

拟推荐 2025 年甘肃省医学科技奖候选项目公示

项 目 名 称	运动靶区重离子精准放射治疗
主要完成单位	中国科学院近代物理研究所
主 要 完 成 人	贺鹏博、李强、陈卫强、刘新国、马圆圆、申国盛、张晖、赵婷
项目简介（1200 字）	
（研究背景，研究方法、技术路线，发明点、创新点、主要贡献，应用推广情况、社会及经济效益） 研究背景 重离子放射治疗是当今先进有效的肿瘤治疗手段，对于胸腹部随患者呼吸运动的肿瘤靶区，靶区运动和重离子点扫描动态束流配送过程相互作用，会造成离子束射程的改变和辐射场剂量分布的畸变，严重影响了重离子放疗的安全性和有效性。因此，发展运动管理技术，提高靶区剂量覆盖度和均匀性，同时减少对周围正常组织的辐射损伤，充分发挥重离子放射治疗的优势是离子束放射治疗领域的难点。 研究方法和技术路线 针对现有靶区运动管理技术存在照射精度差、治疗时间长、实时 3D 可视化程度低、以及考虑复杂运动情况不周等问题，本项目从 4D 影像智能重建、基于射程的肿瘤靶区勾画、呼吸同步照射、以及四维剂量计算和优化等方面开发了多种创新技术，为运动肿瘤靶区重离子放射治疗建立了一套完整的解决方案，实现精准、高效、智能、个性化的重离子精准放疗，以期达到更高的治疗精度和效率。 发明点、创新点、主要贡献 本项目紧密结合“面向人民生命健康”的国家科技战略导向，以促进核科学技术在生命健康领域的科技转化与应用为目标，深入探索并研发了针对运动肿瘤靶区的重离子精准放射治疗新技术，主要创新点包括： 1. 提出并开发了生物视听反馈患者呼吸引导技术，实现了患者呼吸与同步加速器脉冲束流的同步照射，使得运动靶区重离子放射治疗的效率和精度分别提高了约 4 倍和 10 倍； 2. 构建了基于离子束射程的肿瘤内靶区生成方法，可有效补偿不同呼吸时相由解剖组织密度变化造成的离子束射程的改变，实现运动靶区在每个呼吸时相的高剂量覆盖； 3. 解决了目前放射治疗过程中无法实时获取患者动态 3D 影像的问题，构建了基于动态 2D-DR 影像到实时 3DCT 影像的智能重建方法，为实时自适应放疗提供重要的影像信息； 4. 自主设计并开发了用于运动肿瘤靶区重离子 4D 放射治疗的多模态束流配送模拟系统、4D 剂量计算和优化系统，可真实再现运动靶区重离子束照射的实际动态剂量分布，为实现精准离子束放射治疗打下坚实的基础。 应用推广情况 在国际医学物理权威杂志《Medical Physics》、《Physics in Medicine and Biology》等期刊上发表论文 18 篇，其中 SCI 收录 17 篇，CSCD 期刊收录	

1 篇，研究结果已引起国际同行的关注。同时，项目获得美国及中国发明专利授权 8 项。有三项发明专利实现了成果转化，应用于碳离子放射治疗中。同时，甘肃省武威肿瘤医院、兰州泰基离子技术有限公司、恒玖（徐州）智能科技有限公司已采纳该项目的部分研究成果，在光子和离子放射治疗中进行了初步的临床验证。

社会及经济效益

本项目从基于 AI 的实时 3D 影像智能重建、离子束呼吸同步照射、基于射程的肿瘤内靶区生成、以及 4D 剂量计算和优化等方面，为运动肿瘤靶区重离子放射治疗建立了一套完整的解决方案，大幅提升了重离子放射治疗的精度、效率、安全性和有效性，同时研究成果还可以应用于质子放射治疗中，助力提升国产离子放射设备的性能和推广应用。本项目所开发的智能影像重建和生物视听反馈呼吸引导技术具有普适性，不但可以应用在重离子和质子放射治疗中，还可以应用在传统光子放疗和影像诊断设备中，用于提高靶区定位和治疗精度，具有良好的社会效益和广阔的应用前景。

主要完成单位对项目主要贡献

单位	排名	主要贡献
中国科学院近代物理研究所	1	全面负责项目的立项、论证、设计、实施和总结，提供科研平台和实验条件，保障项目的顺利完成

主要完成人对项目主要贡献

姓名	排名	职称/职务	单位	主要贡献
贺鹏博	1	研究员	中国科学院近代物理研究所	对创新点 1, 2, 3, 4 做出突出贡献
李强	2	研究员	中国科学院近代物理研究所	对创新点 1, 2, 3, 4 做出突出贡献
陈卫强	3	研究员	中国科学院近代物理研究所	对创新点 1, 3 做出重要贡献
刘新国	4	正高级工程师	中国科学院近代物理研究所	对创新点 1, 4 做出重要贡献
马圆圆	5	高级工程师	中国科学院近代物理研究所	对创新点 2, 3 做出重要贡献
申国盛	6	副研究员	中国科学院近代物理研究所	对创新点 2, 3 做出重要贡献
张晖	7	副研究员	中国科学院近代物理研究所	对创新点 3, 4 做出重要贡献
赵婷	8	高级实验师	中国科学院近	对创新点 1, 4 做

			代物理研究所	出重要贡献
知识产权证明目录				
序号	知识产权（发明专利）名称	授权号	证书编号	发明人
1	RESPIRATORY GUIDANCE AND METHOD APPLIED IN RESPIRATORY-GATED ION BEAM IRRADIATION	US10300301B2	US10300301B2	Pengbo He, Qiang Li, Zhongying Dai, Xinguo Liu, Ting Zhao, Tingyan Fu, Guosheng Shen, Yuanyuan Ma, Qiyan Huang, Yuanlin Yan
2	离子束呼吸门控治疗中的呼吸引导装置及方法	ZL201410498032.9	2777757	贺鹏博,李强,戴中颖,刘新国,赵婷,付廷岩,中国盛,马圆圆,黄齐燕,闫渊林
3	放射治疗中动态肿瘤靶区的定位装置及其方法	ZL201310685330.4	2216839	贺鹏博,李强,戴中颖,刘新国、申国盛
4	一种基于射程的肿瘤内靶区生成系统	ZL202110314439.1	5448071	贺鹏博,李强
5	一种四维剂量计算系统及存储介质	ZL202110381112.6	5352717	贺鹏博,李强
6	快速获得免冲洗验证胶片剂量响应曲线的装置和方法	ZL201410742875.9	2742119	刘新国,李强,贺鹏博,戴中颖,黄齐艳,闫渊林,马圆圆,申国盛,付廷岩,肖国青
7	一种用于放射治疗中患者摆位的实时验证装置及方法	ZL201710153370.2	3467768	申国盛,李强,陈卫强,姬腾飞,戴中颖,刘新国,马圆圆,贺鹏博,张晖
8	微分同胚 Demons 图像配准方法、系统及存储介质	ZL201910717136.7	4747439	马圆圆,李强,刘新国,戴中颖,张晖,戴天缘
代表性论文目录				
序号	论文名称	期刊名	年卷页码	作者
1	Respiratory motion management using audio-visual biofeedback for respiratory-gated radiotherapy of synchrotron-based pulsed heavy-ion beam delivery	Medical Physics	2014;11:111708	Pengbo He, Qiang Li, Xinguo Liu, Zhongying Dai, Ting Zhao, Tingyan Fu, and Guosheng Shen, Yuanyuan Ma, Qiyan Huang, and Yuanlin Yan
2	Effectiveness of respiratory-gated radiotherapy with audio-visual biofeedback for synchrotron-based scanned heavy-ion beam delivery	Physics in Medicine and Biology	2016;61:8541-8552	Pengbo He, Qiang Li, Ting Zhao, Xinguo Liu, Zhongying Dai, Yuanyuan Ma
3	Perturbation analysis of 4D dose distribution for scanned carbon-ion beam radiotherapy	Physica Medica	2020;74:74-82	Pengbo He, Shinichiro Mori

4	Spot-scanning beam delivery with laterally- and longitudinally-mixed spot size pencil beams in heavy ion radiotherapy	CHINESE PHYSICS C	2017;41:098201	Yan Yuan-Lin, Liu Xin-Guo, Dai Zhong-Ying, Ma Yuan-Yuan, He Peng-Bo, Shen Guo-Sheng, Ji Teng-Fei, Zhang Hui, Li Qiang
5	Nanodosimetric quantities and RBE of a clinically relevant carbon-ion beam	Medical Physics	2020; 47:772-780	Tianyuan Dai, Qiang Li, Xinguo Liu, Zhongying Dai, Pengbo He, Yuanyuan Ma, Guosheng Shen, Weiqiang Chen, Hui Zhang, Qianqian Meng, and Xiaofang Zhang
6	Deep learning-based internal gross target volume definition in 4D CT images of lung cancer patients	Medical Physics	2023;50:2303-2316	Yuanyuan Ma, Jingfang Mao, Xinguo Liu, Zhongying Dai, Hui Zhang, Xinyang Zhang, Qiang Li
7	A novel pencil beam model for carbon-ion dose calculation derived from Monte Carlo simulations	PHYSICA MEDICA-EUROPEAN JOURNAL OF MEDICAL PHYSICS	2018;55:15-24	Zhang Hui, Dai Zhongying, Liu Xinguo, Chen Weiqiang, Ma Yuanyuan, He Pengbo, Dai Tianyuan, Shen Guosheng, Yuan Ping, Li Qiang
8	Evaluation of mesh- and binary-based contour propagation methods in 4D thoracic radiotherapy treatments using patient 4D CT images	Physica Medica	2017;36:46-53	Yuanyuan Ma, Xinguo Liu, Zhongying Dai, Pengbo He, Yuanlin Yan, Guosheng Shen, Ping Yuan, Qiang Li
9	Validation and testing of a novel pencil beam model derived from Monte Carlo simulations in carbon-ion treatment planning for different scenarios	Physica Medica	2022;99:1-9	Hui Zhang, Qiang Li, Xinguo Liu, Yuanyuan Ma, Pengbo He, Guosheng Shen, Zheng Li, Weiqiang Chen, Ruijun Niu, Zhongying Dai, Guoqing Xiao
10	Artificial Intelligence Radiotherapy Planning: Automatic Segmentation of Human Organs in CT Images Based on a Modified Convolutional Neural Network	Frontiers in Public Health	2022;10:813135	Guosheng Shen, Xiaodong Jin, Chao Sun, Qiang Li
11	Nanodosimetric understanding to the dependence of the relationship between dose-averaged lineal energy on nanoscale and LET on ion species	Physical and Engineering Sciences in Medicine	2020;43:239-246	Tianyuan Dai, Hui Zhang, Xinguo Liu, Zhongying Dai, Pengbo He, Yuanyuan Ma, Guosheng Shen, Weiqiang Chen, Qiang Li

12	Motion management with variable cycle-based respiratory guidance method for carbon-ion pencil beam scanning treatment	Physica Medica	2021;87:99-105	Pengbo He, Qiang Li
13	Effect of respiratory guidance on internal/external respiratory motion correlation for synchrotron-based pulsed heavy-ion radiotherapy	Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine	2018;41:713-720	Pengbo He, Qiang Li, Guoqing Xiao, Xiaohu Wang, Shuigen Ouyang, Ruifeng Liu
14	Impact of different synchrotron flattop operation modes on 4D dosimetric uncertainties for scanned carbon-ion beam delivery	Frontiers in Oncology	2022;12: 806742	Pengbo He, Qiang Li
15	Target Motion Compensation by Means of Adjustable Heavy-Ion Beam Slow Extraction: Simulations	International Journal of Particle Therapy	2015;1:884-898	Pengbo He, Qiang Li
16	离子束治疗中的靶区运动补偿方法	原子核物理评论	2013; 30:174-183	贺鹏博, 李强
17	Experimental measurement of the correlation between CT number and heavy ion range	Chinese Physics C	2012; 36:954-957	HE Peng-Bo(贺鹏博), LI Qiang(李强), LIU Xin-Guo(刘新国), YE Fei(叶飞), DAI Zhong-Ying(戴中颖)
18	DR-only Carbon-ion radiotherapy treatment planning via deep learning	Physica Medica	2022;100:120-128	Xinyang Zhang, Pengbo He, Yazhou Li, Xinguo Liu, Yuanyuan Ma, Guosheng Shen, Zhongying Dai, Hui Zhang, Weiqiang Chen, Qiang Li

推荐意见

本项目为核科学技术与生命健康领域的交叉研究，紧密结合国家科技发展战略需求，充分利用国家实验室的先进平台和中国科学院近代物理研究所自主研发的碳离子治疗系统，深入探索并研发了多项针对运动肿瘤靶区的重离子放射治疗创新技术，从基于 AI 的实时 3D 影像智能重建、离子束呼吸同步照射、基于射程的肿瘤内靶区生成、以及 4D 剂量计算和优化等方面，为运动肿瘤靶区重离子放射治疗建立了一套完整的解决方案，大幅提升了重离子放射治疗的精度、效率、安全性和有效性。项目研究成果不仅可以应用于重离子精准放疗中，还可以应用于质子和传统光子放疗、以及影像诊断领域，达到提高治疗效率和精度的目的，具有较高的科研价值、良好的社会效益和广阔的市场应用前景。

该项目选题新颖,瞄准离子束放射治疗中的难点问题,方案设计科学合理,研究方法和手段先进,创新研究成果丰硕,临床应用价值突出,可大力促进我国离子束精准放疗事业的发展,并为传统放射治疗提供新思路和新方法。