

“重离子治疗设备给人的感觉很舒服，昨天放疗我感觉安逸得都能睡着了。”在福建医科大学附属协和医院妈祖院区，一名脸部肿瘤患者完成两次重离子治疗后，给医生发微信描述自己的治疗感受——患处的疼痛感已明显减轻，不再吃止痛药。

这份让患者感到“安逸”的治疗体验，背后是近年来核物理技术在肿瘤放疗领域的最新应用：重离子治疗。

什么是重离子？它破坏肿瘤细胞的原理是什么？临床应用过程中有哪些技术要领？哪些患者适用？近日，记者走访了福建医科大学附属协和医院妈祖院区重离子医学中心，对医护人员、技术人员和患者家属进行了采访。

### 科技突破 疗法上新

重离子指的是元素周期表中比氦原子质量更重的原子失去部分或全部电子后形成的带电粒子，如碳、铁、氖、锂离子等。它们以超高速飞行形成的重离子射线，在农业上可以诱发种子基因突变，用于育种；在工业中用于制作有选择透过的核孔膜，用于灭菌、渗透、电池制造等场景。

在医学领域，重离子治疗技术已在多个国家进入肿瘤临床治疗。近10年来，我国上海、武威、兰州、杭州、莆田等城市也陆续建立了重离子中心并投入临床运行。其原理是将碳离子在加速器中加速至光速的约70%后进入人体组织，在抵达肿瘤深度时通过“布拉格峰效应”集中释放能量，不仅可以精准打击癌细胞，还更好地保护了肿瘤周围的正常组织。

2025年4月20日，福建医科大学附属协和医院妈祖院区（下文简称“协和妈祖院区”）重离子医学中心正式启用，位于地下一层的重离子治疗装置开始24小时待机，日夜不息。

福建医科大学附属协和医院副院长、放疗科主任医师徐本华介绍，和其他常用的放疗射线相比，重离子安全系数更高，疗效更优，周期更短，患者治疗体验更为舒适。理论上，该技术可用于大部分实体恶性肿瘤，包括头颈部肿瘤、胸腹部肿瘤、盆腔肿瘤以及骨和软组织肿瘤等，对于常规射线不敏感以及常规射线治疗复发的实体瘤优势更加显著。

“重离子放疗作为局部治疗手段，对于中早期患者而言治疗性价比最高。”徐本华说。

重离子放疗技术的上述优势从何而来？

徐本华解释道，由于重离子既有质量，又有速度，还带电荷，所以它的生物学效应（RBE）是光子和质子的2—3倍，线性能量



光子和粒子（包含电子、质子和重离子）治疗的辐射量差异示意图。重离子等粒子具有“布拉格峰”物理效应，能够在肿瘤靶区集中释放能量。  
受访者供图

### 中国气象局推出中阿气象合作举措

本报北京电（记者李红梅）记者从中国气象局获悉：在第七届中国—阿拉伯国家博览会上，中国气象局推出三项中阿气象科技深化合作举措，包括与阿联酋国家气象局筹备建设气象卫星数据应用中心、与约旦等国家气象部门联合开展“妈祖（MAZU）”早期预警系统研发计划、与埃及气象局联合开发气象人工智能模型计划等。

面向阿联酋气象卫星遥感应用能力建设需求，中国气象局和阿联酋国家气象局将围绕数据共享框架搭建、遥感应用技术路径规划、人才联合培养等三大重点，联合建

设气象卫星数据应用中心。今年4月，中阿双方签署气象卫星合作纪要，为该中心的筹备建设奠定了坚实基础。

目前，风云气象卫星数据平台已接入17个阿拉伯国家；“妈祖（MAZU）”早期预警系统联合研发计划将根据约旦等国相关需求，合作研发适配当地的早期预警系统，以及可定制、易部署、可持续的一揽子解决方案；中国气象局将发挥在人工智能技术方面的优势，与埃及气象局联合开展AI驱动气象模型的研发和应用，提高灾害性天气预报预警能力，促进人工智能技术在阿拉伯地区气象领域的发展和应用。

### 科技瞭望

## 肿瘤放疗技术上新

本报记者  
陈静文

# 走近重离子治疗

### 科技突破 疗法上新



位于福建医科大学附属协和医院妈祖院区重离子医学中心地下一层的重离子治疗装置。

受访者供图

此放射治疗流程中的医生、物理师以及技术人员必须仔细再仔细，确保治疗的准确性及精确性。”

有名1年前接受过光子放疗的宫颈癌患者，近期其他医院复查MRI显示骶髂关节出现异常，诊断为肿瘤骨转移。但徐本华团队的医生通过认真梳理患者病史、症状和体征，发现该处异常不像常见的骨转移表现。经过多学科讨论后最终排除了骨转移，不仅为患者节省了治疗费用，更重要的是避免了放射线所带来的损伤。

#### 动态打靶 精准施治

在协和妈祖院区重离子医学中心地下一层，24小时待机的重离子治疗装置由兰州泰基离子技术有限公司自主研发。该公司总经理石健介绍，这台大型医疗器械里，藏着一项重要的技术创新：单周期变能。

“以前的重离子加速器，每个加速周期（约8秒）内只能提供1个固定能量（射程）的碳离子束，每个周期发射的20亿个碳离子里，最多只有6亿个能作用于肿瘤，其余都会浪费掉。”石健说。而新设备通过单周期变能技术将重离子束引入二次加速环节，“就像汽车换挡提速一样，能让粒子动能飙升”，使得重离子加速器在一个加速周期内能够提供数十至上百个能量（射程）的碳离子束，束流利用率和治疗效率大幅提升。

为确保治疗安全和效果，重离子治疗装置中央控制室内全天候都有专人值守监测。每天清晨6点，工程师上岗，检查和调整设备参数，避免温湿度、电流电压等环境因素影响其精度。随后，放疗科物理师就位，借助电离室、胶片等工具，对患者治疗计划一一进行射线剂量测量，并在每次实施重离子治疗前，使用三维水箱、仿生假人和探测板进行模拟测试，确保每一次照射都精确到0.1毫米，个体化适配患者。

“比起传统光子放疗，重离子治疗带来的放射性损伤小得多。”福建医科大学附属协和医院放疗科副主任、主任医师李小波说，“布拉格峰效应”使得重离子束在进入人体时能

量释放很低，到达肿瘤处才突然能量暴增，集中释放“火力”，可以做到“定点爆破”，从而更好地保护正常组织。

“尽管如此，一旦放射治疗运用不当，依然会给患者带来巨大伤害。”徐本华说，“因

基于这样的成熟技术、先进设备、严格质控，医疗团队通过多学科会诊，凭借丰富经验和高超医术，为每名患者制定‘一人一策’的个性化重离子治疗方案。

重离子入射方向怎么选择？完成“定点爆破”需要多大强度？射线剂量如何分布？“我们物理师的工作，正是把看不见摸不着的射线，用测量工具‘称’出来并且可视化，在医生参与下设计治疗方案。”影像诊断专业出身的李小波说，由于重离子射线具有“布拉格峰效应”，其作用点的能量和几毫米外的能量几乎是1和0的区别，因此设计重离子治疗方案比光子技术复杂得多。

电脑屏幕上，一名80多岁的胰腺癌患者CT图像显示，胰腺位于腹腔中央，不仅紧挨着会蠕动移位的肠管，且患者体内还有多处会让射线衰减的金属高密度影，腹主动脉里植入了金属支架，这些特殊组织都必须在重离子束的“弹道设计”中精准避让。

“规划重离子入射路径，就像调整跷跷板。”李小波解释道，物理师和临床医师必须充分考虑肿瘤三维空间位置，综合评估不同邻近敏感器官的辐射耐受性与并发症风险，避开致使射线能量衰减不确定的解剖结构，在遏制肿瘤和保护正常组织之间找到平衡，同时顾及患者体位舒适度。

李小波介绍，肿瘤细胞是十分狡猾的敌人，要想用重离子这枚精确到亚毫米级的“巡航导弹”实施精准打击，治疗过程中还需用到多种应对技术，才能实现毫厘不差的“动态打靶”：每次治疗前，物理师和定位技工都会给患者佩戴定位模具，然后通过微调治疗床，让当前肿瘤实际位置与初次CT中的影像三维对齐；用“呼吸门控”技术做放疗中的“运动管理”——针对肺部肿瘤等随呼吸移动的靶区，需要抓住呼吸比较平静的窗口期，只在呼吸波幅程度在20%以内时进行照射；每隔几天拍一次CT，根据肿瘤大小、患者体型变化更新方案。

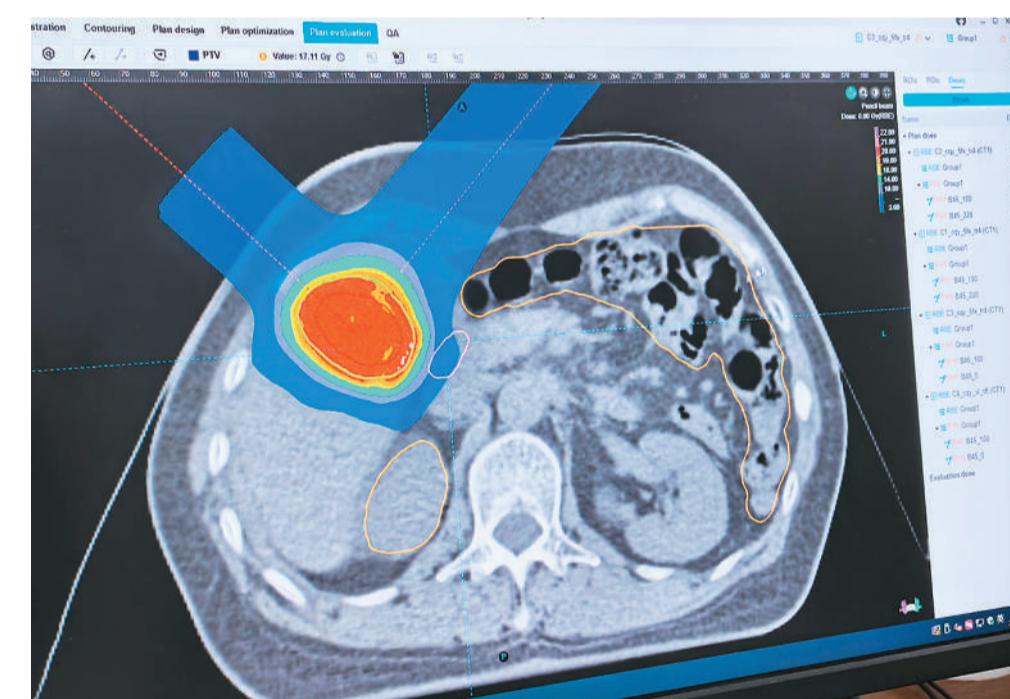
#### 仁心疗愈 创新为民

协和妈祖院区接诊患者中，危重案例不在少数。在重离子医学中心11层的病房区，记者见到了家住福州的患者家属曾先生。曾先生的母亲今年80岁，6月初确诊为中央型肺癌中晚期，同时患有冠心病、心律不齐等多种基础疾病，无法进行开胸手术和化疗。心焦之时，曾先生通过网络了解到重离子技术。“坦白说，当时我心里是有顾虑的。癌症是世界难题，新技术到底可不可靠？”

抱着试一试的心态，他带领母亲来到协和妈祖院区面诊咨询并提供影像学资料。面对患者的复杂情况，放疗科团队联合福建医科大学附属协和医院胸外科、呼吸科、肿瘤内科、影像科等相关科室开展多学科会诊，最终用一周时间完成肿瘤靶区勾画、重离子治疗方案制定和技术验证。

“每次治疗只需要在治疗平台上躺20分钟，过程中没有任何不适，有时还能睡着。”采访当日，曾先生的母亲刚刚完成第13次治疗。接受治疗后，她的呼吸困难明显好转，而且没有出现呕吐、脱发等常规放疗副作用，焦虑心情一下子得到了缓解。更令人惊喜的是，复查时医生告知“治疗需要暂停几天”——不是出了什么问题，而是因为疗效很好，肿瘤已经缩小一半，需要重新划定靶区并调整方案。

病房外，协和妈祖院区放疗科护士长林



图为一名肝癌患者的CT图像，已经应用人工智能方法完成正常器官的识别和勾画，放疗科物理师和医生在此基础上设计重离子治疗方案。据介绍，图中两条±45°虚线是方案中的重离子入射通道。蓝色区域的辐射能量吸收剂量只有3Gy（戈瑞）的生物剂量，且几乎完全避开了黄线内的肠道，对正常组织损伤很小。射线抵达肝部肿瘤靶区后能量增至20Gy，在红色区域内发挥作用，能够有效抑制肿瘤细胞。  
本报记者 陈静文摄

### 海口海关实验室跻身WCO地区海关实验室

本报海口电（记者孙海天）近日，海口海关实验室获世界海关组织（WCO）地区海关实验室认定，成为全国三家WCO地区海关实验室之一，标志着中国海关持续深化多边国际合作、深度参与世界海关组织事务的又一重要举措和成果。

海南拥有优质的气候和生物资源，被生物学家誉为天然的“物种基因库”和最大的“自然博物馆”。地区海关实验室作为世界海关组织重要的地区机构，此次在海南揭牌，将进一步加强海关实验室的国际交流与合作，提升海关实验室的综合能力水平，对促进海南贸易便利与安全、保护生态环境等有重要意义。

据悉，该实验室总面积5.6万平方米，主要分布在海口、三亚，共有8栋实验室大楼。实验室配置各类仪器设备2400余台（套），总价值约4.1亿元，包含多种尖端分析仪器、物理性能测试仪

器、医学与生物科学仪器等，覆盖激光共聚焦显微观测、色谱质谱联用、光谱分析、分子生物学等多领域检测需求。同时，配备十六烷值机、基因测序仪、电感耦合等离子体质谱仪等特色设备，形成多维度技术支撑能力。在热带植物隔离检疫、动物检疫、进口化妆品检测、石油化学品检测等领域有着独特优势。

位于三亚崖州湾科技城月亮岛的综合实验室是其中之一，主要承担海关进出境动植物及其产品动物疫病和植物有害生物检疫鉴定、隔离检疫检测、转基因检测和物种资源鉴定，动植物疫情和外来入侵物种监测评估预警及应急处置技术支持，进出境动植物种质资源保存、繁育等工作。截至今年8月15日，该实验室完成进境油菜籽、高粱、小麦等植物检疫法定检测240批次、1468项次，完成进境种虾等动物检疫法定检测43批

次、15009项次。

此外，实验室在服务海南自贸港建设方面也将发挥重要作用。实验室能检测45大类免税商品，为海关监管和服务自贸港建设提供精准的技术保障，可以为成员海关提供涉税品检测、归类等方面的技术支持。可检测进口冻肉是否携带致病微生物，从而对违反海关监管规定行为提供依据。可通过开展石油化工专业检验检测，为口岸大宗商品专业检验检测提供重要的技术支持。可提供国际旅行卫生保健服务，为有需要的成员海关提供传染病检测和病媒监测技术培训。2020年至今，实验室共参加相关国际组织开展的国际能力验证活动40项，获得中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认可检测项目8270项。

海口海关相关负责人表示，该实验室拥有161人的专业技术团队，已构建起层次分明的人才结构。未来还将在《濒危野生动植物种国际贸易公约》（CITES）履约与生物多样性保护、国际旅行卫生保健工作等方面发挥重要作用。

### 全国五十余家医疗机构可开展重离子质子治疗

根据国家卫生健康委员会2019—2025年发布的甲类大型医用设备配置许可名单，截至2025年3月，全国获批开展重离子质子治疗的医疗机构已达54家，其中重离子治疗12家，质子治疗42家，覆盖全国28个省（区、市）。

6月9日，国家卫生健康委员会办公厅发布通知，2025年计划许可重离子质子治疗系统11台，其中，专门用于社会办医3台，天津、江苏、安徽、广东、西藏、青海、宁夏、新疆各1台。

2019年，甘肃省武威肿瘤医院重离子中心装配了我国首台拥有自主知识产权的医用重离子治疗肿瘤装置。该项目的成功建设，使我国成为全球第四个拥有自主研发重离子治疗系统和临床应用能力的国家，打破了美国、德国、日本多年来的重离子技术垄断。

开诊5年来，武威重离子中心累计完成了2000多名患者治疗，解决了肿瘤重离子临床治疗中的多项技术难题，建立了完整的技术细则和标准化操作流程。

“国产放疗装备的创新，不仅要解决‘卡脖子’技术难题，更要让老百姓用得起、用得好。”日前，在第六届医学物理促进医疗器械行业发展研讨会上，中国工程院院士、重离子加速器物理及工程专家夏佳文介绍了国产超小型重离子治疗装置，将治疗效率提升至单次4秒，治疗费用有望降至10万元左右。

夏佳文认为，当重离子治疗进入“4秒时代”，当尖端放疗费用从百万级降至十万级，意味着中国医疗装备不仅实现技术自立，更在重塑全球癌症治疗的公平格局方面发挥重要作用。

（综合人民日报健康客户端记者董颖颖、谭琪欣，本报记者陈静文）