



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 111529052 B

(45) 授权公告日 2021.05.07

(21) 申请号 202010302357.0

(22) 申请日 2020.04.16

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 111529052 A

(43) 申请公布日 2020.08.14

(73) 专利权人 上海睿刀医疗科技有限公司

地址 200135 上海市浦东新区中国(上海)

自由贸易试验区浦东大道2123号3层

(72) 发明人 王海峰 罗中宝

(74) 专利代理机构 北京知元同创知识产权代理

事务所(普通合伙) 11535

代理人 张祖萍 张田勇

(51) Int.Cl.

A61B 18/12 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 110430834 A, 2019.11.08

CN 110944590 A, 2020.03.31

CN 106715682 A, 2017.05.24

审查员 林国慈

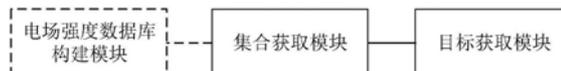
权利要求书2页 说明书14页 附图6页

(54) 发明名称

一种预测电脉冲消融区域的系统

(57) 摘要

本发明涉及一种预测电脉冲消融区域的系统,包括:集合获取模块,用于基于第一约束条件,从电场强度数据库中获取电场强度等值线集合;以及,目标获取模块,用于基于第二约束条件,从所述获取的电场强度等值线集合中获取目标电场强度等值线,所述获取的目标电场强度等值线内的区域作为预测电脉冲消融区域。本发明提出的预测电脉冲消融区域的系统能够适应不同患者的个体差异,并且能够在治疗前快速有效地预测电脉冲消融区域,有助于治疗过程中的合理有效布针,保证治疗计划的顺利实施,最大限度地确保治疗效果,以及减少正常组织消融与损伤。



1. 一种预测电脉冲消融区域的系统,其特征在于,包括:

数据库构建模块,用于构建电场强度数据库;

集合获取模块,用于基于第一约束条件,从所述电场强度数据库中获取电场强度等值线集合;其中,所述第一约束条件包括电场强度消融阈值;以及,

目标获取模块,用于基于第二约束条件,从所述获取的电场强度等值线集合中获取目标电场强度等值线,所述获取的目标电场强度等值线内的区域作为预测电脉冲消融区域。

2. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述电场强度消融阈值通过拟合函数或神经网络模型确定。

3. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述拟合函数的变量包括用来表示所述拟合函数的表达式的拟合变量,所述拟合变量出现在拟合函数的表达式中。

4. 根据权利要求3所述的系统,其特征在于,所述拟合函数的拟合变量包括电脉冲的电场强度、电脉冲中包括的脉冲串个数和消融区域的电导率比率。

5. 根据权利要求4所述的系统,其特征在于,所述拟合函数的表达式为:

$$E_{th} = a_1 * E + b_1 * N + c_1 * R + d_1 * E * N + e_1 * E * R + f_1 * N * R + g_1 * E * N * R + h_1,$$

其中, $E_{th}$ 表示电场强度消融阈值, $E$ 表示电脉冲的电场强度, $N$ 表示电脉冲中包括的脉冲串个数, $R$ 表示消融区域的电导率比率, $a_1 \sim h_1$ 表示消融区域预测参数;

或者,所述电脉冲的电场强度采用电脉冲的脉冲电压与电极针间距之比表示,所述拟合函数的表达式为:

$$E_{th} = a_2 * U + b_2 * N + c_2 * D + d_2 * R + e_2 * U * N + f_2 * U * D + g_2 * U * R + h_2 * N * D + i_2 * N * R + j_2 * D * R + k_2 * N * D * R + l_2 * U * N * D + m_2 * U * N * R + n_2 * U * D * R + o_2 * N * D * R * U + p_2,$$

其中, $E_{th}$ 表示电场强度消融阈值, $U$ 表示电脉冲的脉冲电压, $N$ 表示电脉冲中包括的脉冲串个数, $D$ 表示电极针间距, $R$ 表示消融区域的电导率比率, $a_2 \sim p_2$ 为消融区域预测参数。

6. 根据权利要求5所述的系统,其特征在于,所述消融区域预测参数基于历史数据采用拟合的方式确定。

7. 根据权利要求2所述的系统,其特征在于,所述拟合函数的变量包括用于选择对应的拟合函数的表达式的条件变量,条件变量不出现在拟合函数的表达式中。

8. 根据权利要求7所述的系统,其特征在于,所述拟合函数的条件变量包括子脉冲宽度和电极针裸露长度。

9. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述电场强度数据库的构建包括:

基于约束方程,以参数组合模型中的参数组合为单位获取电场强度分布参数组;

基于所述获取的电场强度分布参数组,构建所述电场强度数据库。

10. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,所述约束方程包括电场方程、电导率方程和边界条件方程。

11. 根据权利要求9所述的系统,其特征在于,构建所述参数组合模型的构建参数包含:消融区域的第一电导率比率、第一电脉冲的脉冲电压、第一电极针裸露长度和电极针间距。

12. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述电场强度等值线集合中的电场强度等值线采用卡西尼曲线或样条拟合曲线表示。

13. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,所述第二约束条件包括:第二电脉冲的脉冲电压、消融区域的第二电导率比率、第二电极针裸露长度和电极针坐标。

14. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,还包括:

坐标变换模块,用于响应于布针位置不在同一水平线上,对所述目标电场强度等值线进行坐标变换。

15. 根据权利要求1所述的系统,其特征在于,还包括:

区域叠加模块,用于响应于多次治疗,叠加针对每次治疗所获取的目标电场强度等值线内的区域,作为所述多次治疗的预测电脉冲消融区域。

16. 根据权利要求13所述的系统,其特征在于,所述消融区域的第二电导率比率通过释放预脉冲的方法获取,包括:对每对电极针施加预脉冲至电流稳定,基于一表征参数在所述每对电极针的稳定状态和在所述每对电极针的初始状态的数值比,获取所述消融区域的第二电导率比率;

或者,

所述消融区域的第二电导率比率通过释放预脉冲的方法获取,包括:对每对电极针施加两次预脉冲至电流稳定,基于一表征参数在所述每对电极针的两次稳定状态的数值比,获取所述消融区域的第二电导率比率。

17. 根据权利要求16所述的系统,其特征在于,所述表征参数包括电流或电阻。

18. 根据权利要求16所述的系统,其特征在于,所述获取所述消融区域的第二电导率比率包括通过查询列表的方式获取所述消融区域的第二电导率比率。

19. 根据权利要求18所述的系统,其特征在于,所述列表表征在不同的电极针裸露长度时的电极针间距、所述表征参数的数值比和消融区域的电导率比率的关系。

## 一种预测电脉冲消融区域的系统

### 技术领域

[0001] 本发明属于医疗器械技术领域,具体涉及一种预测电脉冲消融区域的系统。

### 背景技术

[0002] 癌症是危害人类健康的主要疾病。传统的癌症治疗方法和新近发展起来的以微创消融为特征的热消融疗法,由于受适应症、禁忌症、治疗副作用、热效应等因素的限制,使得其临床应用受到一定的局限性。近年来,随着脉冲生物电学的不断发展,电场脉冲以其非热、微创的生物医学效用受到广泛关注,并逐渐应用于肿瘤的临床治疗。电穿孔是一种利用电脉冲来克服细胞膜这一屏障的过程,即在电场作用下,细胞壁组成和结构发生一定的变化,细胞膜脂双层上形成瞬时孔洞,细胞膜的通透性和膜电导瞬时增大,在正常情况下不能通过细胞膜的病毒颗粒、DNA、蛋白质以及染料颗粒等得以进出细胞的一个生物物理过程。电场造成细胞的穿孔有两种形式:可逆电穿孔和不可逆电穿孔。如果脉冲条件不超过某一临界限度,细胞膜的通透性是可逆的,属于可逆电穿孔;如果脉冲条件超过某一临界限度,细胞会遭到不可逆的损伤甚至死亡,属于不可逆电穿孔。在不可逆电穿孔技术应用于肿瘤的临床治疗方法中,利用电脉冲消融生物组织,是通过对靶区细胞发送电场脉冲,使细胞内外的离子运动并聚集在外膜两侧,引起跨膜电位的急剧变化,细胞发生不可逆电穿孔,打破细胞内外平衡,最终引起细胞死亡。

[0003] 为了保证治疗方法的顺利实施,最大限度地确保治疗效果以及减少对正常组织的消融与损伤,在治疗前对电脉冲消融生物组织区域进行预测是必要的。由于生物组织电学特性的差异,使得对于不同的组织,需要电脉冲消融的肿瘤区域各不相同,可见,在治疗前对电脉冲消融区域进行预测也一直是该治疗方法实施前的难点。目前电脉冲消融区域的预测主要是依靠研究人员的经验,一方面通过动物实验、切片对比等方法来预测消融区域的大小,另一方面通过对术后的核磁影响等方法来判断消融的效果。由于每位患者病情各不相同,病灶各异,治疗方法也各不相同,单纯依靠经验来预测消融区域,而缺乏适用于不同患者的通用预测手段,因此难以在治疗前针对患者的个体情况制定出合理有效的治疗计划。

### 发明内容

[0004] 为了解决上述缺乏适用于不同患者的通用预测手段的技术问题,本发明实施例提出了一种预测电脉冲消融区域的系统,能够适用于不同的患者,在治疗前快速有效地预测电脉冲消融区域,对于治疗过程中的布针,保证治疗计划的顺利实施,最大限度地确保治疗效果,以及减少正常组织消融与损伤至关重要。

[0005] 本发明提出的预测电脉冲消融区域的系统,包括:

[0006] 集合获取模块,用于基于第一约束条件,从电场强度数据库中获取电场强度等值线集合;以及,

[0007] 目标获取模块,用于基于第二约束条件,从所述获取的电场强度等值线集合中获

取目标电场强度等值线,所述获取的目标电场强度等值线内的区域作为预测电脉冲消融区域。

[0008] 在某些实施例中,所述第一约束条件包括电场强度消融阈值。

[0009] 在某些实施例中,所述电场强度消融阈值通过拟合函数或神经网络模型确定。

[0010] 在某些实施例中,所述拟合函数的变量包括用来表示所述拟合函数的表达式的拟合变量,所述拟合变量出现在拟合函数的表达式中。

[0011] 在某些实施例中,所述拟合函数的拟合变量包括电脉冲的电场强度、电脉冲中包括的脉冲串个数和消融区域的电导率比率。

[0012] 在某些实施例中,所述拟合函数的表达式为:

$$E_{th} = a_1 * E + b_1 * N + c_1 * R + d_1 * E * N + e_1 * E * R + f_1 * N * R + g_1 * E * N * R + h_1,$$

[0014] 其中, $E_{th}$ 表示电场强度消融阈值, $E$ 表示电脉冲的电场强度, $N$ 表示电脉冲中包括的脉冲串个数, $R$ 表示消融区域的电导率比率, $a_1 \sim h_1$ 表示消融区域预测参数。

[0015] 在某些实施例中,所述电脉冲的电场强度采用电脉冲的脉冲电压与电极针间距之比表示,所述拟合函数的表达式为:

$$E_{th} = a_2 * U + b_2 * N + c_2 * D + d_2 * R + e_2 * U * N + f_2 * U * D + g_2 * U * R + h_2 * N * D + i_2 * N * R + j_2 * L * R + k_2 * N * D * R + l_2 * U * N * D + m_2 * U * N * R + n_2 * U * D * R + o_2 * N * D * R + p_2,$$

[0017] 其中, $E_{th}$ 表示电场强度消融阈值, $U$ 表示电脉冲的脉冲电压, $N$ 表示电脉冲中包括的脉冲串个数, $D$ 表示电极针间距, $R$ 表示消融区域的电导率比率, $a_2 \sim p_2$ 为消融区域预测参数。

[0018] 在某些实施例中,所述消融区域预测参数基于历史数据采用拟合的方式确定。

[0019] 在某些实施例中,所述拟合函数的变量包括用于选择对应的拟合函数的表达式的条件变量,条件变量不出现在拟合函数的表达式中。

[0020] 在某些实施例中,所述拟合函数的条件变量包括子脉冲宽度和电极针裸露长度。

[0021] 在某些实施例中,所述电场强度数据库的构建包括:

[0022] 基于约束方程,以参数组合模型中的参数组合为单位获取电场强度分布参数组;

[0023] 基于所述获取的电场强度分布参数组,构建所述电场强度数据库。

[0024] 在某些实施例中,所述约束方程包括电场方程、电导率方程和边界条件方程。

[0025] 在某些实施例中,构建所述参数组合模型的构建参数包含:消融区域的第一电导率比率、第一电脉冲的脉冲电压、第一电极针裸露长度和电极针间距。

[0026] 在某些实施例中,所述电场强度等值线集合中的电场强度等值线采用卡西尼曲线或样条拟合曲线表示。

[0027] 在某些实施例中,所述第二约束条件包括:第二电脉冲的脉冲电压、消融区域的第二电导率比率、第二电极针裸露长度和电极针坐标。

[0028] 在某些实施例中,还包括:

[0029] 坐标变换模块,用于响应于布针位置不在同一水平线上,对所述目标电场强度等值线进行坐标变换。

[0030] 在某些实施例中,还包括:

[0031] 区域叠加模块,用于响应于多次治疗,叠加针对每次治疗所获取的目标电场强度等值线内的区域,作为所述多次治疗的预测电脉冲消融区域。

[0032] 在某些实施例中,所述消融区域的第二电导率比率通过释放预脉冲的方法获取,

包括:对每对电极针施加预脉冲至电流稳定,基于一表征参数在所述每对电极针的稳定状态和在所述每对电极针的初始状态的数值比,获取所述消融区域的第二电导率比率;

[0033] 或者,

[0034] 所述消融区域的第二电导率比率通过释放预脉冲的方法获取,包括:对每对电极针施加两次预脉冲至电流稳定,基于一表征参数在所述每对电极针的两次稳定状态的数值比,获取所述消融区域的第二电导率比率。

[0035] 在某些实施例中,所述表征参数包括电流或电阻。

[0036] 在某些实施例中,所述获取所述消融区域的第二电导率比率包括通过查询列表的方式获取所述消融区域的第二电导率比率。

[0037] 在某些实施例中,所述列表表征在不同的电极针裸露长度时的电极针间距、所述表征参数的数值比和消融区域的电导率比率的关系。

[0038] 本发明的有益效果:本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统,可以在治疗前,通过所述第一约束条件和所述第二约束条件对所述电场强度数据库进行阶段性约束,从而可以获得特定的目标电场强度等值线,以适应不同患者的个体差异,并且能够在治疗前快速有效地预测电脉冲消融区域,有助于治疗过程中的合理有效布针,保证治疗计划的顺利实施,最大限度地确保治疗效果,以及减少正常组织消融与损伤。

## 附图说明

[0039] 图1示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统的功能框图;

[0040] 图2示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统确定生物组织的电场强度消融阈值采用的神经网络模型的示意图;

[0041] 图3示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统中电场强度等值线的示意图;

[0042] 图4a和图4b示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统中匹配电场强度等值线的卡西尼曲线的示意图;

[0043] 图5a和图5b示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统中电场强度等值线的连通情形的示意图;

[0044] 图6a示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统中样条拟合曲线在第一象限的示意图;

[0045] 图6b示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统中样条拟合曲线的示意图;

[0046] 图7示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统中施加同一预设电场强度时的初始电流和稳定电流示意图;

[0047] 图8示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统中施加不同预设电场强度时的稳定电流示意图;

[0048] 图9示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统中坐标变换的示意图;

[0049] 图10示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统中多次治疗的预测电脉冲消融区域叠加的示意图;

[0050] 图11示出本发明实施例提出的预测电脉冲消融区域的系统的一具体应用场景的

结构示意图。

### 具体实施方式

[0051] 为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚明白，以下结合具体实施例，并参照附图，对本发明进一步详细说明。但本领域技术人员知晓，本发明并不局限于附图和以下实施例。

[0052] 如前所述，目前单纯依靠研究人员的经验来预测消融区域，因此在治疗前针对患者的个体情况制定出合理有效的治疗计划存在较大难度，并且对于治疗计划可能获得的治疗效果也无法科学预见。基于此，本发明实施例提出了一种预测电脉冲消融区域的系统，通过在治疗前，对电场强度数据库进行阶段性约束，从而可以从电场强度数据库中获取到不同约束条件下的预测电脉冲消融区域，为合理有效制定治疗计划提供一定的依据，并且有助于在治疗前科学地预见的治疗计划可能获得的治疗效果。

[0053] 参考图1所示，本发明实施例提出的一种预测电脉冲消融区域的系统，包括：

[0054] 集合获取模块，用于基于第一约束条件，从电场强度数据库中获取电场强度等值线集合；以及，

[0055] 目标获取模块，用于基于第二约束条件，从所述获取的电场强度等值线集合中获取目标电场强度等值线，所述获取的目标电场强度等值线内的区域作为预测电脉冲消融区域。

[0056] 在本实施例中，通过所述第一约束条件和所述第二约束条件对所述电场强度数据库进行阶段性约束，从而可以获得特定的目标电场强度等值线，以适应不同患者的个体差异，并且能够在治疗前快速有效地预测电脉冲消融区域，有助于治疗过程中的合理有效布针，保证治疗计划的顺利实施，最大限度地确保治疗效果，以及减少正常组织消融与损伤。

[0057] 在一实施例中，所述系统还包括绘制模块和显示模块，绘制模块用于绘制所述预测电脉冲消融区域，显示模块用于显示所述预测电脉冲消融区域。

[0058] 下面对本发明实施例提出的方案进行具体说明，其中的示例仅是为了更清楚地说明本发明实施例，不应理解为对本发明实施例的限制。

[0059] 关于第一约束条件

[0060] 所述第一约束条件包含的条件可以是单一条件，也可以是多个条件的组合。通过合理设置第一约束条件，可以从电场强度数据库中快速筛选出电场强度等值线，获得电场强度等值线集合。所述包含的条件可以为具体的数值，也可以为数值范围等。在某些应用场景中，所述第一约束条件与治疗计划相关。

[0061] 在一实施例中，所述第一约束条件包括电场强度消融阈值，电场强度消融阈值可以用 $E_{th}$ 表示。电场强度消融阈值表示施加到生物组织使生物组织细胞死亡的电场强度的阈值。每位患者都是一个个体，每个个体都存在差异，生物组织的电场强度消融阈值不尽相同，相应的治疗方案也不尽相同。

[0062] 关于生物组织的电场强度消融阈值

[0063] 电场强度消融阈值表示施加到生物组织使生物组织细胞死亡的电场强度的阈值。在一实施例中，生物组织的电场强度消融阈值可以由多个变量共同决定，因此可以采用基于多个变量建立的拟合函数关系来确定生物组织的电场强度消融阈值。所述多个变量包括

来表示所述拟合函数的表达式的拟合变量,拟合变量出现在拟合函数的表达式中。在一实施例中,拟合变量可以包括电脉冲的电场强度、电脉冲中包括的脉冲串个数和消融区域的电导率比率。电导率比率 $R$ 等于完全电穿孔的电导率 $\sigma_{\max}$ 与初始电导率 $\sigma_0$ 的比值, $\sigma_0$ 一般等于1。由于电脉冲的电场强度、电脉冲中包括的脉冲串个数和消融区域的电导率比率能够有效反映不同患者的个体差异,因此,基于电脉冲的电场强度、电脉冲中包括的脉冲串个数和消融区域的电导率比率建立的拟合函数确定的生物组织的电场强度消融阈值,能够简单且直接地建立生物组织的电场强度消融阈值与不同患者的关联性,提高电脉冲消融区域预测的合理性和有效性。电脉冲的电场强度可以用 $E$ 表示,电脉冲中包括的脉冲串个数可以用 $N$ 表示,消融区域的电导率比率可以用 $R$ 表示。电脉冲的电场强度可以由电脉冲的脉冲电压与电极针间距之比获取,其中电脉冲的脉冲电压用 $U$ 表示,电极针间距用 $D$ 表示,即 $E=U/D$ 。在一优选实施例中,所述拟合函数的表达式为: $E_{th}(E, N, R) = a_1 * E + b_1 * N + c_1 * R + d_1 * E * N + e_1 * E * R + f_1 * N * R + g_1 * E * N * R + h_1$ ,其中, $E_{th}$ 表示电场强度消融阈值, $E$ 表示电脉冲的电场强度, $N$ 表示电脉冲中包括的脉冲串个数, $R$ 表示消融区域的电导率比率, $a_1 \sim h_1$ 表示消融区域预测参数。在另一优选实施例中,所述拟合函数的表达式为: $E_{th}(U, D, N, R) = a_2 * U + b_2 * N + c_2 * D + d_2 * R + e_2 * U * N + f_2 * U * D + g_2 * U * R + h_2 * N * D + i_2 * N * R + j_2 * L * R + k_2 * N * D * R + l_2 * U * N * D + m_2 * U * N * R + n_2 * U * D * R + o_2 * N * D * R + p_2$ ,其中, $E_{th}$ 表示电场强度消融阈值, $U$ 表示电脉冲的脉冲电压(即电极针间的电压), $N$ 表示电脉冲中包括的脉冲串个数, $D$ 表示电极针间距, $R$ 表示消融区域的电导率比率, $a_2 \sim p_2$ 为消融区域预测参数。所述消融区域预测参数可以更新,在某些应用场景中,所述消融区域预测参数可以实时更新。

[0064] 所述消融区域预测参数可以基于历史数据采用拟合的方式确定。历史数据反映出不同数值的电脉冲的电场强度 $E$ 、电脉冲中包括的脉冲串个数 $N$ 和消融区域的电导率比率 $R$ 对应的电场强度消融阈值 $E_{th}$ 的数值,或者反映出不同数值的电脉冲的脉冲电压 $U$ 、电极针间距 $D$ 、电脉冲中包括的脉冲串个数 $N$ 和消融区域的电导率比率 $R$ 对应的电场强度消融阈值 $E_{th}$ 的数值。在一实施例中,历史数据来自于实际治疗记录数据形成的治疗记录数据库,通过大量的实际治疗记录数据对拟合函数进行拟合,确定消融区域预测参数,这种确定消融区域预测参数的方法可以有效提高消融区域预测参数的合理性、有效性和准确性,为准确确定生物组织的电场强度消融阈值提供可能,从而提高电脉冲消融区域预测的准确性。

[0065] 为了更加准确地建立生物组织的电场强度消融阈值与不同患者的关联性,所述多个变量还可以包括条件变量,条件变量用于选择对应的拟合函数的表达式,不出现在拟合函数的表达式中,在采用拟合函数确定生物组织的电场强度消融阈值时,基于条件变量选择对应的拟合函数的表达式,基于选择的对应的拟合函数的表达式和拟合变量来确定生物组织的电场强度消融阈值。在一实施例中,条件变量包括因电极针确定而具有确定离散值的变量,条件变量不出现在拟合函数的表达式中,可以有效降低拟合函数的表达式的复杂度,减少计算量。在一可选实施例中,所述条件变量可以包括子脉冲宽度和电极针裸露长度,子脉冲宽度可以用 $W$ 表示,电极针裸露长度可以用 $L$ 表示。其中子脉冲宽度与脉冲串内脉冲个数的乘积为固定值,脉冲串内脉冲个数可以用 $n$ 表示,固定值可以按照行业要求或行业规范设定,例如为100,此时 $W * n = 100$ 。子脉冲宽度 $W$ 和电极针裸露长度 $L$ 均为离散值,并且其数值随电极针确定而确定,因此可以响应于不同的子脉冲宽度 $W$ 和电极针裸露长度 $L$ ,建立确定生物组织的电场强度消融阈值的拟合函数的表达式,而子脉冲宽度 $W$ 和电极针裸露长

度 $L$ 不出现在拟合函数的表达式中,即子脉冲宽度 $W$ 和电极针裸露长度 $L$ 作为条件变量,电脉冲的电场强度 $E$ 、电脉冲中包括的脉冲串个数 $N$ 和消融区域的电导率比率 $R$ 作为拟合变量,基于条件变量选择对应的拟合函数的表达式,基于拟合变量和选择的对应的拟合函数的表达式确定电场强度消融阈值,以提高拟合函数的准确性。可以理解,对于不同的条件变量,拟合函数的表达式中的消融区域预测参数一般来说不同。在一实施例中,历史数据反映出不同数值的子脉冲宽度 $W$ 、电极针裸露长度 $L$ 、电脉冲的脉冲电压 $E$ 、脉冲串个数 $N$ 和消融区域的电导率比率 $R$ 对应的电场强度消融阈值 $E_{th}$ 的数值,或者反映出不同数值的子脉冲宽度 $W$ 、电极针裸露长度 $L$ 、电脉冲的脉冲电压 $U$ 、电极针间距 $D$ 、电脉冲中包括的脉冲串个数 $N$ 和消融区域的电导率比率 $R$ 对应的电场强度消融阈值 $E_{th}$ 的数值。可以基于历史数据采用拟合的方式确定拟合函数的表达式中的消融区域预测参数。

[0066] 例如对于特定的脉冲发生器,假设子脉冲宽度 $W$ 可以为 $2\mu s$ 、 $5\mu s$ 、 $10\mu s$ 、 $20\mu s$ 、 $50\mu s$ 或 $100\mu s$ ,电极针裸露长度 $L$ 可以为 $1.0\text{cm}$ 、 $1.5\text{cm}$ 、 $2.0\text{cm}$ 、 $2.5\text{cm}$ 、 $3.0\text{cm}$ 、 $3.5\text{cm}$ 、 $4.0\text{cm}$ ,子脉冲宽度 $W$ 与脉冲串内脉冲个数 $n$ 的乘积为 $100$ 。在基于多个变量建立拟合函数时,如果子脉冲宽度 $W$ 为 $2\mu s$ 和电极针裸露长度 $L$ 为 $1.0\text{cm}$ ,基于对应于子脉冲宽度 $W$ 为 $2\mu s$ 和电极针裸露长度 $L$ 为 $1.0\text{cm}$ 的实际治疗记录数据,确定拟合函数的消融区域预测参数;如果子脉冲宽度 $W$ 为 $2\mu s$ 和电极针裸露长度 $L$ 为 $1.5\text{cm}$ ,基于对应于子脉冲宽度 $W$ 为 $2\mu s$ 和电极针裸露长度 $L$ 为 $1.5\text{cm}$ 的实际治疗记录数据,确定拟合函数的消融区域预测参数;如果子脉冲宽度 $W$ 为 $2\mu s$ 和电极针裸露长度 $L$ 为 $2.0\text{cm}$ ,基于对应于子脉冲宽度 $W$ 为 $2\mu s$ 和电极针裸露长度 $L$ 为 $2.0\text{cm}$ 的实际治疗记录数据,确定拟合函数的消融区域预测参数;……;如果子脉冲宽度 $W$ 为 $50\mu s$ 和电极针裸露长度 $L$ 为 $1.0\text{cm}$ ,基于对应于子脉冲宽度 $W$ 为 $50\mu s$ 和电极针裸露长度 $L$ 为 $1.0\text{cm}$ 的实际治疗记录数据,确定拟合函数的消融区域预测参数;……。以此类推,确定出不同的子脉冲宽度 $W$ 和电极针裸露长度 $L$ 对应的拟合函数的表达式的消融区域预测参数。在采用拟合函数确定生物组织的电场强度消融阈值时,首先选择子脉冲宽度 $W$ 和电极针裸露长度 $L$ ,基于所述选择的子脉冲宽度 $W$ 和电极针裸露长度 $L$ ,选择对应的拟合函数的表达式,基于所述选择的拟合函数的表达式和拟合变量计算生物组织的电场强度消融阈值。可以理解,基于不同的拟合函数的表达式计算出的电场强度消融阈值的数值可以出现相同的情形。

[0067] 所述历史数据可以用治疗记录表的列表形式进行记录,例如可以参考下表1所示。

[0068]

子脉冲宽度 $W$	电极针裸露长度 $L$	电脉冲的脉冲电压 $U$	电脉冲中包括的脉冲串个数 $N$	电极针间距 $D$	消融区域的电导率比率 $R$	电场强度消融阈值 $E_{th}$

[0069] 表1治疗记录表(示例)

[0070] 在另一实施例中,还可以采用神经网络模型来确定生物组织的电场强度消融阈值。采用神经网络模型来确定生物组织的电场强度消融阈值一般适用于历史数据或样本数据较多的情况。神经网络模型的输入节点可以包括决定生物组织的电场强度消融阈值的所有变量或者部分变量,可以理解的是,一般来说,神经网络模型的输入节点越多,神经网络模型输出的预测结果越准确。示例性地,可参考图2所示,所述神经网络模型可以包括三层神经网络,第一层神经网络为输入层,输入层的输入节点包括决定生物组织的电场强度消

融阈值的变量,所述输入节点可以包括但不限于子脉冲宽度 $W$ 、电极针裸露长度 $L$ 、电脉冲的脉冲电压 $U$ 、电极针间距 $D$ 、电脉冲中包括的脉冲串个数 $N$ 和消融区域的电导率比率 $R$ 中的多个变量;第二层神经网络为中间层,中间层也可以称为隐藏层,中间层可以设定为包括三个中间节点,或者根据计算和处理能力等设定为包括四个或其他数量的中间节点;第三层神经网络为输出层,输出层包括一个输出节点,输出节点表示神经网络模型预测的电场强度消融阈值。在一可选实施例中,可以基于历史数据训练神经网络模型。在一实施例中,历史数据反映出不同数值的子脉冲宽度 $W$ 、电极针裸露长度 $L$ 、电脉冲的脉冲电压 $E$ 、脉冲串个数 $N$ 和消融区域的电导率比率 $R$ 对应的电场强度消融阈值 $E_{th}$ 的数值,或者反映出不同数值的子脉冲宽度 $W$ 、电极针裸露长度 $L$ 、电脉冲的脉冲电压 $U$ 、电极针间距 $D$ 、电脉冲中包括的脉冲串个数 $N$ 和消融区域的电导率比率 $R$ 对应的电场强度消融阈值 $E_{th}$ 的数值。例如以若干组临床消融数据作为训练神经网络模型的原始数据,每一组临床消融数据可以包括:治疗的电脉冲的电场强度(可以通过两电极针间电位差与两电极针间距的比值来获取,即电脉冲的电场强度 $E = \text{电脉冲的脉冲电压} U / \text{电极针间距} D$ )、电极针间距 $D$ 、电极针裸露长度 $L$ 、电导率比率 $R$ (电导率比率 $R = \text{完全电穿孔的电导率} \sigma_{max} / \text{初始电导率} \sigma_0, \sigma_0$ 一般等于1)和电场强度消融阈值 $E_{th}$ 。关于神经网络模型的训练方法可以参考现有技术,在此不再赘述。

[0071] 在采用拟合函数或神经网络模型确定生物组织的电场强度消融阈值时,基于治疗计划中的相应变量的数值确定生物组织的电场强度消融阈值;基于所述确定的生物组织的电场强度消融阈值,从电场强度数据库中获取电场强度等值线集合。

#### [0072] 关于电场强度数据库

[0073] 所述电场强度数据库存放电场强度。所述系统还可以包括电场强度数据库构建模块,用于构建所述电场强度数据库。所述电场强度数据库可以更新。在一实施例中,所述电场强度数据库的构建包括:基于约束方程,以参数组合模型中的参数组合为单位获取电场强度分布参数组;基于所述获取的电场强度分布参数组,构建所述电场强度数据库。参数组合模型表示由多个构建参数的预设值组合而成的参数组合所构成的模型,即参数组合是从每个构建参数中各选取一个预设值组合而成,参数组合模型是由所有参数组合构建而成的模型。不同参数组合中的各构建参数预设值不完全相同,参数组合的数量由构建参数的个数以及各个构建参数的预设值个数决定。举例来说,假设构建参数的个数为三个,三个构建参数的预设值个数分别为2、3和4,那么参数组合的数量不超过24个。针对每一个参数组合,结合约束方程进行数值计算,得到对应该参数组合的场强分布参数组,场强分布参数组中的每个场强分布参数代表一个场强等值线。参数组合模型中的所有参数组合对应的场强分布参数组一起构成电场强度数据库。

[0074] 在一可选实施例中,构建所述参数组合模型的构建参数包含:消融区域的第一电导率比率、第一电脉冲的脉冲电压、第一电极针裸露长度和电极针间距。所述构建所述参数组合模型的构建参数可以是预设值。例如对于特定的脉冲发生器,电极针间距的预设值可以包括0.5cm、1.0cm、1.5cm、2.0cm、2.5cm、3.0cm、3.5cm、4.0cm,第一电极针裸露长度的预设值可以包括1.0cm、1.5cm、2.0cm、2.5cm、3.0cm、3.5cm、4.0cm,第一电脉冲的脉冲电压的预设值可以包括500V、1000V、1500V、2000V、2500V、3000V,消融区域的第一电导率比率的预设值可以包括1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0,在此示例中,参数组合的数量不超过2352个。

## [0075] 关于约束方程

[0076] 约束方程可以用来获取每个参数组合模型对应的场强分布参数组。

[0077] 在一优选实施例中,所述约束方程包括电场方程、电导率方程和边界条件方程。所述边界条件方程为: $\vec{n} \cdot \vec{j} = 0$   $u_1 = U$   $u_2 = 0$ ,其中, $\vec{n}$ 表示参数组合模型的边界上的每个点的法向量,参数组合模型的边界表面为一个曲面,边界表面上的每一个点的法向量都不同,但都与该点所在的平面垂直, $J$ 表示电流密度, $\vec{j}$ 表示电流密度矢量, $u_1$ 和 $u_2$ 分别表示两个电极针上的电位, $U$ 表示电脉冲的脉冲电压,边界条件方程用来表示电流不会流出参数组合模型的边界表面。电场方程为: $\vec{j} = \sigma \vec{E}$ ,  $\nabla \cdot \vec{j} = 0$ ,  $\vec{E} = -\nabla u$ ,其中, $J$ 表示电流密度, $\vec{j}$ 表示电流密度矢量, $\sigma$ 表示电导率, $E$ 表示电脉冲的电场强度, $\vec{E}$ 表示电脉冲的电场强度矢量, $\nabla \cdot \vec{j}$ 表示电流密度矢量的散度, $u$ 表示电脉冲的电位, $\nabla u$ 表示 $u$ 的梯度。电导率方程为: $\sigma(E) = \sigma_0 + (\sigma_{\max} - \sigma_0) * \exp[-A * \exp(-B * E)]$ ,其中, $\sigma_0$ 为不发生电击穿的组织电导率(也可以称为初始电导率), $\sigma_{\max}$ 为生物组织细胞发生完全透化的组织电导率(也可以称为完全电击穿、透化电导率), $A$ 和 $B$ 为决定组织电导率曲线的位置和增长率的系数。

## [0078] 关于电场强度等值线

[0079] 在利用电脉冲消融肿瘤细胞的治疗中,对生物组织施加的电脉冲的脉冲电压 $U$ 、电极针间距 $D$ 、电场强度消融阈值 $E_{th}$ 是判断电脉冲消融区域的大小和范围的关键因素。由于生物组织的电导率 $\sigma$ 是电脉冲的电场强度 $E$ 的函数 $\sigma(E)$ ,目前应用较多的电导率方程为:

$$[0080] \quad \sigma(E) = \sigma_0 + (\sigma_{\max} - \sigma_0) * \exp[-A * \exp(-B * E)]$$

[0081] 其中, $\sigma_0$ 为不发生电击穿的组织电导率(也可以称为初始电导率), $\sigma_{\max}$ 为生物组织细胞发生完全透化的组织电导率(也可以称为完全电击穿、透化电导率), $A$ 和 $B$ 为决定组织电导率曲线的位置和增长率的系数。

[0082] 由于 $\sigma(E)$ 不是常量,因此无法获得电场强度的解析解,需要通过数值计算需求的数值解,图3示出了数值计算得出的生物组织内电极针垂直方向上的中间截面(即 $z=0$ )上的场强等值线,其中一条(可参考图4a的情形)或两条(可参考图4b的情形)封闭线代表一条电场强度等值线,不同的封闭线代表电场强度不同。场强等值线的形状呈多种形态,可参考图3所示,因此需要对场强等值线进行重建。在一实施例中,所述电场强度等值线集合中的电场强度等值线采用卡西尼曲线或样条拟合曲线表示。

## [0083] 关于卡西尼(Cassini)曲线匹配

[0084] 假定卡西尼曲线关于 $x$ 轴和 $y$ 轴对称,中心位于原点,且两焦点位于 $x$ 轴上,分别为 $(-a, 0)$ 和 $(a, 0)$ ,则卡西尼曲线的方程为:

$$[0085] \quad [(x-a)^2 + y^2] * [(x+a)^2 + y^2] = b^4$$

[0086] 其中, $(x, y)$ 为卡西尼曲线上点的坐标,卡西尼曲线形状取决于形状参数 $a$ 、 $b$ ,卡西尼曲线的两焦点对应两电极针的位置。

[0087] 卡西尼曲线与 $x$ 轴和 $y$ 轴的交点有两种情形:

[0088] i) 交点为 $(M, 0)$ 、 $(0, N)$ ,即卡西尼曲线与 $x$ 轴和 $y$ 轴均有两个交点,可参考图4a所示;

[0089] ii) 交点为 $(M, 0)$ 、 $(N, 0)$ ,即卡西尼曲线与 $x$ 轴有四个交点,与 $y$ 轴无交点,可参考图4b所示。

[0090] 形状参数a、b的获取方式如下：

[0091] 对于第i)种情形： $a = \sqrt{(M^2 - N^2)/2}$   $b = \sqrt{(M^2 + N^2)/2}$ ；

[0092] 对于第ii)种情形： $a = \sqrt{(M^2 + N^2)/2}$   $b = \sqrt{(M^2 - N^2)/2}$ 。

[0093] 在不引起歧义的情况下，所述场强分布参数可以用(M,N)来表示。

[0094] 关于样条拟合曲线

[0095] 电场强度等值线关于x轴和y轴对称，因此只需画出第一象限的曲线就可得到整个电场强度等值线。首先，以一定间距的x和y离散值提取出电场强度分布，可以根据具体模型合理分配间距，由提取的x和y离散值即可复现对应截面上的电场强度分布，这里的间距表示的是相邻点之间的距离，在实际操作时可以以规律间距的x和y离散值提取出电场强度分布。合理分配间距的所述模型表示的是数值计算的几何模型。计算方法包括：

[0096] 判断电场强度等值线的连通情形，包括：检测 $y = 0$ 的射线上的所求电场强度在第一象限的点的数量，基于点的数量判断电场强度等值线的连通情形，若点的数量为1，如图5a所示，则属于前述第i)种情形；若点的数量为2，如图5b所示，则属于前述第ii)种情形；

[0097] 获取电场强度等值线的取值范围，包括：由线性插值，基于所述连通情形，计算所求电场强度等值线在第一象限与x轴的交点(即 $y = 0$ 的点)，则将x的取值范围表示为 $x \in [M, N]$ ，其中，M和N表示所求电场强度等值线在第一象限与x轴的交点的x坐标，如果交点为1个，即点(N, 0)，则 $M = 0, N \neq 0$ ，可参考图5a所示；如果交点为两个，即点(M, 0)和点(N, 0)，则 $M \neq 0, N \neq 0$ ，可参考图5b所示；

[0098] 求取电场强度等值线上的点，包括：在取值范围 $x \in [M, N]$ 内，以步长间隔求取所求电场强度等值线在第一象限对应的y坐标，则可获得一组电场强度等值线上的点集 $(x_i, y_i)$ ，i代表点集中点的序列号，例如 $i = 1, 2, 3, \dots$ ，可参考图6a所示；步长间隔的大小可以视情况选择，例如步长间隔可以为0.1mm；

[0099] 获取样条拟合曲线，包括：根据获得的一组电场强度等值线上的点集 $(x_i, y_i)$ 进行样条拟合，得出第一象限的电场强度等值线，并对第一象限的电场强度等值线进行关于x轴和y轴的对称操作，形成封闭的曲线，从而获得样条拟合曲线，可参考图6b所示。

[0100] 在不引起歧义的情况下，所述场强分布参数可以用(M,N)来表示。

[0101] 关于第二约束条件

[0102] 所述第二约束条件包含的条件可以是单一条件，也可以是多个条件的组合。所述包含的条件可以为具体的数值，也可以为数值范围等。在某些应用场景中，所述第二约束条件与治疗计划相关。

[0103] 在一实施例中，所述第二约束条件包括：第二脉冲电压、消融区域的第二电导率比率、第二电极针裸露长度和电极针坐标。

[0104] 根据第二脉冲电压、消融区域的第二电导率比率、第二电极针裸露长度和电极针坐标，从所述获取的电场强度等值线集合中获取目标电场强度等值线，所述获取的目标电场强度等值线内的区域作为预测电脉冲消融区域。

[0105] 关于消融区域的第二电导率比率

[0106] 第二电导率比率R等于完全电穿孔的电导率 $\sigma_{\max}$ 与初始电导率 $\sigma_0$ 的比值， $\sigma_0$ 一般等于1。

[0107] 在一实施例中，第二电导率比率R可以通过释放预脉冲的方法获取，包括：对每对

电极针施加预脉冲至电流稳定,基于一表征参数在所述每对电极针的稳定状态和在所述每对电极针的初始状态的数值比,获取所述消融区域的第二电导率比率;

[0108] 或者,

[0109] 所述消融区域的第二电导率比率通过释放预脉冲的方法获取,包括:对每对电极针施加两次预脉冲至电流稳定,基于一表征参数在所述每对电极针的两次稳定状态的数值比,获取所述消融区域的第二电导率比率。

[0110] 其中,所述表征参数包括电流或电阻。

[0111] 在一实施例中,所述获取所述消融区域的第二电导率比率包括通过查询列表的方式获取所述消融区域的第二电导率比率。进一步地,在一实施例中,所述列表表征在不同的电极针裸露长度时的电极针间距、所述表征参数的数值比和消融区域的电导率比率的关系。

[0112] 下面结合具体示例对消融区域的第二电导率比率进行说明。

[0113] 在治疗过程中,首先会施加预设电场强度(假定为500V/cm)的电脉冲,电流随治疗时间缓慢上升,响应于预设电场强度的电脉冲,脉冲串与电流的关系可以参考图7所示,图中, $I_0$ 为初始电流, $I_{s500}$ 为预设电场强度为500V/cm时的稳定电流,不同患者产生的初始电流 $I_0$ 和稳定电流 $I_{s500}$ 均不同。由于患者个体的差异,难以确定初始电导率 $\sigma_0$ ,因此在一实施例中,采用电流比S来抵消初始电导率 $\sigma_0$ 产生的影响,电流比S可以采用施加同一预设电场强度时的稳定电流 $I_s$ 和初始电流 $I_0$ 的比值来计算。在该实施例中,第二电导率比率的获取方法包括:

[0114] 构建关于电流的数据库,包括:根据预设参数组合建立计算模型,通过仿真软件(例如Comsol仿真软件)再结合电场方程、电导率方程以及边界条件构建电流数据库;其中预设参数包括:

[0115] 预设电极针间距,取值例如可以为:0.5cm,1.0cm,1.5cm,2.0cm,2.5cm,3.0cm,3.5cm,4.0cm;

[0116] 预设电极针裸露长度,取值例如可以为:1.0cm、1.5cm、2.0cm、2.5cm、3.0cm、3.5cm、4.0cm;

[0117] 预设电场强度:500V/cm;

[0118] 预设电导率比率:1.0、1.5、2.0、2.5、3.0、3.5、4.0;

[0119] 电流数据库表征了在预设电场强度的条件下,预设电极针间距、预设电极针裸露长度和预设电导率比率与电流的关系。

[0120] 在构建的电流数据库的基础上,计算电流比的数值集合。所述电流比表示在预设电场强度的条件下,预设电极针间距、预设电极针裸露长度和预设电导率比率组合下计算所得电流与和预设电导率比率为1.0时计算所得电流的比值。

[0121] 确定治疗数据,治疗数据包括:电极针间距D、电极针裸露长度L和电流比S。治疗数据与治疗计划相关。其中电流比S的获取包括:对每对电极针施加预设电场强度的电脉冲至电流稳定,假设预设电场强度(通过电极针间的电压U与电极针间距D的比值计算得到)为500V/cm,得到初始电流 $I_0$ 和稳定电流 $I_{s500}$ ,计算稳定电流 $I_{s500}$ 和初始电流 $I_0$ 的比值,根据电流比 $S = I_{s500}/I_0$ ,得到电流比S。

[0122] 获取第二电导率比率,包括:根据治疗数据在电流比的数值集合中查找对应的电

导率比率。可以参考下表所示,表中给出了在某电极针裸露长度下,预设电极针间距和电流比与预设电导率比率的关系。在使用该表查找第二电导率比率时,将治疗数据包括的电极针裸露长度L作为预设电极针裸露长度找到电极针裸露长度L对应的关系表,将治疗数据包括的电极针间距D作为预设电极针间距,并根据治疗数据包括的电极针间距D和电流比在所述对应的关系表中查找对应的电导率比率,作为第二电导率比率。

	<b>D<sub>1</sub></b>	<b>D<sub>2</sub></b>	<b>...</b>	<b>D<sub>n</sub></b>	
[0123]	<b>R<sub>sig1</sub></b>	S <sub>11</sub>	S <sub>12</sub>	...	S <sub>1n</sub>
	<b>R<sub>sig2</sub></b>	S <sub>21</sub>	S <sub>22</sub>	...	S <sub>2n</sub>
[0124]	<b>...</b>	...	...	...	...
	<b>R<sub>sigm</sub></b>	S <sub>m1</sub>	S <sub>m2</sub>	...	S <sub>mn</sub>

[0125] 表2:某预设电极针裸露长度时预设电极针间距、预设电导率比率与电流比的关系

[0126] 可替换地,电流比S可以采用施加不同预设电场强度时的稳定电流的比值来计算,且电流比S大于1。例如,分别施加预设电场强度为500V/cm和1000V/cm的电脉冲,可参考图8所示,各自的稳定电流分别记为I<sub>s500</sub>和I<sub>s1000</sub>,则电流比S可以用I<sub>s1000</sub>/I<sub>s500</sub>表示。

[0127] 可替换地,电流比S可以采用施加同一预设电场强度时的稳定电阻R<sub>s</sub>和初始电阻R<sub>0</sub>的比值来计算。例如,施加预设电场强度为500V/cm的电脉冲时,初始电阻记为R<sub>0</sub>,稳定电阻记为R<sub>s500</sub>,电流比可以用R<sub>s500</sub>/R<sub>0</sub>表示。

[0128] 另可替换地,电流比S可以采用施加不同预设电场强度时的稳定电阻的比值来计算,且电流比S大于1。例如,分别施加预设电场强度为500V/cm和1000V/cm的电脉冲,各自的稳定电阻分别记为R<sub>s500</sub>和R<sub>s1000</sub>,则电流比S可以用R<sub>s1000</sub>/R<sub>s500</sub>表示。

[0129] 关于坐标变换

[0130] 所述系统还可以包括坐标变换模块,用于响应于布针位置不在同一水平线上,对所述目标电场强度等值线进行坐标变换。可参考图9所示。

[0131] 在一实施例中,响应于布针位置(即两电极针的位置)不在同一水平线上时,可通过平移变换矩阵将目标电场强度等值线变换至布针位置。假设布针位置的坐标为(x<sub>1</sub>,y<sub>1</sub>)和(x<sub>2</sub>,y<sub>2</sub>),两电极针的中心记为(x<sub>0</sub>,y<sub>0</sub>),目标电场强度等值线的旋转角度记为θ。

[0132] 则,x<sub>0</sub>=(x<sub>1</sub>+x<sub>2</sub>)/2,y<sub>0</sub>=(y<sub>1</sub>+y<sub>2</sub>)/2,θ=arctan[(y<sub>2</sub>-y<sub>1</sub>)/(x<sub>2</sub>-x<sub>1</sub>);

[0133] 卡西尼曲线方程中的x和y可由如下公式计算:

[0134]  $x = \cos\theta * (x' - x_0) + \sin\theta * (y' - y_0)$

[0135]  $y = -\sin\theta * (x' - x_0) + \cos\theta * (y' - y_0)$

[0136] 在制定治疗计划的过程中,根据电场强度消融阈值E<sub>th</sub>、电极针裸露长度L、电导率比率R、电脉冲的脉冲电压U、电极针坐标等参数,即可计算出治疗计划对应的目标消融区域形状。

[0137] 关于区域叠加

[0138] 本发明实施例的预测电脉冲消融区域的系统还可以包括区域叠加模块,用于响应于多次治疗,叠加针对每次治疗所获取的目标电场强度等值线内的区域,作为所述多次治

疗的预测电脉冲消融区域。可参考图10所示。

[0139] 在一实施例中,可以增加电极针的布针、电脉冲的脉冲电压、治疗顺序等,将每次治疗计算得出的目标消融区域叠加,得到最终的目标消融区域。治疗顺序例如对于包括多于两电极针的情形,第一次施加电脉冲使用针号1、2,第二次施加电脉冲使用针号2、3,……,如此按序进行治疗。

[0140] 下面对本发明实施例的具体应用场景进行示例性说明,可参考图11所示。

[0141] 在100,构建电场强度数据库。可以通过电场强度数据库构建模块实现。根据电极针间距D的预设值、电极针裸露长度L的预设值、电脉冲的脉冲电压U的预设值以及电导率比率 $\sigma_{max}/\sigma_0$ (记为R)的预设值的不同组合,建立由D、L、U和R的各种参数预设值组合而成的参数组合模型;针对参数组合模型中的每个参数组合,结合电场方程、电导率方程以及边界条件方程进行数值计算,得到与每个参数组合对应的场强分布参数组,每一个场强分布参数代表一条电场强度等值线;参数组合模型中的所有参数组合对应的场强分布参数组一起形成电场强度数据库。

[0142] 在200,获取与第一约束条件对应的电场强度等值线集合。可以通过集合获取模块实现。以电场强度消融阈值 $E_{th}$ 作为第一约束条件,将电场强度消融阈值 $E_{th}$ 的值固定。根据固定的电场强度消融阈值 $E_{th}$ 计算出在某电导率比率R( $\sigma_{max}/\sigma_0$ )和电极针裸露长度L组合时,不同电脉冲的电场强度E(其中, $E=U/D$ )和电极针间距D的场强分布参数,可以采用表3所示的表格形式进行管理;同理,计算出各个不同的电导率比率R和电极针裸露长度L组合时,各个不同电脉冲的电场强度E和电极针间距D的场强分布参数;所有对应该固定的电场强度消融阈值 $E_{th}$ 的场强分布参数,构成了与第一约束条件对应的电场强度等值线集合。表格中M和N的含义可参考前述的描述。

[0143]

	$E_1$	$E_2$	...	$E_n$
$D_1$	$M_{11}, N_{11}$	$M_{12}, N_{12}$	...	$M_{1n}, N_{1n}$
$D_2$	$M_{21}, N_{21}$	$M_{22}, N_{22}$	...	$M_{2n}, N_{2n}$
...	...	...	...	...
$D_m$	$M_{m1}, N_{m1}$	$M_{m2}, N_{m2}$	...	$M_{mn}, N_{mn}$

[0144] 表3电场强度消融阈值 $E_{th}$ 的值固定,某电导率比率R和电极针裸露长度L组合时对应的场强分布参数表

[0145] 在300,获取预测电脉冲消融区域。可以通过目标获取模块实现。将电极针裸露长度L的值固定,对所述与第一约束条件对应的电场强度等值线集合中与第一约束条件对应的电场强度等值线集合,应用拉格朗日插值公式,计算出所述固定的电极针裸露长度L对应的电脉冲的电场强度E和电极针间距D的场强分布参数,此时不同电导率比率R对应的场强分布参数表可以简化为表4;将电导率比率R固定,对所述固定的电极针裸露长度L对应的电脉冲的电场强度E和电极针间距D的场强分布参数,应用拉格朗日插值公式,得到目标场强分布参数,即可得到目标电场强度等值线,所述获取的目标电场强度等值线内的区域作为预测电脉冲消融区域。

[0146]

$R_1$	$R_2$	...	$R_n$
$M_1, N_1$	$M_2, N_2$	...	$M_n, N_n$

[0147] 表4电场强度消融阈值 $E_{th}$ 和电极针裸露长度L的值固定,不同电导率比率R对应的

## 场强分布参数表

[0148] 在400,绘制目标电场强度等值线。可以通过绘制模块实现。由于两电极针可能不在同一水平线(同一水平线对于前述的坐标系而言可以理解为x轴或与x轴平行的线)上,因此会出现以下两种情形。

[0149] 第一种情况:两电极针在同一水平线上,此时可以根据目标场强分布参数绘制目标电场强度等值线。

[0150] 第二种情况:两电极针不在同一水平线上,此时可以通过平移变换矩阵将目标电场强度等值线变换至布针位置。可以通过坐标变换模块实现。假设布针坐标为 $(x_1, y_1)$ 和 $(x_2, y_2)$ ,两电极针的中心记为 $(x_0, y_0)$ ,目标电场强度等值线(或者目标场强分布参数)的旋转角度记为 $\theta$ 。

[0151] 则, $x_0 = (x_1 + x_2) / 2, y_0 = (y_1 + y_2) / 2, \theta = \arctan[(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)]$ ;

[0152] 卡西尼曲线方程中的 $x, y$ 可由如下公式计算:

[0153]  $x = \cos\theta * (x' - x_0) + \sin\theta * (y' - y_0)$

[0154]  $y = -\sin\theta * (x' - x_0) + \cos\theta * (y' - y_0)$

[0155] 在制定治疗计划的过程中,根据消融阈值 $E_{th}$ 、电极针裸露长度 $L$ 、电导率比率 $R$ 、治疗场强 $E$ 、电极针坐标等参数,即可以计算某治疗方案下的目标电场强度等值线,在治疗前了解目标消融区域的形状。

[0156] 在治疗方案包括多次治疗的情况下,叠加针对每次治疗所获取的目标电场强度等值线内的区域,作为所述多次治疗的预测电脉冲消融区域。可以通过区域叠加模块实现。多次治疗可以是增加电极针的布针、电脉冲的脉冲电压、治疗顺序(例如第一次施加电脉冲使用针号1、2,第二次施加电脉冲使用针号2、3……)等。

[0157] 另外,为了方便查看,可以显示预测电脉冲消融区域。可以通过显示模块实现。

[0158] 本领域技术人员可以理解,在流程图中表示或在此以其他方式描述的逻辑和/或步骤,例如,可以被认为是用于实现逻辑功能的可执行指令的定序列表,可以具体实现在任何计算机可读介质中,以供指令执行系统、装置或设备(如基于计算机的系统、包括处理器的系统或其他可以从指令执行系统、装置或设备取指令并执行指令的系统)使用,或结合这些指令执行系统、装置或设备而使用。就本说明书而言,“计算机可读介质”可以是任何可以包含、存储、通信、传播或传输程序以供指令执行系统、装置或设备或结合这些指令执行系统、装置或设备而使用的装置。

[0159] 计算机可读介质的更具体的示例(非穷尽性列表)包括以下:具有一个或多个布线的电连接部(电子装置),便携式计算机盘盒(磁装置),随机存取存储器(RAM),只读存储器(ROM),可擦除可编辑只读存储器(EPROM或闪速存储器),光纤装置,以及便携式光盘只读存储器(CDROM)。另外,计算机可读介质甚至可以是可在其上打印所述程序的纸或其他合适的介质,因为可以例如通过对纸或其他介质进行光学扫描,接着进行编辑、解译或必要时以其他合适方式进行处理来以电子方式获得所述程序,然后将其存储在计算机存储器中。

[0160] 应当理解,本发明的各部分可以用硬件、软件、固件或它们的组合来实现。在上述实施方式中,多个步骤或方法可以用存储在存储器中且由合适的指令执行系统执行的软件或固件来实现。例如,如果用硬件来实现,和在另一实施方式中一样,可用本领域公知的下列技术中的任一项或它们的组合来实现:具有用于对数据信号实现逻辑功能的逻辑门电路

的离散逻辑电路,具有合适的组合逻辑门电路的专用集成电路,可编程门阵列(PGA),现场可编程门阵列(FPGA)等。

[0161] 在本说明书的描述中,参考术语“一个实施例”、“一些实施例”、“示例”、“具体示例”、或“一些示例”等的描述意指结合该实施例或示例描述的具体特征、结构、材料或者特点包含于本发明的至少一个实施例或示例中。在本说明书中,对上述术语的示意性表述不一定指的是相同的实施例或示例。而且,描述的具体特征、结构、材料或者特点可以在任何一个或多个实施例或示例中以合适的方式结合。

[0162] 以上,对本发明的实施方式进行了说明。但是,本发明不限于上述实施方式。凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

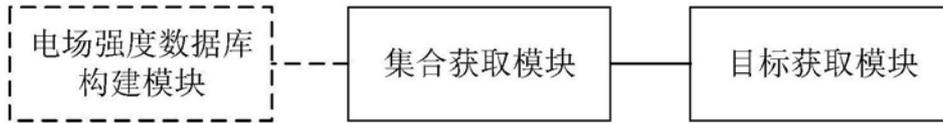


图1

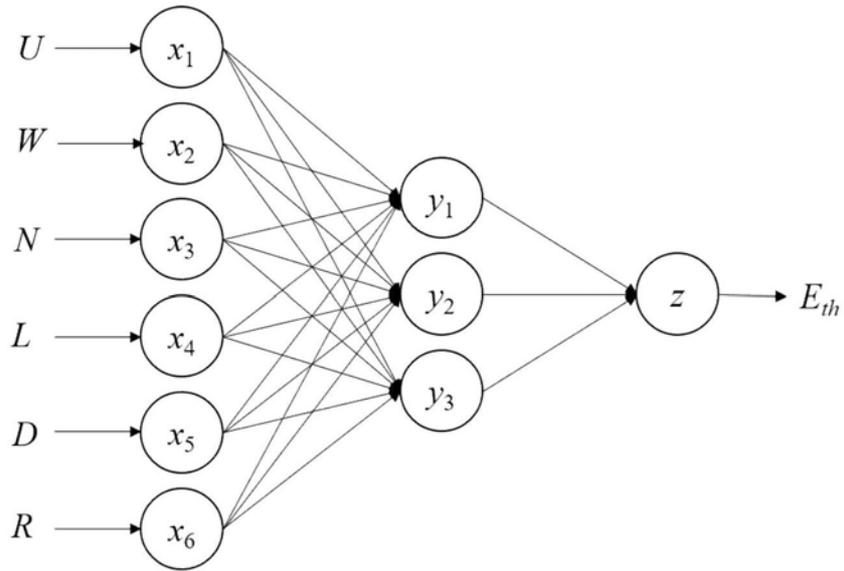


图2

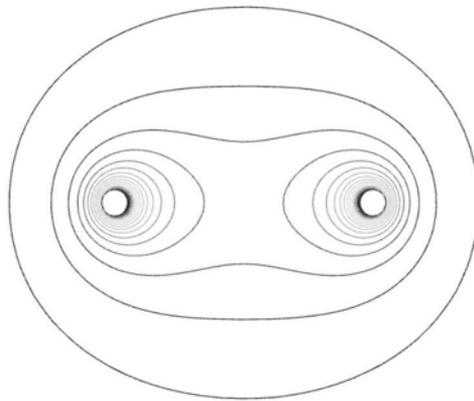


图3

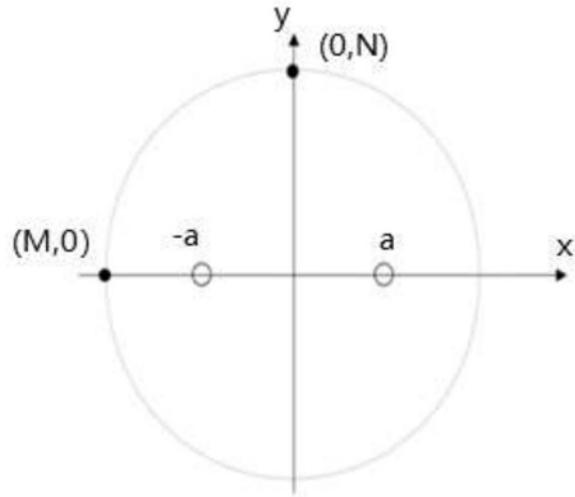


图4a

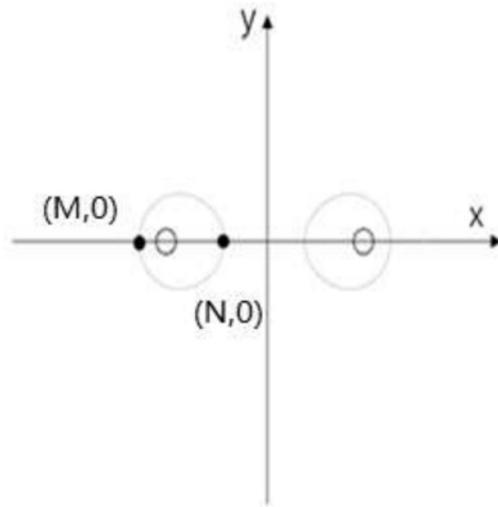


图4b

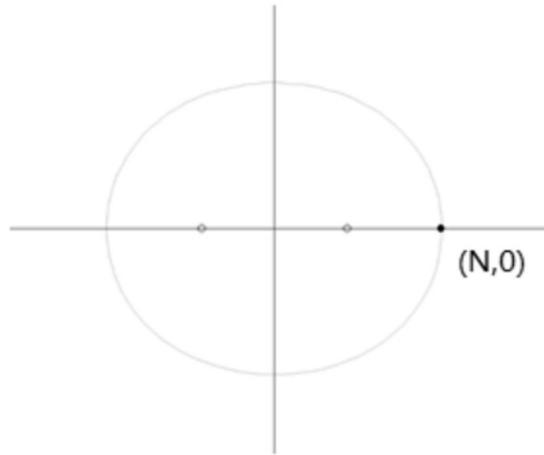


图5a

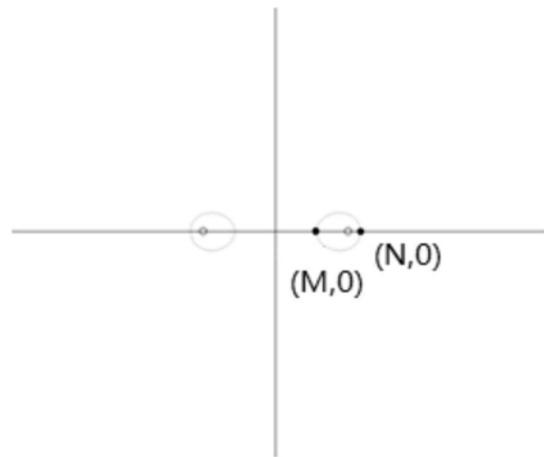


图5b

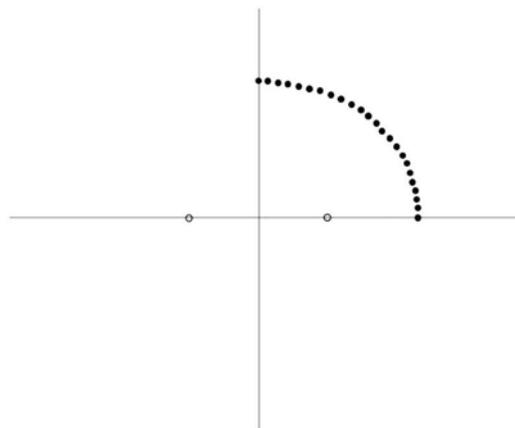


图6a

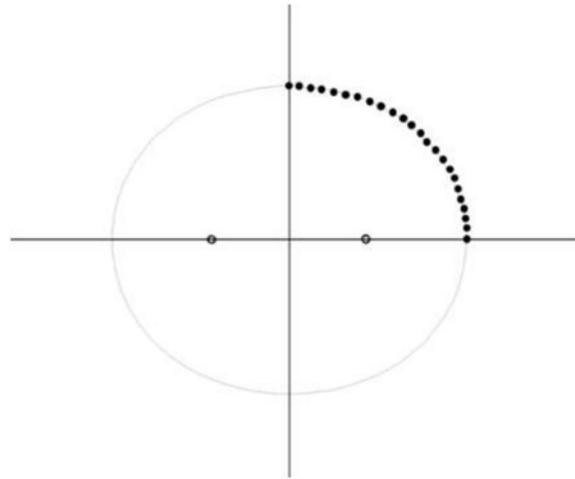


图6b

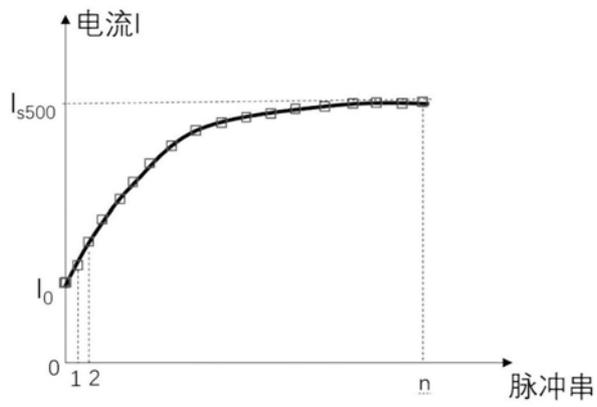


图7

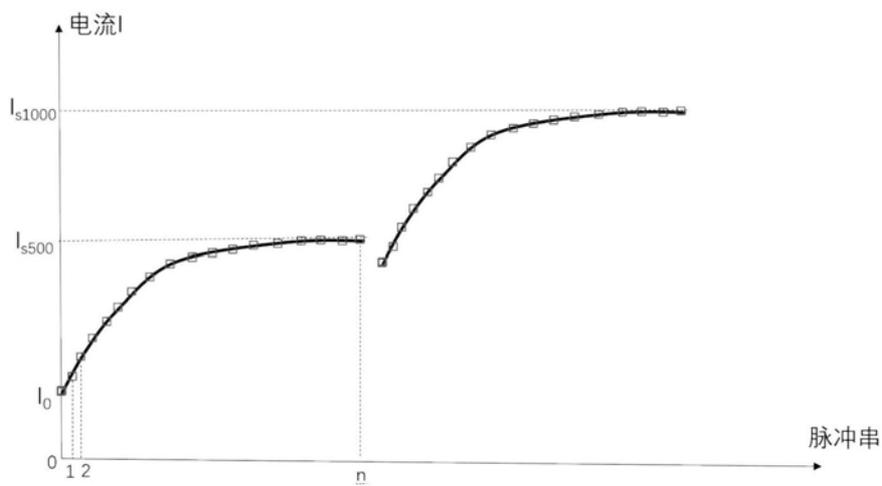


图8

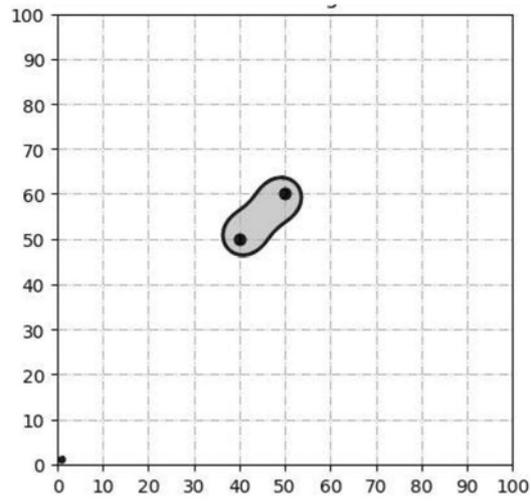


图9

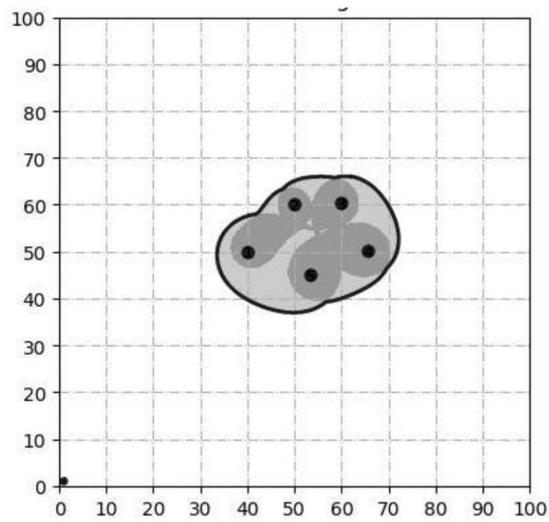


图10

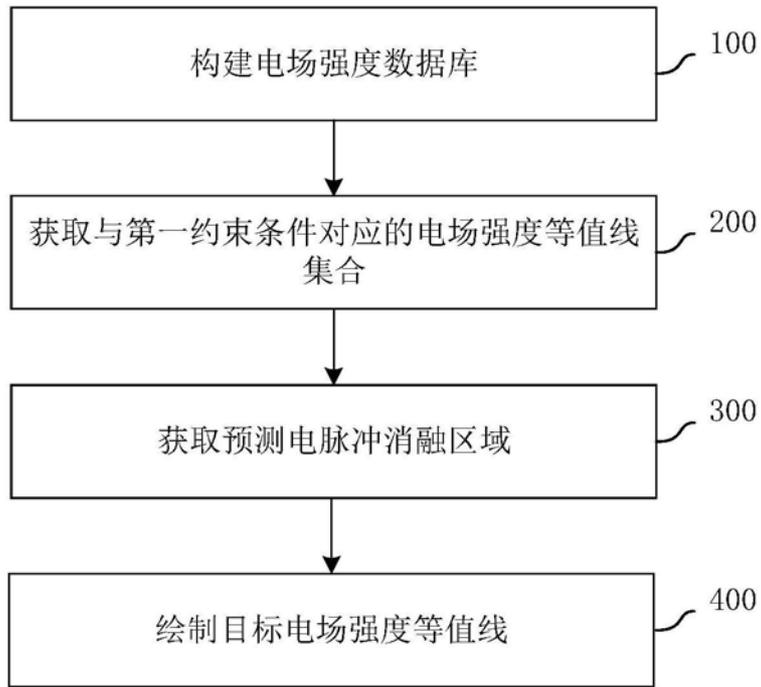


图11