在所述肝静脉中达到最大浓度,其中在所述时间点TP4处由所述造影剂在所述肝细胞中产生的信号强度的值与由所述造影剂在所述肝静脉中产生的信号强度的值一样大。

5.根据权利要求1或2所述的方法,其中所述预测模型是人工神经网络。

6.根据权利要求1或2所述的方法,其中所述造影剂是肝胆造影剂。

7.根据权利要求1或2所述的方法,其中所述检查区域是人的肝脏或肝脏的一部分。

8.根据权利要求1或2所述的方法,其中所述第一时间跨度在施用所述造影剂之前的1分钟至1秒的时间跨度内开始,或从施用所述造影剂开始且从施用所述造影剂起持续2分钟至13分钟的时间跨度。

9.根据权利要求1或2所述的方法,其中所述第一时间跨度在施用所述造影剂之前的1分钟至1秒的时间跨度内开始,或从施用所述造影剂开始且从施用所述造影剂起持续3分钟至10分钟的时间跨度。

10.根据权利要求1或2所述的方法,其中所述第二时间跨度在施用所述造影剂之后的至少20分钟开始。

11.根据权利要求1或2所述的方法,其中所述造影剂是Gd-EOB-DTPA或Gd-BOPTA。

12.系统,包括:

· 接收单元,

· 控制和计算单元以及

· 输出单元,

- 其中所述控制和计算单元被配置为使所述接收单元接收多个MRT图像,其中所述MRT图像的至少一部分示出施用造影剂之后的第一时间跨度期间的检查区域,

- 其中所述控制和计算单元被配置为基于所接收的MRT图像来预测一个或多个MRT图像,其中所述一个或多个预测的MRT图像示出第二时间跨度期间的检查区域,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

- 其中所述控制和计算单元被配置为使所述输出单元显示、输出所述一个或多个预测的MRT图像或将所述一个或多个预测的MRT图像存储在数据存储器中;

其中选择所述第一时间跨度以使得所述第一时间跨度示出不同时期中的检查区域,其中所述时期包括自然期、动脉期、门静脉期和晚期,其中接收示出所述自然期中的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述动脉期期间的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述门静脉期中的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述晚期中的检查区域的至少一个MRT图像;

其中所述第二时间跨度处于肝胆期内;

其中所述第一时间跨度在施用所述造影剂之前的1分钟至1秒的时间跨度内开始,或从施用所述造影剂开始且从施用所述造影剂起持续2分钟至15分钟的时间跨度,且其中所述第二时间跨度在施用所述造影剂之后的至少10分钟开始。

13.计算机程序产品,包括计算机程序,所述计算机程序能够被加载到计算机系统的主存储器中且使所述计算机系统执行以下步骤:

- 接收多个MRT图像,其中所述MRT图像的至少一部分示出在施用造影剂之后的第一时间跨度期间的检查区域,

- 将所述多个MRT图像馈送到预测模型中,其中所述预测模型已经通过监督学习进行训练,从而基于所述MRT图像,根据示出施用造影剂之后的第一时间跨度期间的检查区域的所述MRT图像的至少一部分来预测示出第二时间跨度期间的检查区域的一个或多个MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

- 通过所述预测模型生成示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个预测的MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

- 显示和/或输出所述一个或多个预测的MRT图像和/或将所述一个或多个预测的MRT图像存储在数据存储器中;

其中选择所述第一时间跨度以使得所述第一时间跨度示出不同时期中的检查区域,其

中所述时期包括自然期、动脉期、门静脉期和晚期,其中接收示出所述自然期中的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述动脉期期间的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述门静脉期中的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述晚期中的检查区域的至少一个MRT图像;

其中所述第二时间跨度处于肝胆期内;

其中所述第一时间跨度在施用所述造影剂之前的1分钟至1秒的时间跨度内开始,或从施用所述造影剂开始且从施用所述造影剂起持续2分钟至15分钟的时间跨度,且其中所述第二时间跨度在施用所述造影剂之后的至少10分钟开始。

14.造影剂在MRT方法中的用途,其中所述MRT方法包括以下步骤:

- 施用造影剂,其中所述造影剂在检查区域中扩散,

- 生成第一时间跨度期间的所述检查区域的多个MRT图像,

- 将所生成的MRT图像馈送到预测模型,其中所述预测模型已经通过监督学习进行训练,从而基于示出第一时间跨度期间的检查区域的所述MRT图像预测示出第二时间跨度期间的检查区域的一个或多个MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

- 接收作为来自所述预测模型的输出的、示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个预测的MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

- 显示和/或输出所述一个或多个预测的MRT图像和/或将所述一个或多个预测的MRT图像存储在数据存储器中;

其中选择所述第一时间跨度以使得所述第一时间跨度示出不同时期中的检查区域,其中所述时期包括自然期、动脉期、门静脉期和晚期,其中接收示出所述自然期中的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述动脉期期间的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述门静脉期中的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述晚期中的检查区域的至少一个MRT图像;

其中所述第二时间跨度处于肝胆期内;

其中所述第一时间跨度在施用所述造影剂之前的1分钟至1秒的时间跨度内开始,或从施用所述造影剂开始且从施用所述造影剂起持续2分钟至15分钟的时间跨度,且其中所述第二时间跨度在施用所述造影剂之后的至少10分钟开始。

15.用于MRT方法中的造影剂,其中所述MRT方法包括以下步骤:

- 施用造影剂,其中所述造影剂在检查区域中扩散,

- 生成第一时间跨度期间的所述检查区域的多个MRT图像,

- 将所生成的MRT图像馈送到预测模型,其中所述预测模型已经通过监督学习进行训练,以基于示出第一时间跨度期间的检查区域的所述MRT图像来预测示出第二时间跨度期间的检查区域的一个或多个MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

- 接收作为来自所述预测模型的输出的、示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个预测的MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

- 显示和/或输出一个或多个预测的MRT图像和/或将一个或多个预测的 MRT图像存储在数据存储器中,

其中所述造影剂是具有钆塞酸或钆塞酸盐作为对比增强的活性物质的物质或物质混合物;

其中选择所述第一时间跨度以使得所述第一时间跨度示出不同时期中的检查区域,其中所述时期包括自然期、动脉期、门静脉期和晚期,其中接收示出所述自然期中的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述动脉期期间的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述门静脉期中的检查区域的至少一个MRT图像,且接收示出所述晚期中的检查区域的至少一个MRT图像;

其中所述第二时间跨度处于肝胆期内;

其中所述第一时间跨度在施用所述造影剂之前的1分钟至1秒的时间跨度内开始,或从施用所述造影剂开始且从施用所述造影剂起持续2分钟至15分钟的时间跨度,且其中所述第二时间跨度在施用所述造影剂之后的至少10分钟开始。

16.根据权利要求15所述造影剂,其中所述造影剂是Gd-EOB-DTPA二钠。

17.成套组件,包括根据权利要求15所述的造影剂以及根据权利要求13所述的计算机程序产品。

由监督学习训练的预测模型预测磁共振成像图像

技术领域

[0001] 本发明涉及磁共振成像检查的加速,特别是在通过动态造影剂增强的磁共振成像(Magnetresonanztomographie,MRT)的局灶性肝脏病变的检测和鉴别诊断中。本发明的主题是一种用于预测MRT图像、特别是在肝胆期期间的肝脏的MRT图像的方法、系统和计算机程序产品。

背景技术

[0002] 磁共振成像简称MRT或MR(英文是MRI,Magnetic Resonance Imaging),是一种成像方法,该成像方法尤其用于医学诊断中,用于描绘人体或动物体中的组织和器官的结构和功能。

[0003] 在MR成像中,检查对象中的质子的磁矩在基本磁场中被对准,从而沿着纵向方向存在宏观磁化。此随后通过高频(HF)脉冲(激励)的入射辐射而从静止位置偏转。从激励状态到静止位置的恢复(弛豫)或磁化动态随后被一个或更多个HF接收器线圈检测为弛豫信号。

[0004] 为了空间编码,快速切换的磁梯度场被叠加在基本磁场上。所捕获的弛豫信号或者所检测到的且经空间解析的MR数据初始地被呈现为空间频率空间中的原始数据,且可以通过随后的傅里叶变换被变换到实体空间(图像空间)中。

[0005] 对于原始MRT,由不同的弛豫时间(T1和T2)和质子密度生成组织对比。

[0006] T1弛豫描述了纵向磁化向其平衡状态的转变,T1是在共振激励之前达到63.21%的平衡磁化所需要的时间。它还被称为纵向弛豫时间或自旋晶格弛豫时间。

[0007] 类似地,T2弛豫描述了横向磁化向其平衡状态的转变。

[0008] MR造影剂通过更改摄取造影剂的结构的弛豫时间来发挥它们的作用。可以在两组物质之间进行区分:顺磁性物质和超顺磁性物质。两组物质都具有未成对的电子,这些电子在单个原子或分子周围感应出磁场。

[0009] 超顺磁性造影剂导致T2的显著缩短,而顺磁造影剂主要导致T1的缩短。T1时间的缩短导致T1加权MRT图像中的信号强度的增加,而T2时间的缩短导致T2加权MRT图像中的信号强度的降低。

[0010] 所述造影剂的作用是间接的,因为造影剂本身不发出信号,而是仅影响其周围的氢质子的信号强度。

[0011] 细胞外、细胞内和脉管内造影剂可以根据它们在组织中的扩散模式进行区分。

[0012] 超顺磁性造影剂的一个实施例是氧化铁纳米颗粒(SPIO,英文是superparamagnetic iron oxide)。超顺磁性造影剂通常用作脉管内造影剂。

[0013] 顺磁性造影剂的实施例是钆螯合物,诸如钆喷酸葡胺(商品名:**Magnevist®**等)、钆贝葡胺(商品名:**Multihance®**)、钆特酸(**Dotarem®**、**Dotagita®**、**Cyclolux®**)、钆双胺(**Omniscan®**)、钆特醇(**ProHance®**)和钆布醇(**Gadovist®**)。

[0014] 细胞外、细胞内和脉管内造影剂可以根据它们在组织中的扩散模式进行区分。

[0015] 基于钆塞酸的造影剂的特征在于肝脏细胞、肝细胞的特异性摄取,且在于功能组织(实质(Parenchym))中的富集,且在于健康肝脏组织中造影剂的增强。囊肿、转移瘤以及大多数肝脏细胞癌的细胞不再像正常肝脏细胞那样起作用,不摄取造影剂或几乎不摄取造影剂,不会通过增强进行描绘,因此可识别和可定位。

[0016] 基于钆塞酸的造影剂的实施例在US6,039,931A中进行描述;它们可以例如以商品名**Primovist®**或**Eovist®**购得。

[0017] **Primovist®/Eovist®**的造影剂增强效果通过稳定的钆络合物Gd-EOB-DTPA(钆塞酸二钠(gadolinium ethoxybenzyl diethylenetriaminepentaacetic acid))介导。DTPA与顺磁性钆离子形成具有极高热力学稳定性的络合物。乙氧基苄基自由基(EOB)是肝胆摄取造影剂的介体。

[0018] **Primovist®**可以被用于检测肝脏中的肿瘤。健康的肝脏组织的血液供应主要经由门静脉(Vena portae)实现,而肝脏动脉(Arteria hepatica)供应大多数原发性肿瘤。在静脉注射一剂造影剂之后,相应地可以观察到健康肝脏实质的信号上升与肿瘤的信号上升之间的时间延迟。

[0019] 除了恶性肿瘤之外,肝脏中经常发现的是良性病变,诸如囊肿、血管瘤和局灶性结节增生(FNH)。恰当的治疗计划要求将这些良性病变与恶性肿瘤进行区分。**Primovist®**可以被用于鉴别良性和恶性局灶性肝脏病变。通过T1加权MRT,提供了关于所述病变的特征的信息。通过利用肝脏和肿瘤的不同血液供应以及造影剂增强的时间分布来实现区分。

[0020] 通过**Primovist®**所实现的造影剂增强可以被分为至少两个时期:动态期(包括所谓的动脉期、门静脉期和晚期)和肝胆期(在肝胆期中,已经发生了**Primovist®**在肝细胞中的显著摄取)。

[0021] 在分配期由**Primovist®**所实现的造影剂增强的情况下,观察到的是提供用于表征病变的信息的典型的灌注模式。描绘脉管化有助于表征病变类型以及确定肿瘤和血管之间的空间关系。

[0022] 在T1加权MRT图像的情况下,**Primovist®**在注射之后的10-20分钟(在肝胆期中)导致健康的肝脏实质中明显的信号增强,而病变不含肝细胞或仅含有少量肝细胞,例如转移或中度至低分化的肝细胞癌(HCC)显示为较暗的区域。

[0023] 跟踪造影剂在动态期和肝胆期随时间的扩散为局灶性肝脏病变的检测和鉴别诊断提供了良好的可能性;然而,检查延续相对长的时间跨度。在所述时间跨度内,应避免患者的移动,从而最小化MRT图像中的移动伪影。长时间的移动限制对患者来说可能是不愉快的,且在实践中难以一贯地实现。

发明内容

[0024] 基于所描述的现有技术,技术目的是使检查对患者来说不那么不舒适。

[0025] 该目的通过独立权利要求的主题实现。本发明的优选实施方案可以在从属权利要求、本说明书和附图中找到。通过本发明大大缩短了MRT检查的时间跨度,这对患者来说是一种解脱。

[0026] 本发明的第一个主题是一种计算机实施的方法,包括以下步骤:

[0027] -接收多个第一MRT图像,其中所述第一MRT图像的至少一部分示出在施用造影剂之后的第一时间跨度期间的检查区域,

[0028] -将所述多个第一MRT图像馈送到预测模型中,其中所述预测模型已经基于参考MRT图像通过监督学习进行训练,从而根据示出在施用造影剂之后的第一时间跨度期间的检查区域的所述第一参考MRT图像的至少一部分,生成示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个第二参考MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

[0029] -通过所述预测模型生成示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个预测的MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

[0030] -显示和/或输出所述一个或多个预测的MRT图像和/或将所述一个或多个预测的MRT图像存储在数据存储器中。

[0031] 本发明的另一主题是一种系统,包括

[0032] • 接收单元,

[0033] • 控制和计算单元以及

[0034] • 输出单元,

[0035] -其中所述控制和计算单元被配置为使所述接收单元接收多个第一MRT图像,其中所述第一MRT图像的至少一部分示出在施用造影剂之后的第一时间跨度期间的检查区域,

[0036] -其中所述控制和计算单元被配置为基于所接收的第一MRT图像来预测一个或多个第二MRT图像,其中所述一个或多个第二MRT图像示出第二时间跨度期间的检查区域,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

[0037] -其中所述控制和计算单元被配置为使所述输出单元显示、输出所述一个或多个第二MRT图像或将所述一个或多个第二MRT图像存储在数据存储器中。

[0038] 本发明的另一主题是一种计算机程序产品,包括计算机程序,所述计算机程序可以被加载到计算机系统的主存储器中且使所述计算机系统执行以下步骤:

[0039] -接收多个第一MRT图像,其中所述第一MRT图像的至少一部分示出在施用造影剂之后的第一时间跨度期间的检查区域,

[0040] -将所述多个第一MRT图像馈送到预测模型中,其中所述预测模型已经基于参考MRT图像通过监督学习进行训练,从而根据示出在施用造影剂后的第一时间跨度期间的检查区域的所述第一参考MRT图像的至少一部分,生成示出第二时间跨度期间的检查区域的一个或多个第二参考MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

[0041] -通过所述预测模型生成示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个预测的MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

[0042] -显示和/或输出所述一个或多个预测的MRT图像和/或将所述一个或多个预测的MRT图像存储在数据存储器中。

[0043] 本发明的另一主题是造影剂在MRT方法中的用途,其中所述MRT方法包括以下步骤:

[0044] -施用造影剂,其中所述造影剂在检查区域中扩散,

[0045] -生成第一时间跨度期间的所述检查区域的多个第一MRT图像,

[0046] -将所生成的第一MRT图像馈送到预测模型中,其中所述预测模型已经基于参考MRT图像通过监督学习进行训练,从而根据示出第一时间跨度期间的所述检查区域的第一参考MRT图像,生成示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个第二参考MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

[0047] -接收示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个预测的MRT图像,作为来自所述预测模型的输出,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

[0048] -显示和/或输出所述一个或多个预测的MRT图像和/或将所述一个或多个预测的MRT图像存储在数据存储器中。

[0049] 另一主题是用于MRT方法中的造影剂,其中所述MRT方法包括以下步骤:

[0050] -施用造影剂,其中所述造影剂在检查区域中扩散,

[0051] -生成第一时间跨度期间的所述检查区域的多个第一MRT图像,

[0052] -将生成的第一MRT图像馈送到预测模型中,其中所述预测模型已经基于参考MRT图像通过监督学习进行训练,从而根据示出第一时间跨度期间的检查区域的第一参考MRT图像,生成示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个第二参考MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

[0053] -接收作为来自所述预测模型的输出的、示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个预测的MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

[0054] -显示和/或输出一个或多个预测的MRT图像和/或将一个或多个预测的MRT图像存储在数据存储器中。

[0055] 另一主题是包括根据本发明的造影剂和计算机程序产品的成套组件。

[0056] 以下在不区分本发明的主题(方法、系统、计算机程序产品、用途、所使用的造影剂、成套组件)的情况下,更详细地解释本发明。相反,以下解释应该类似地适用于本发明的所有主题,而与它们出现的上下文(方法、系统、计算机程序产品、用途、使用的造影剂、成套组件)无关。

[0057] 如果在本说明书或权利要求中以一种顺序陈述步骤,则这未必意味着实施方案或方面限于所陈述的顺序。相反,可以设想,还以不同的顺序或者彼此并行地执行所述步骤,除非一个步骤建立在另一步骤上,这绝对需要所建立的步骤随后执行(然而,这将在个体情况下是清晰的)。因此,所陈述的顺序可以是优选的实施方案。

[0058] 本发明在MRT图像的生成中缩短了检查对象的检查的时间跨度。这是通过第一时间跨度中所测量的检查对象的检查区域的MRT图像(磁共振测量)且然后在自学习算法的帮助下使用测量的MRT图像来预测示出第二时间跨度中的所述检查区域的一个或多个MRT图像来实现的。对检查对象的实际磁共振测量因此限于所述第一时间跨度且不包含所述第二时间跨度。示出所述第一时间跨度期间的所述检查区域的MRT图像包含允许对所述第二时间跨度进行预测的信息。

[0059] “检查对象”通常可以是活体,优选地是哺乳动物,非常特别优选地是人。检查区域可以是检查对象的一部分,例如器官或器官的一部分。优选地,检查区域是哺乳动物(例如,人)的肝脏或肝脏的一部分。

[0060] “检查区域”还被称为图像体积(英语为:field of view(视场),FOV),尤其表示在磁共振图像中所成像的体积。检查区域通常可以由放射科医生确定,例如在概览图像(英语

为:localizer,定位器)上。不言自明的是,还可以替代地或附加地例如在选定的协议的基础上自动地确定检查区域。

[0061] 检查区域被引入基本磁场。对检查区域采用MRT方法,且这生成示出第一时间跨度期间的检查区域的多个MRT图像。这些在第一时间跨度期间由测量技术所生成的MRT图像在本说明书中还称为第一MRT图像。

[0062] 术语“多个”意味着生成至少两个(第一)MRT图像,优选地生成至少三个(第一)MRT图像,非常特别优选地生成至少四个(第一)MRT图像。

[0063] 在检查区域中扩散的造影剂被施用到检查对象。优选地按以适应体重的方式以团注方式在静脉内施用造影剂(例如,进入手臂中的静脉)。

[0064] “造影剂”被理解为表示一种物质或物质混合物,其在磁共振测量中的存在导致改变的信号。优选地,造影剂导致T1弛豫时间和/或T2弛豫时间的缩短。

[0065] 优选地,造影剂是肝胆造影剂,诸如例如Gd-EOB-DTPA或Gd-BOPTA。

[0066] 在一个特别优选的实施方案中,造影剂是具有钆塞酸或钆塞酸盐作为对比增强的活性物质的物质或物质混合物。非常特别优选的是钆酸的二钠盐(Gd-EOB-DTPA二钠)。

[0067] 优选地,第一时间跨度在施用造影剂之前开始或从施用造影剂开始。有利的是在生成示出不具有造影剂的检查区域的一个或多个MRT图像(原始图像)时,因为放射科医师已经可以在这种图像中获得关于检查对象的健康状态的重要信息。例如,放射科医生可以在这种原始MRT图像中识别出血。

[0068] 第一时间跨度优选地包括用造影剂充满检查区域。优选地,第一时间跨度包括检查对象的肝脏或肝脏的一部分的动态对比增强的磁共振断层扫描中的动脉期和/或门静脉期和/或晚期。所陈述的时期例如在以下出版物中限定和描述:J.Magn.Reson.Imaging,2012,35(3):492-511,doi:10.1002/jmri.22833;Clujul Medical,2015,第88卷第4期:438-448,DOI:10.15386/cjmed-414;肝脏病学杂志,2019,第71卷:534-542,http://dx.doi.org/10.1016/j.jhep.2019.05.005。

[0069] 在优选实施方案中,所述第一时间跨度被选择为使得生成检查对象的肝脏或肝脏的一部分的这种MRT图像,

[0070] (i)示出不具有造影剂的检查区域,

[0071] (ii)示出动脉期期间的检查区域,在所述动脉期中,所述造影剂经由动脉在所述检查区域中扩散,

[0072] (iii)示出门静脉期期间的检查区域,在所述门静脉期中,所述造影剂经由门静脉到达所述检查区域,以及

[0073] (iv)示出晚期期间的检查区域,在所述晚期中,所述造影剂在所述动脉和静脉中的浓度下降且所述造影剂在肝脏细胞中的浓度上升。

[0074] 优选地,所述第一时间跨度在施用所述造影剂之前的1分钟至1秒钟的时间跨度内开始,或从施用所述造影剂开始且从施用所述造影剂起持续2分钟至15分钟的时间跨度,优选地持续2分钟至13分钟的时间跨度,更优选地持续3分钟至10分钟的时间跨度。由于所述造影剂非常缓慢地经肾脏和/或胆汁排泄,所以较宽的时间跨度可以延长至施用所述造影剂之后的两小时或更长时间。

[0075] 因为造影剂在不同的检查对象中会以不同的速度扩散,所以还可以通过所述造影

剂在所述检查区域的不同区域中的浓度来限定所述第一时间跨度。图1中描绘了一种可能性。图1示意性地示出了造影剂在肝脏动脉(A)、肝脏静脉(V)和健康肝脏细胞(P)中的浓度的时间分布。以磁共振测量中的所陈述的区域(肝脏动脉、肝脏静脉、肝脏细胞)中的信号强度I作为时间t的函数的形式描绘浓度。一旦进行静脉团注,造影剂的浓度首先在肝脏动脉(A)中升高(短划线)。浓度通过最大值然后下降。肝脏静脉(V)中的浓度比肝脏动脉中的浓度更缓慢地上升,且稍后达到其最大值(虚线)。所述造影剂在健康肝脏细胞(P)中的浓度缓慢上升(连续曲线),且仅在非常晚的时间点达到其最大值(图1中未描绘出最大值)。可以限定几个特征时间点。在时间点TP0处,造影剂以团注方式在静脉中施用。在时间点TP1处,造影剂在肝脏动脉中的浓度(信号强度)达到其最大值。在时间点TP2处,肝脏动脉和肝脏静脉的信号强度的曲线相交。在时间点TP3处,造影剂在肝脏静脉中的浓度(信号强度)达到通过其最大值。在时间点TP4处,肝脏动脉和肝脏细胞的信号强度的曲线相交。在时间点T5处,肝脏动脉和肝脏静脉中的浓度已经下降到它们不再引起可测量的造影剂度增强的水平。

[0076] 在一个优选的实施方案中,第一时间跨度至少包括时间点TP0、TP1、TP2、TP3和TP4。

[0077] 在一个优选的实施方案中,至少生成所有以下时期的MRT图像(通过测量技术):在TP0之前的时间跨度内、在从TP0到TP1的时间跨度内、在从TP1到TP2的时间跨度内、在从TP2到TP3的时间跨度内以及在TP3到TP4的时间跨度内。

[0078] 可以设想,在TP0之前、在TP0到TP1、TP1到TP2、TP2到TP3、TP3到TP4的时间跨度内,在每种情况下(通过测量技术)生成一个或多个MRT图像。还可以设想,在一个或多个时间跨度期间,(通过测量技术)生成MRT图像序列。

[0079] 术语“序列”意味着按时间的顺序,即生成的是示出连续时间点处的检查区域的多个MRT图像。

[0080] 一个时间点被指派至每个MRT图像,或者一个时间点可以被指派至每个MRT图像。通常,该时间点是已经生成MRT图像的时间点(绝对时间)。本领域技术人员知晓,MRT图像的生成使用一定的时间跨度。例如,可以指派至MRT图像的是开始获取的时间点或完成获取的时间点。然而,也可以想到,将任意时间点指定到MRT图像(例如,相对时间点)。

[0081] 基于一个时间点,可以将一个MRT图像相对于另一MRT图像按时间顺序布置;基于一个MRT图像的时间点,可以确定该MRT图像中所示出的时刻按时间顺序发生在另一MRT图像中示出的一个时刻之前还是之后。

[0082] 优选地,MRT图像按时间顺序排列成一个序列和多个序列,使得在所述序列和所述多个序列中,示出检查区域的较早状态的MRT图像被布置在示出所述检查区域的较晚状态的那些MRT图像之前。

[0083] 优选地,在一个序列和/或多个序列中紧跟彼此的两个MRT图像之间的时间跨度对于所述序列和/或所述多个序列中紧跟彼此的所有MRT图像对是相同的,即MRT图像优选地以恒定的获取速率来生成。

[0084] 基于第一时间跨度期间(通过测量技术)所生成的(第一)MRT图像,预测示出第二时间跨度期间的检查区域的一个MRT图像或多个MRT图像。为第二时间跨度所预测的MRT图像在本说明书中还被称为第二MRT图像。

[0085] 在本发明的优选实施方案中,所述第二时间跨度在所述第一时间跨度之后。

[0086] 所述第二时间跨度优选地是肝胆期内的时间跨度;优选地是在施用造影剂之后至少10分钟开始的时间跨度,优选地是在施用造影剂之后至少20分钟开始的时间跨度。

[0087] 示出所述第一时间跨度期间的所述检查区域的多个测量的MRT图像被馈送到预测模型。所述预测模型是被配置为基于示出所述第一时间跨度期间的检查区域的多个MRT图像来预测示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个MRT图像的模型。

[0088] 就此而言,术语“预测”是指使用示出所述第一时间跨度期间的所述检查区域的MRT图像来计算示出所述第二时间跨度期间的所述检查区域的MRT图像。

[0089] 优选地,在监督机器学习过程中借助自学习算法创建所述预测模型。通过使用包括所述第一时间跨度和所述第二时间跨度的多个MRT图像的训练数据来实现学习。这些训练数据在本说明书中也称为参考MRT图像。在第一时间跨度期间所生成的参考MRT图像还称为第一参考MRT图像;在第二时间跨度期间所生成的参考MRT图像还称为第二参考MRT图像。

[0090] 自学习算法在机器学习期间生成基于所述训练数据的统计模型。这意味着,不是简单地背诵所述示例,而是算法“识别”所述训练数据中的模式和规律。因此,所述预测模型还可以评估未知数据。验证数据可以被用于测试未知数据的评估质量。

[0091] 所述预测模型通过监督学习(英文为:supervised learning)进行训练,即将来自第一时间跨度的多个第一参考MRT图像依次呈现给所述算法,且“告知”所述算法所述第二时间跨度中的哪些第二参考MRT图像与所述多个图像相关联。然后,所述算法学习所述第一时间跨度的多个参考MRT图像与所述第二时间跨度的参考MRT图像之间的关系,从而针对所述第一时间跨度的未知的多个MRT图像预测所述第二时间跨度中的一个或多个MRT图像。

[0092] 通过监督学习训练的自学习系统在现有技术中得到广泛描述(参见例如,C.Perez:Machine Learning Techniques:Supervised Learning and Classification,Amazon Digital Services LLC-Kdp Print Us,2019,ISBN 1096996545,9781096996545)。

[0093] 优选地,所述预测模型是人工神经网络。

[0094] 这样的人工神经网络包括至少三层处理元件:具有输入神经元(节点)的第一层、具有至少一个输出神经元(节点)的第N层以及N-2个内层,其中N是自然数且大于2。

[0095] 输入神经元用于接收数字MRT图像作为输入值。通常,针对数字MRT图像的每个像素或体素都存在一个输入神经元。可以存在用于附加输入值的附加输入神经元(例如,关于检查区域、关于检查对象、关于在生成MRT图像时普遍存在的条件的信息,和/或关于至/在其中生成MRT图像的时间点或时间跨度的信息)。

[0096] 在这样的网络中,所述输出神经元用于为第一时间跨度的多个MRT图像预测第二时间跨度的一个或多个MRT图像。

[0097] 输入神经元与输出神经元之间的层的处理元件以具有预定连接权重的预定模式彼此连接。

[0098] 优选地,人工神经网络是所谓的卷积神经网络(简称CNN)。

[0099] 卷积神经网络能够以矩阵的形式处理输入数据。这使得可以使用被描绘为矩阵(例如,宽度×高度×颜色通道)的数字MRT图像作为输入数据。与之相比,普通神经网络(例如,多层感知器(MLP)的形式的神经网络)需要向量作为输入,即使用MRT图像作为输入,该MRT图像的像素或体素将必须在长链中依次展开。结果,普通神经网络例如不能独立于对象在MRT图像中的位置来识别MRT图像中的对象。MRT图像中的不同位置处的同一对象将具有

完全不同的输入向量。

[0100] CNN基本上由交替重复的过滤器(卷积层)和聚合层(池化层)组成,最后由一层或多层“普通的”完全连接的神经元(密集/完全连接的层)组成。

[0101] 在分析序列(MRT图像的序列)时,空间和时间可以被视为等效维度,并且例如通过3D折叠进行处理。在由Baccouche等人的论文(参见例如Baccouche等人:Sequential Deep Learning for Human Action Recognition;International Workshop on Human Behavior Understanding,Springer 2011,第29-39页)和Ji等人的论文(3D Convolutional Neural Networks for Human Action Recognition,IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,35(1),221-231)中已经示出了这一点。

[0102] 此外,可以训练负责时间和空间的不同网络且最终合并特征,如Karpathy等人的出版物和Simonyan&Zisserman的出版物(参见例如Karpathy等人:Large-scale Video Classification with Convolutional Neural Networks;Proceedings of the IEEE conference on Computer Vision and Pattern Recognition,2014年,第1725-1732页;Simonyan&Zisserman:Two-stream Convolutional Networks for Action Recognition in Videos;Advances in Neural Information Processing Systems,2014年,第568-576页)中所描述的。

[0103] 循环神经网络(RNN)是一系列神经网络,所述神经网络包含层之间的反馈连接。RNN允许通过神经网络的不同部分共同利用参数数据来对序列数据进行建模。RNN的架构包含循环。循环表示变量的当前值对其自身在未来时间点的值的影响,因为来自RNN的输出数据的至少一部分被用作处理序列中的后续输入的反馈。

[0104] 可以从现有技术(参见例如:S.Khan等人:A Guide to Convolutional Neural Networks for Computer Vision,Morgan&Claypool Publishers 2018,ISBN 1681730227,9781681730226,WO2018/183044A1,WO2018/200493,WO2019/074938A1,WO2019/204406A1,WO 2019/241659A1)收集详细信息。

[0105] 神经网络的训练可以例如通过反向传播方法进行。在这方面,网络所追求的是,尽可能可靠地进行给定输入向量到给定输出向量的映射。映射质量由误差函数描述。目标是最小化误差函数。在反向传播方法的情况下,通过改变连接权重来教导人工神经网络。

[0106] 在训练状态下,处理元件之间的连接权重包含关于第一时间跨度的多个参考MRT图像与第二时间跨度的参考MRT图像之间的关系的信息,所述信息可以被用于针对示出所述第一时间跨度期间的检查区域的多个新的MRT图像,来预测示出第二时间跨度期间的检查区域的一个或多个MRT图像。

[0107] 可以使用交叉验证方法,以将数据划分为训练数据集和验证数据集。训练数据集被用于网络权重的反向传播训练。验证数据集被用于检查经训练的网络可以被应用于未知的多个MRT图像的预测准确性。

[0108] 如已经指出的,关于检查对象、关于检查区域、关于检查条件和/或关于测量的MRT图像的其他信息还可以用于训练、验证和预测。

[0109] 关于检查对象的信息的实施例是:性别、年龄、体重、身高、既往病历、已服用的药物的性质和持续时间和量、血压、中心静脉压、呼吸频率、血清白蛋白、总胆红素、血糖、铁含

量、呼吸能力等。这些例如还可以从数据库或电子病历中收集。

[0110] 关于检查区域的信息的实施例是:预先存在的条件、手术、部分切除、肝脏移植、铁肝、脂肪肝等。

[0111] 可以设想,示出在第一时间跨度期间的检查区域的多个MRT图像在被馈送到预测模型之前进行移动校正。这种移动校正确保第一MRT图像的像素或体素与在时间上处于下游的第二MRT图像的相应像素或体素示出相同的检查区域。移动校正方法在现有技术(参见例如:EP3118644、EP3322997、US20080317315、US20170269182、US20140062481、EP2626718)中进行了描述。

[0112] 本发明的主题是一种系统,通过所述系统可以执行根据本发明的方法。

[0113] 所述系统包括接收单元、控制和计算单元以及输出单元。

[0114] 可以设想,所提到的单元是单个计算机系统的部件;然而,还可以设想,所陈述的单元是多个分立计算机系统的组件,所述多个分立计算机系统经由网络彼此连接,从而将数据和/或控制信号从一个单元传输到另一单元。

[0115] “计算机系统”是一种通过可编程计算规则来处理数据的电子数据处理的系统。这样的系统通常包括“计算机”,包括用于执行逻辑操作的处理器的所述单元,以及外围设备。

[0116] 在计算机技术中,“外围设备”是指所有与计算机连接且用于控制计算机和/或作为输入和输出设备的设备。外围设备的实施例是显示器(屏幕)、打印机、扫描仪、鼠标、键盘、驱动器、摄像机、麦克风、扬声器等。内部端口和扩展卡也被认为是计算机技术中的外围设备。

[0117] 当今的计算机系统通常分为台式PC、便携式PC、膝上型电脑、笔记本电脑、上网本和平板PC以及所谓的手持设备(例如智能电话);所有这些系统都可以用于实施本发明。

[0118] 经由输入装置(例如,键盘、鼠标、麦克风和/或诸如此类)实现计算机系统的输入。

[0119] 根据本发明的系统被配置为接收示出第一时间跨度期间的检查区域的多个MRT图像,且基于这些数据和可选的其他数据来生成(预测、计算)示出第二时间跨度期间的检查区域的一个或多个MRT图像。

[0120] 所述控制和计算单元用于所述接收单元的控制、多个单元之间的数据和信号流的协调以及MRT图像的计算。可以设想,存在多个控制和计算单元。

[0121] 所述接收单元用于接收多个MRT图像。例如,可以从磁共振系统传输或从数据存储器中读取所述多个MRT图像。磁共振系统可以是根据本发明的系统的部件。然而,也可以设想,根据本发明的系统是磁共振系统的部件。

[0122] 将MRT图像的序列以及可选的其他数据从所述接收单元传输到所述控制和计算单元。

[0123] 所述控制和计算单元被配置为基于示出第一时间跨度期间的检查区域的多个MRT图像来预测一个或多个MRT图像,其中预测的MRT图像示出第二时间跨度期间的检查区域。优选地,预测模型可以加载到所述控制和计算单元的主存储器中,利用所述预测模型计算所述第二时间跨度的MRT图像。所述预测模型优选地通过监督学习在自学习算法的帮助下生成(训练)。

[0124] 经由所述输出单元,预测的MRT图像可以被显示(例如,在屏幕上)、被输出(例如,经由打印机)或被存储在数据存储器中。

附图说明

[0125] 下面参照附图更详细地解释本发明,但不希望将本发明限制于附图中示出的特征或特征的组合,在附图中:

[0126] 图1示意性地示出了造影剂在肝脏动脉(A)、肝脏静脉(V)和肝脏细胞(P)中浓度的时间分布且已经在上文详细描述。

[0127] 图2示意性地示出了根据本发明的系统的优选实施方案。系统(10)包括接收单元(11)、控制和计算单元(12)和输出单元(13)。

[0128] 图3示意性地且示例性地示出了根据本发明的方法的实施方案。方法(100)包括以下步骤:

[0129] (110)接收多个第一MRT图像,其中所述第一MRT图像的至少一部分示出施用造影剂之后的第一时间跨度期间的检查区域,

[0130] (120)将所述多个第一MRT图像馈送到预测模型,其中所述预测模型已经基于参考MRT图像通过监督学习进行训练,从而根据示出第一时间跨度期间的检查区域的第一参考MRT图像,预测示出第二时间跨度期间的检查区域的一个或多个第二参考MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

[0131] (130)通过所述预测模型生成示出第二时间跨度期间的所述检查区域的一个或多个预测的MRT图像,其中所述第二时间跨度在时间上在所述第一时间跨度之后,

[0132] (140)显示和/或输出一个或多个预测的MRT图像和/或将一个或多个预测的MRT图像存储在数据存储器中。

[0133] 图4示意性地且示例性地示出了肝脏在动态期和肝胆期的多个MRT图像。在图4(a)、图4(b)、图4(c)、图4(d)、图4(e)和图4(f)中,始终描绘了在不同时间点处穿过肝脏的相同横截面。图4(a)、图4(b)、图4(d)和图4(f)中所录入的参考标记适用于所有的图4(a)、图4(b)、图4(c)、图4(d)、图4(e)和图4(f);为了清楚起见,它们各自仅录入一次。

[0134] 图4(a)示出了在静脉内施用肝胆造影剂之前穿过肝脏(L)的横截面。在由图4(a)和图4(b)所描绘的时间点之间的时间点处,以团注方式在静脉内施用肝胆造影剂。这经由图4(b)中的肝脏动脉(A)到达肝脏。因此,肝脏动脉通过信号增强来描绘(动脉期)。主要经由动脉供血的肿瘤(T)同样在肝细胞组织中作为较明亮的(信号增强的)区域而突出。在图4(c)中所描绘的时间点处,造影剂经由静脉到达肝脏。在图4(d)中,静脉血管(V)在肝脏组织中作为明亮的(信号增强的)区域(静脉期)而突出。同时,主要经由静脉供应的造影剂的健康肝脏细胞中的信号强度连续上升(图4(c)→图4(d)→图4(e)→图4(f))。在图4(f)所描绘的肝胆期中,通过信号增强来描绘肝细胞(P);血管和肿瘤不再具有造影剂且相应地被描绘成深色。

[0135] 图5示例性且示意性地示出了示出第一时间跨度中的肝脏的三个MRT图像(1)、(2)和(3)如何被馈送到预测模型(PM)。预测模型从三个MRT图像(1)、(2)和(3)计算示出第二时间跨度中的肝脏的MRT图像(4)。MRT图像(1)、(2)和(3)可以例如示出图4(b)、图4(c)和图4(d)中所示出的MRT图像,MRT图像(4)可以例如是图4(f)中所示出的MRT图像。

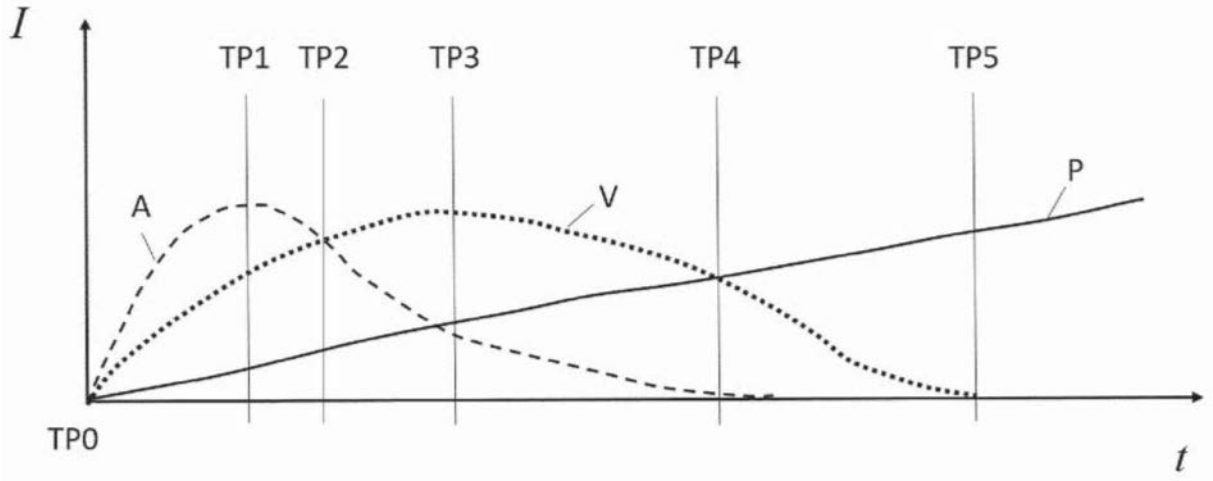


图1

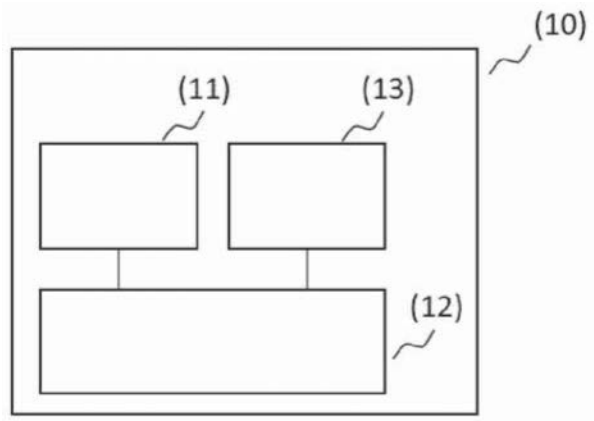


图2

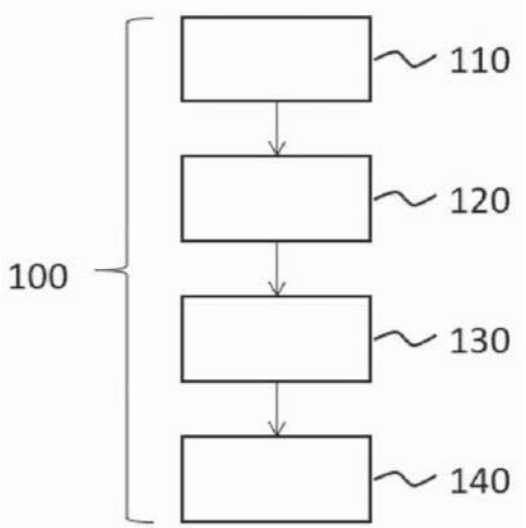


图3

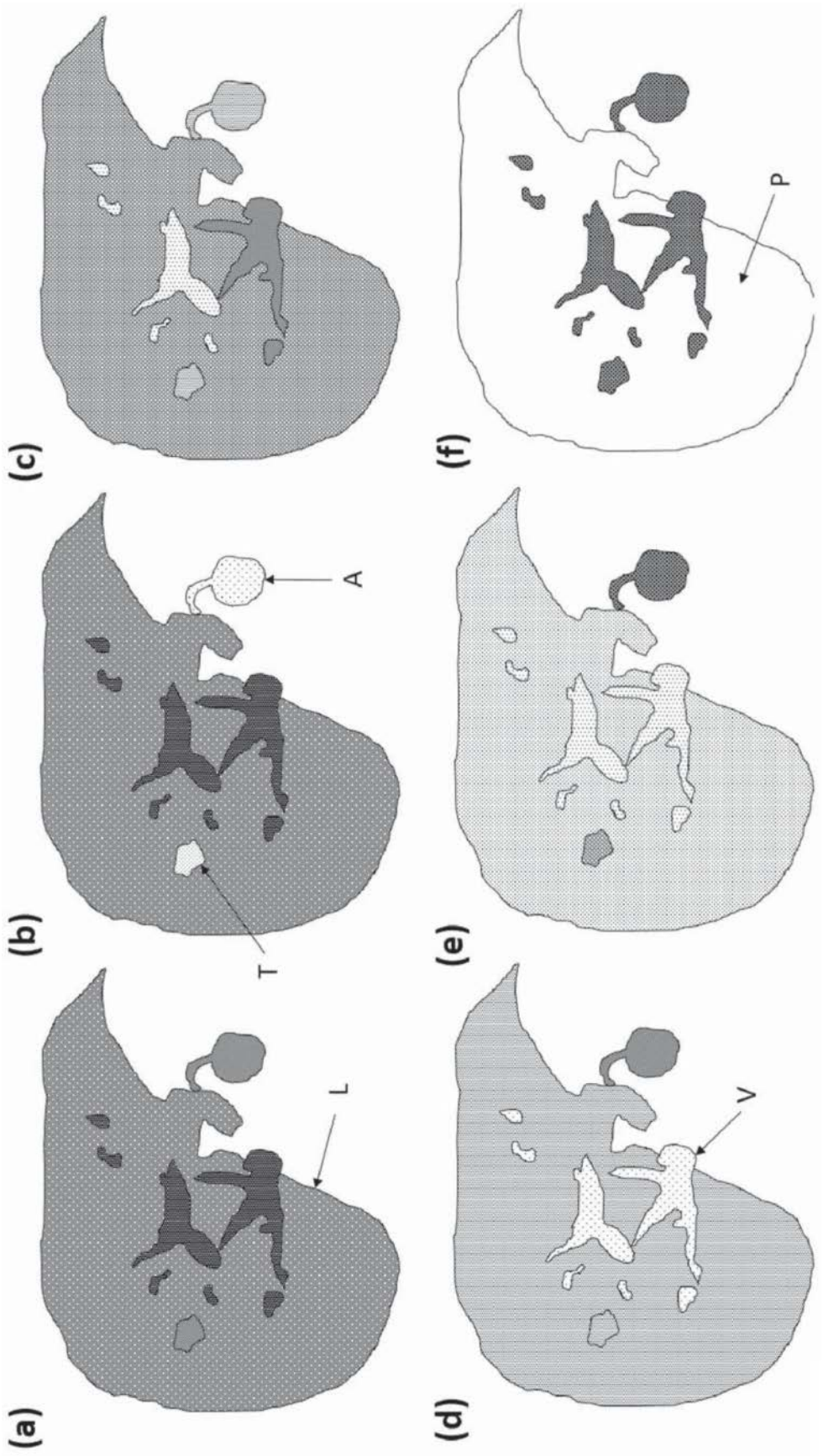


图4

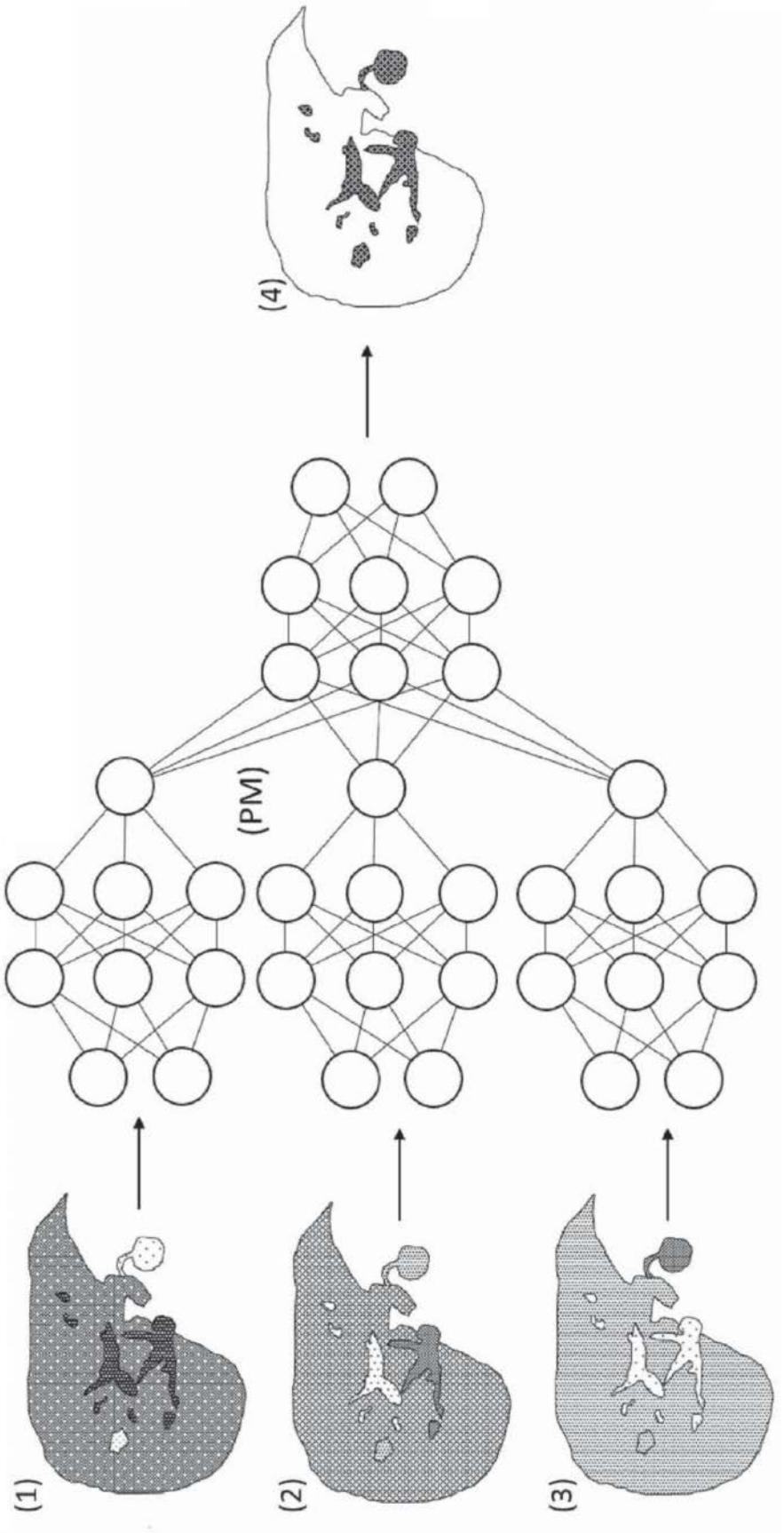


图5