

肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统研究

姚洁, 伍国林, 吴水才

北京工业大学 环境与生命学部 生物医学工程系 智能化生理测量与临床转化北京市国际科研合作基地, 北京 100124

[摘要] 目的 为提高传统肝肿瘤消融治疗手术成功率, 降低辐射暴露时间, 基于电磁定位装置设计一套肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统。方法 根据电磁导航坐标系与三维影像坐标系对应标记点的坐标信息, 使用奇异值分解完成肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统的空间配准。利用电磁定位仪等硬件辅助设备, 设计肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统, 实现肝肿瘤经皮穿刺路径规划以及实时交互式进针。对空间点集的配准和穿刺电磁导航系统的精度进行实验测试。结果 依据每次实验中获取体膜的6个标记点在三维影像坐标系与经转换求得三维影像坐标系下的坐标计算得到均方根误差, 实验中最大均方根误差不超过1.5 mm, 平均目标位置均方根误差为1.262 mm。获取穿刺消融针的空间位置, 肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统最大目标位置误差不超过5.00 mm, 平均目标位置误差为3.10 mm。结论 基于奇异值分解配准算法的肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统实现了CT数据的读取和可视化、穿刺路径规划以及基于电磁定位实时反馈消融针的空间位姿, 能够有效辅助医生进行手术操作。

[关键词] 肝肿瘤; 热消融; 电磁导航系统; 手术导航; 术中配准

Study of Electromagnetic Navigation System for Thermal Ablation Puncture of Liver Tumors

YAO Jie, WU Guolin, WU Shuicai

Beijing International Science and Technology Cooperation Base for Intelligent Physiological Measurement and Clinical Transformation, Department of Biomedical Engineering, Faculty of Environment and Life, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China

Abstract: **Objective** To improve the success rate of traditional liver tumor ablation treatment and reduce radiation exposure time, to design a electromagnetic navigation system for thermal ablation puncture of liver tumors based on electromagnetic positioning device. **Methods** Based on the coordinate information of the corresponding marker points of the electromagnetic navigation coordinate system and the three-dimensional image coordinate system, the spatial registration of the electromagnetic navigation system for thermal ablation of liver tumors was completed using singular value decomposition. The electromagnetic navigation system for thermal ablation of liver tumors was designed using hardware auxiliary equipment such as electromagnetic tracking to achieve percutaneous puncture path planning of liver tumors and real-time interactive needle feeding. The accuracy of the spatial point set registration and the accuracy of the electromagnetic navigation system were then tested. **Results** Based on the calculation of coordinates in the three-dimensional image coordinate system and converted three-dimensional image coordinate system obtained by transforming six reference points in each experiment, the root mean square error (RMSE) was determined. The maximum RMSE observed during the experiments was less than 1.5 mm, while the average RMSE was found to be 1.262 mm. The spatial position of the puncture ablation needle was obtained. The maximum target position error (TPE) of the electromagnetic navigation system for liver tumor thermal ablation puncture was no more than 5.00 mm, and the average TPE was 3.10 mm. **Conclusion** The liver tumor thermal ablation electromagnetic navigation system based on the singular value decomposition registration algorithm can realize the reading and visualization of CT data, puncture path planning, and real-time feedback of the spatial pose of ablation needle based on electromagnetic positioning, which can effectively assist the doctors in the surgical operation.

Key words: liver tumor; thermal ablation; electromagnetic navigation system; surgical navigation; intraoperative registration

[中图分类号] R197.39; R735.7

[文献标识码] A

doi: 10.3969/j.issn.1674-1633.2023.09.003

[文章编号] 1674-1633(2023)09-0025-06

引言

原发性肝癌是全球第六大常见的癌症, 我国肝癌新发病例占全球的45.3%, 是我国第5位常见恶性肿瘤及

第2位肿瘤致死病因^[1-3]。目前肝肿瘤手术切除、肝移植和消融治疗已成为原发性肝癌的3种主要治疗方法^[4-7]。肝肿瘤微波和射频消融治疗由于其操作简单、微创、疗效显著等优点, 已逐步成为治疗原发性肝癌的有效方法^[8]。在术前, 医生依据CT、MRI等断层影像图像构建的三维可视化模型, 对患者肝肿瘤消融穿刺路径进行规划; 术中, 在影像技术引导下, 医生凭经验确定经

收稿日期: 2023-02-05

基金项目: 国家自然科学基金(61801312); 北京市教委基金(KM202310025019)。

通信作者: 吴水才, 教授, 主要研究方向为生物医学电子与信息处理。

通信作者邮箱: wushuicai@bjut.edu.cn

皮穿刺点的位置与深度。在实际消融治疗中,医生往往很难做到穿刺与消融治疗一步到位^[9-10]。大量研究表明,消融针穿刺导航系统可在术中为医生提供辅助与指导,提高肝肿瘤热消融治疗穿刺成功率^[11-13]。基于此,本文旨在研制一种肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统,用于辅助医生进行肝肿瘤经皮穿刺,提高手术的安全性与有效性。

1 方法

1.1 术中定位技术

在肝肿瘤穿刺中,穿刺位置选取与深度的不恰当可能导致不完全消融和较高的复发率,精准的术中定位对于达到足够的肿瘤消融覆盖和治疗至关重要。手术导航系统术中定位一般有机电定位、超声定位、光学定位与电磁定位^[11-14]。电磁定位不易受障碍物遮挡和反光物干扰,可以对非刚性手术器械进行准确定位,且分辨率较高^[15-16]。在肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统设计中,选取加拿大NDI公司生产的Aurora电磁定位仪来追踪患者与手术器械的物理坐标空间位姿,以提高手术导航的精度。

1.2 空间配准技术

空间配准是为了在不同坐标系之间寻求其转换关系。肝肿瘤热消融导航系统中,三维影像模型、定位设备以及患者均有各自独立的坐标系,通过确定图像系统和定位导航系统之间的转换关系,将消融针按照图像系统显示的术前规划穿刺路径插入病灶靶点,并在这个过程中实时跟踪消融针位置和姿态。

手术导航中的空间配准技术主要有标记点法、标志面法、定位框架法等,标记点法是目前临床中最常用的配准方法^[17]。标记点配准法是利用不同坐标系下一定数目的公共点作为配准标记点,寻求不同坐标系下变换误差最小的旋转矩阵和平移矢量。标记点类型主要包括解剖标记点和粘贴于皮肤表面的自定义标记点两种。解剖标记点利用人体的显著特征作为标记点,如鼻根、眼角、下颌角点等^[18]。人工粘贴标记点由医生在术前粘贴于患者体表,由成像设备扫描成像后表现出与其周围组织灰度值的明显差异,方便识别、提取图像中的标记点位置信息。

基于不同坐标系下成对点集的刚性空间配准算法,目前常用的主要是奇异值分解(Singular Value Decomposition, SVD)法、最近值迭代法、单位四元数法和主元分析法等,其本质均是求得使误差最小的旋转矩阵和平移矩阵^[19-20]。本研究通过在患者腹部粘贴标记点,基于三维影像空间坐标系和电磁导航坐标系下粘贴的标记点作为配准标记点,采用基于SVD的刚性空间配准算法。

在任意两个相同尺度笛卡尔三维坐标系中,存在

$P \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 和 $Q \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ 两个匹配点集, p_i 和 q_i 为两个坐标系中对应的匹配点。本文基于SVD算法求解配准点集之间所需的刚体变换,即求解旋转矩阵 R 和平移向量 t 的最小化,对齐误差如公式(1)所示。

$$(R, t) = \underset{R \in SO(3), T \in R^3}{\operatorname{argmin}} \sum_{i=1}^n \|(Rp_i + t) - q_i\|^2 \quad (1)$$

式中, $SO(3)$ 为三维旋转群; $R \in SO(3)$ 为旋转矩阵; R 为正交矩阵,且行列式为1; R^3 表示笛卡尔三维坐标系。

计算点集 P 的中心点 \bar{p} 和点集 Q 的中心点 \bar{q} , 计算方式分别如公式(2)和公式(3)所示。

$$\bar{p} = 1/n \sum_{i=1}^n p_i \quad (2)$$

$$\bar{q} = 1/n \sum_{i=1}^n q_i \quad (3)$$

为计算旋转矩阵,需要消除平移向量影响,故需要将点集重新中心化,生成新点集 X 和 Y , 其中 x_i 和 y_i 分别表示新点集中的点,具体计算方式如公式(4)所示。

$$x_i = p_i - \bar{p}, y_i = q_i - \bar{q} \quad (4)$$

计算点集 X 和 Y 之间 3×3 的协方差矩阵 $S = XY^T$ 。通过SVD算法分解 S 得到 $S = U \Sigma V^T$, 其中 U 和 V 均为 3×3 的正交矩阵。基于 U 和 V , 计算两点集之间的旋转矩阵 R 如公式(5)所示。

$$R = VU^T \quad (5)$$

正交矩阵 R 可能是旋转矩阵或反射矩阵,通过验证 R 的行列式对反射矩阵的情况进一步处理。当 $\det(VU^T) = 1$ 时, R 为旋转矩阵; 当 $\det(VU^T) = -1$ 时, R 为反射矩阵,为将旋转解转换为旋转矩阵进行处理,得到旋转矩阵如公式(6)所示。将 R 带入公式(6),计算得到两点集之间的平移向量 t , 其计算方式如公式(7)所示。

$$R = V \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & \det(VU^T) \end{bmatrix} U^T \quad (6)$$

$$t = \bar{p} - R \bar{q} \quad (7)$$

1.3 肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统的设计

1.3.1 系统整体设计

肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统功能框图如图1所示,主要由数据管理、空间配准和路径规划3个模块组成。数据管理模块实现CT图像的读取、分割处理和三维可视化。路径规划模块完成消融针进针路径的合理规划、交互式调整和实时显示。空间配准模块通过电磁设备读取消融针的空间位置,使消融针沿着规划的路径穿刺进入肿瘤。肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统的主界面如图2所示,包括数据管理、CT数据显示、系统功能等区域,其中系统主要功能区包括设备管理、图像配准及手术规划实施。

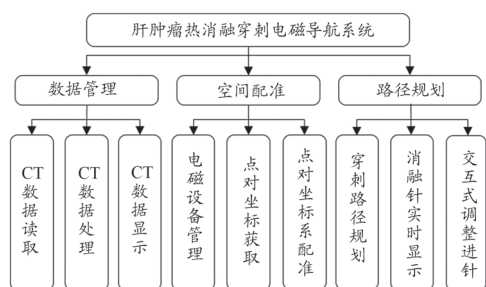


图1 系统功能框图



图2 肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统主界面

肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统硬件由电磁定位系统和PC端三维影像系统组成。如图3所示,电磁定位装置为NDI公司的NDI Aurora电磁跟踪系统,包括控制器和发射线圈两个部分,可在遮挡的情况下确定患者/腹部体模的实际位置,同时用于实时追踪装有电磁传感器消融针的位姿。装有电磁传感器的消融针将电磁传感器放置于自制电磁传感器放置套中,安装固定在消融针尾端。腹部体模采用的是美国Cirs 071A穿刺体模,包含12个肿瘤病灶。系统界面利用MFC设计实现,系统软件基于ITK、VTK、OpenCV开源工具包实现,矩阵计算使用Eigen库。

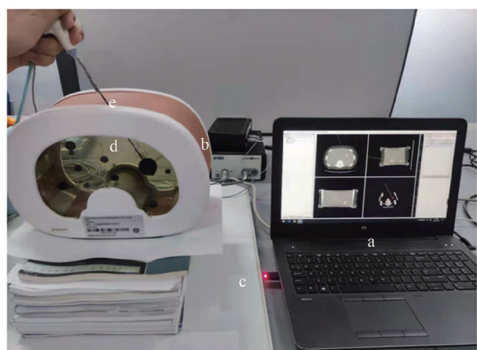


图3 硬件结构图

注: a.三维影像系统; b.电磁控制单元; c.磁场发生器; d.腹部体模; e.消融针。

1.3.2 系统工作流程

肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统工作流程如图4所示,在三维影像处理系统导入CT数据后,通过图像处理在数据显示区显示横截面、矢状面和冠状面图像及三

维重建后的模型。随后建立三维影像系统与电磁导航系统的通信,通过电磁定位仪获取腹部粘贴标记点在电磁导航坐标系下位姿信息,同时通过三维影像系统获取对应标记点在三维影像空间坐标系下的坐标信息,得到两个对应点集。通过奇异值分解方法求得三维影像空间坐标系和电磁导航坐标系的变换关系。基于三维影像系统对CT图像处理获得的三维模型,进行穿刺手术路径的规划,通过对消融针的电磁定位实现实时穿刺导航。

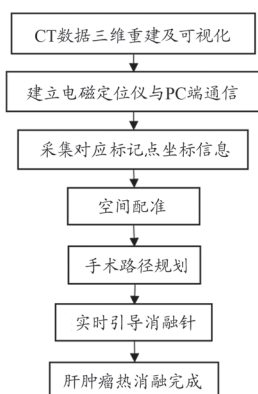


图4 肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统工作流程

2 实验与结果

2.1 空间配准的准确性验证实验

对SVD算法在肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统的空间配准中准确性进行验证,设计了腹部体模与其CT图像的配准实验来进行测试。

在腹部体模上粘贴6个标记点(序号1~6)后进行CT扫描,将扫描得到的图像进行分割和三维重建。通过电磁定位仪采集腹部体模标记点的空间坐标,使用SVD求解旋转矩阵和平移向量。腹部体模与重建的三维模型配准示意图如图5所示,在腹部体模与重建三维模型两个坐标系中,三维模型中序号1~6标记点与腹部体模中序号1'~6'标记点一一对应。获取这六对点的空间坐标,通过SVD变换得到两个空间坐标系的刚性变换。坐标转换精度的评价方式通常是利用转换前后公共点坐标差值的均方根值来进行评价。进行20次实验,依据每次实验中获取体模6个标记点在三维影像坐标系与经转换求得三维影像坐标系下的坐标计算得到均方根误差,将计算误差值与对应实验编号绘制为柱状图(图6),其中实验中最大均方根误差不超过1.5 mm,平均均方根误差为1.262 mm。

2.2 肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统精度验证实验

为评估肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统的精度,本文设计了如图7所示的模型实验。在对扫描后的腹部体模CT影像进行三维重建并手动规划穿刺路径后,建立PC端导航系统软件与电磁定位仪的通信,来获取穿刺消融针的空间位置。在进行肝肿瘤穿刺路径规划后,手

持消融针,依据实时映射在三维影像坐标系中的消融针位姿对消融针进针位置与角度进行调整,直至三维影像中消融针与规划路径重合,将消融针沿着规划穿刺路径进针。当三维影像中显示消融针针尖到达肿瘤中心位置时,完成进针引导。

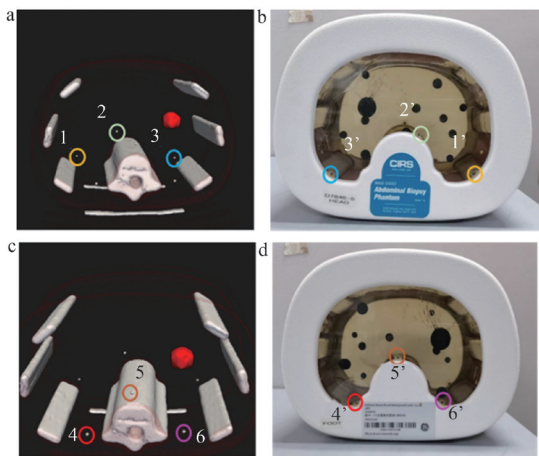


图5 体模与重建模型配准示意图

注: a. 重建三维模型中一侧的3个标记点; b. 腹部体模中与a图标记点相对应的标记点; c. 重建三维模型中另一侧的3个标记点; d. 腹部体模中与c图标记点相对应的标记点。

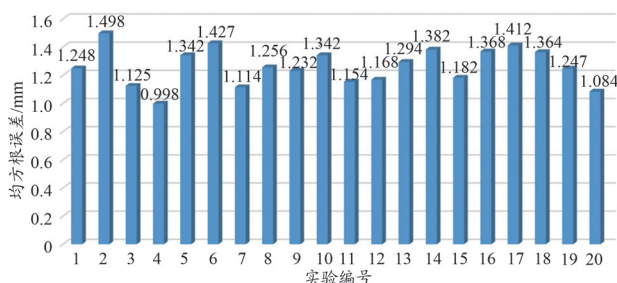


图6 体模标记点空间配准均方根误差柱状图

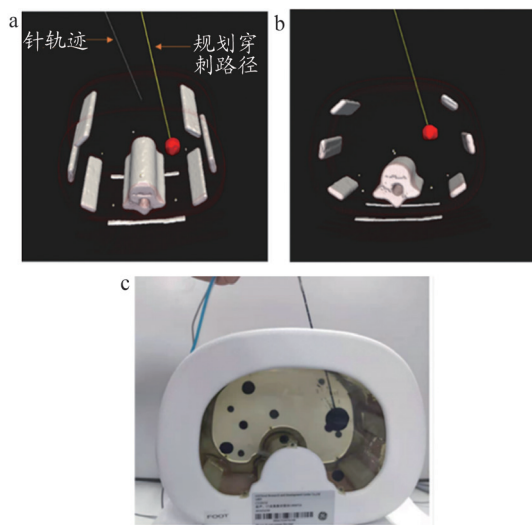


图7 系统引导消融针穿刺示意图

注: a. 消融针轨迹(灰色线)与规划穿刺路径(黄色线); b. 消融针位置调整后与规划穿刺路径完全重合; c. 消融针进针后的位置。

本文选取的5位操作人员均为之前未接触过该系统且无临床操作经验的实验室人员,参照上述步骤对体模中5个腹部模拟肿瘤进行了精度验证实验,实验结果如表1所示,其中目标位置误差为穿刺后消融针针尖位置与规划路径末端位置的均方根误差。由表1可知,系统最大目标位置误差不超过5.00 mm,平均目标位置误差为3.10 mm。

表1 模拟肿瘤穿刺实验结果

指标	肿瘤1	肿瘤2	肿瘤3	肿瘤4	肿瘤5
肿瘤直径/mm	22	8	7	9	11
实验次数/次	5	5	5	5	5
TPE/mm	4.12 ±0.36	2.64 ±0.49	2.36 ±0.28	2.92 ±0.41	3.45 ±0.35

注: TPE: 目标位置误差。

3 讨论

本文针对肝肿瘤热消融治疗过程中消融针实时引导问题,开发了一套肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统。实验结果显示,标记点从电磁导航坐标系映射到三维影像坐标系,坐标信息与实际三维影像坐标系对应标记点坐标基本相同,但还存在一定误差。分析出现上述误差的主要原因是在电磁定位针采集腹部体模标记点坐标时,定位针的放置可能存在偏差;同时标记点数量以及体模在磁场空间中放置位置可能会对配准精度造成一定的影响。实验结果表明,配准算法最大均方根误差不超过1.5 mm,平均均方根误差为1.262 mm,算法误差较小,具有较好的精度,可应用本文所设计的导航系统,实现患者与其三维影像的配准。

Teng等^[11]基于电磁导航系统协助医生完成1例肝肿瘤消融手术,在术后评估中未出现出血、气胸、感染、胸腔积液等并发症,表明电磁导航系统辅助消融手术治疗具有可行性。Zhang等^[16]基于电磁导航系统在CT引导下进行肝肿瘤热消融手术,实验证明电磁导航系统与徒手穿刺相比可有效减少患者辐射暴露与相关仪器的调整次数,对肝肿瘤热消融手术起到很好的辅助作用。Liu等^[21]评估将腹腔镜超声图像、腹腔镜视频和针头轨迹统一于同一视图的增强现实系统,其目标定位误差为11.1 mm,所需平均穿刺针放置时间为22.9 s。Li等^[22]提出了腹部肿瘤穿刺消融手术导航中一种无标记手术配准方法,模拟实验穿刺结果表明,术后CT图像显示的针尖位置与实际穿刺目标之间的距离平均为4.117 mm。Xiao等^[23]提出一种自动提取腹部表面区域的方法,其对Kinect的安装有严格的要求,以保证其z轴垂直于CT床,如果没有基准或测量设备很难实现。梁亮亮等^[24]通过电磁定位引导体模内橡胶小球穿刺的实验

研究中,体膜的配准精度平均误差为 (0.826 ± 0.029) mm。Ringe 等^[25]评估了电磁导航系统的准确性,其穿刺平均偏差为 (3.2 ± 1.9) mm,与传统CT引导微波消融相比准确性更高。本研究中的系统最大目标位置误差不超过5.00 mm,平均目标位置误差为3.10 mm,表明本文设计的电磁导航系统能实现消融针的实时导航,对临床操作经验较少的人员具有一定的辅助与指导作用。

但本文系统还需要在以下几方面进一步改进:①系统对穿刺路径进行手动规划,依赖于医生的临床经验,后续将优化对穿刺路径的规划,实现穿刺路径的自动规划。②肝脏为非刚性组织,本文未考虑术中呼吸运动与穿刺过程中造成的肝脏形变。构建个性化的呼吸运动模型及针-组织交互模型,在此基础上实现消融针的实时定位更具有临床价值。③本系统只使用体模进行实验,系统有效性也存在一定的局限性,后续还需要进行动物和临床实验。④系统仍使用徒手穿刺,现有研究结合机械臂进行肝肿瘤热消融穿刺,使得穿刺准确性、安全性均有了一定提升,下一步可结合机械臂进行研究^[26]。

4 结论

本文设计了一套肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统,实现了CT数据的读取和可视化、穿刺路径规划以及基于电磁定位实时反馈消融针的空间位姿。通过腹部体模实验,初步验证了肝肿瘤热消融穿刺电磁导航系统的准确性和可行性。

[参考文献]

- [1] 丛小虎,宋伟男,解传滨,等.基于国产与进口精确放疗设备在原发性肝癌与胰腺癌的剂量学评价研究[J].中国医疗设备,2021,36(4):90-93.
Cong XH, Song WN, Xie CB, et al. Dosimetric evaluation of domestic and imported precision radiotherapy equipment in primary hepatocellular carcinoma and pancreatic cancer[J]. *China Med Devices*, 2021, 36(4): 90-93.
- [2] 陈敏山.中国肿瘤整合诊治指南-肝癌(2022精简版)[J].中国肿瘤临床,2022,49(17):865-873.
Chen MS. Guidelines for holistic integrative management of liver cancer (2022 abridged version) [J] *Chin J Clin Oncol*, 2022, 49(17): 865-873.
- [3] Islami F, Ward EM, Sung H, et al. Annual report to the nation on the status of cancer, part 1: national cancer statistics[J]. *J Natl Cancer Inst*, 113(12): 1648-1669.
- [4] 岑泽南,包家立,陈新华.不可逆电穿孔肝癌消融临床应用的系统分析[J].中国医疗设备,2021,36(3):11-17.
Cen ZN, Bao JL, Chen XH. Meta-analysis of the clinical application of irreversible electroporation ablation for liver cancer[J]. *China Med Devices*, 2021, 36(3): 11-17.
- [5] Allaire M, Goumard C, Lim C, et al. New frontiers in liver resection for hepatocellular carcinoma[J]. *JHEP Rep*, 2020, 2(4): 100134.
- [6] Xu XF, Xing H, Han J, et al. Risk factors, patterns, and outcomes of late recurrence after liver resection for hepatocellular carcinoma: a multicenter study from China[J]. *JAMA Surg*, 2019, 154(3): 209-217.
- [7] Vibert E, Schwartz M, Olthoff KM. Advances in resection and transplantation for hepatocellular carcinoma[J]. *J Hepatol*, 2020, 72(2): 262-276.
- [8] Deng Q, He M, Fu C, et al. Radiofrequency ablation in the treatment of hepatocellular carcinoma[J]. *Int J Hyperthermia*, 2022, 39(1): 1052-1063.
- [9] 伍国林,姜涛,吴薇薇,等.肝肿瘤热消融穿刺机器人导航定位方法研究[J].中国医疗设备,2021,36(8):22-25.
Wu GL, Jiang T, Wu WW, et al. Research on navigation and positioning method of liver tumor thermal ablation puncture robot[J]. *China Med Devices*, 2021, 36(8): 22-25.
- [10] Granata V, Grassi R, Fusco R, et al. Diagnostic evaluation and ablation treatments assessment in hepatocellular carcinoma[J]. *Infect Agent Cancer*, 2021, 16(1): 53.
- [11] 翟光耀,刘宇扬,王建龙,等.肾动脉射频消融系统用于治疗原发性高血压的新探索[J].中国医疗设备,2020,35(12):17-19.
Zhai GY, Liu YY, Wang JL, et al. Exploration of radiofrequency ablation system of renal artery in the treatment of essential hypertension[J]. *China Med Devices*, 2020, 35(12): 17-19.
- [12] 章浙伟,刘璐璐,邵国良,等.四维电磁导航系统辅助CT引导下肝肿瘤热消融的临床应用[J].介入放射学杂志,2018,27(8):750-754.
Zhang ZW, Liu LL, Shao GL, et al. Clinical application of four-dimensional electromagnetic navigation system in assisting CT-guided thermal ablation therapy of liver tumors[J]. *J Interv Radiol*, 2018, 27(8): 750-754.
- [13] Zygomalas A, Kehagias I. Up-to-date intraoperative computer assisted solutions for liver surgery[J]. *World J Gastrointest Surg*, 2019, 11(1): 1-10.
- [14] Botea F, Barcu A, Popescu I. Intraoperative imaging techniques in liver surgery[M]. Singapore: Springer Singapore, 2022: 145-152.
- [15] Ivashchenko OV, Kuhlmann KFD, van Veen R, et al. CBCT-based navigation system for open liver surgery: accurate guidance toward mobile and deformable targets with a semi-rigid organ approximation and electromagnetic tracking of the

- liver[J]. *Med Phys*, 2021, 48(5): 2145-2159.
- [16] Zhang Z, Shao G, Zheng J, *et al*. Electromagnetic navigation to assist with computed tomography-guided thermal ablation of liver tumors[J]. *Minim Invasive Ther Allied Technol*, 2020, 29(5): 275-282.
- [17] Zhu H, Guo B, Zou K, *et al*. A review of point set registration: from pairwise registration to groupwise registration[J]. *Sensors (Basel)*, 2019, 19(5): 1191.
- [18] 张灵西. 基于拓扑结构约束和特征增强的医学影像标志点定位算法[J]. *计算机系统应用*, 2022, 31(9): 173-182.
- Zhang LX. Landmark localization algorithm for medical images based on topological constraints and feature augmentation[J]. *Comput Syst Appl*, 2022, 31(9): 173-182.
- [19] Castellani U, Bartoli A. 3D Imaging, Analysis and applications[M]. London: Springer, 2012: 353-411.
- [20] 刘星明, 王辉静, 蔡铁, 等. 基于标志点匹配算法的研究[J]. *深圳信息职业技术学院学报*, 2018, 16(2): 11-17.
- [21] Liu X, Plishker W, Kane TD, *et al*. Preclinical evaluation of ultrasound-augmented needle navigation for laparoscopic liver ablation[J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2020, 15(5): 803.
- [22] Li J, Deng Z, Shen N, *et al*. A fully automatic surgical registration method for percutaneous abdominal puncture surgical navigation[J]. *Comput Biol Med*, 2021, 136:104663.
- [23] Xiao D, Luo H, Jia F, *et al*. A KinectTM camera based navigation system for percutaneous abdominal puncture[J]. *Phys Med Biol*, 2016, 61(15): 5687-5705.
- [24] 梁亮亮, 李景武, 侯国青, 等. 电磁定位引导体模穿刺的实验研究[J]. *中国煤炭工业医学杂志*, 2020, 23(1): 27-30.
- Liang LL, Li JW, Hou GQ, *et al*. Experimental study of electromagnetic positioning guided body model puncture[J]. *Chin J Coal Ind Med*, 2020, 23(1): 27-30.
- [25] Ringe KI, Pöhler GH, Rabeh H, *et al*. Electromagnetic navigation system-guided microwave ablation of hepatic tumors: a matched cohort study[J]. *Cardiovasc Interv Radiol*, 2021, 44(3): 500-506.
- [26] de Baère T, Roux C, Deschamps F, *et al*. Evaluation of a new CT-guided robotic system for percutaneous needle insertion for thermal ablation of liver tumors: a prospective pilot study[J]. *Cardiovascu Interv Radiol*, 2022, 45(11): 1701-1709.

本文编辑 盛伟

《中国医疗设备》投稿须知

1. 本刊录用的稿件, 必须是作者自己研究、实验或实践的工作, 要有明确的观点、科学的理性阐述和证明。稿件要具有创新性、新颖性和实用性。稿件须拓宽学术视野, 尽量多参考国内外有关学科的参考文献, 例如生物医学工程、仪器设备、计算机应用、电子技术等学科领域的期刊。
2. 专论、研究论著(临床影像技术、医学工程技术、医院数字化管理、转化医学)、综述、设备维修栏目中论文, 如果是国家级或省(市)级有关研究立项课题的文章, 来稿请注明研究课题来源和项目编号, 并提供相关证明, 本刊将优先处理。
3. 稿件要求段落分明、文字通顺、叙述简明、重点突出、不违反国家有关政策与规定, 尽量避免错别字和错用符号。稿件字数 5000~7000 字。稿件中的图、表应遵照本刊的写作要求, 且均占版面字数。
4. 本刊采用采编系统收稿(www.china-cmd.org), 请务必在投稿时填写投稿函并写明作者姓名、联系电话、工作单位、所在部门及详细通信地址。多位作者的稿件, 请根据贡献, 排列好作者顺序。