技术创新与设备研发

中国工程院院士、上海光源科学中心主任赵振堂：

质子与氦离子一体化装置探索粒子治疗新路径



赵振堂

鉴于氦离子在物理剂量分布和放射生物学效应方面的优良特性，质子与氦离子结合的一体机近年来成为了一条值得发展的技术路线，受到广泛的关注和重视。如果能够在与现有质子治疗装置相近的规模内，实现性能优化的质子和氦离子治疗，有望为粒子治疗装置提供一种新的技术选择。

围绕这一设想，上海光源研发团队已开展装置设计和关键技术验证。相关工作涉及离子源、注入器、加速器、磁铁系统、扫描技术及治疗等多个环节。其中，注入器关键部件已取得阶段性进展，扫描磁铁等设备也已完成硬件研发和相关验证。团队还在研究超导磁铁、新型材料及不同旋转机架结构，希望在保证装置性能的同时，进一步缩小装置设备体积、减轻旋转机架重量。

除质子和碳离子，氦离子也可以成为未来布局时考虑的选项。质子与氦离子一体化装置若能实现预期性能，有望在不显著增加装置规模和投入的前提下拓展粒子治疗的技术选择。从国产质子治疗装置的自主研制，到质子与氦离子一体化装置的探索，设备研发不仅需要关键技术突破，更需要临床专家持续提出需求、参与技术路线论证，让装备创新真正服务于临床治疗。

中国医学科学院肿瘤医院研究员张红志：

精准剂量与患者获益应成为粒子治疗优势



张红志

粒子治疗区别于常规光子放疗的重要特点，在于其具有布拉格峰效应。通过选择合适的粒子能量，可以使较高剂量集中在肿瘤所在位置，减少对沿途及肿瘤后面正常组织的照射。因此，临床应用的关键是如何准确选择能量、制订治疗计划，使肿瘤获得足够剂量，同时保护周围正常组织和重要器官。

这一目标的实现并不简单。深部肿瘤治疗需要考虑粒子射程的不确定性、器官运动以及治疗定位误差等因素。即使理论上能够将剂量集中于肿瘤，也必须通过精准定位、体位固定和治疗计划优化，尽可能降低实际照射中的偏差。

粒子治疗中心的建设，必须以成熟的临床能力为前提。设备购置并不意味着治疗能力自然形成。医生需要具备丰富的放射治疗经验，不仅具有常规光子放疗经验，也能逐步熟练开展复杂的粒子治疗；医学物理师团队则要具备治疗计划设计、剂量验证和设备质量控制能力；治疗技师需要掌握规范的治疗实施流程。此外，医生开具治疗处方后，团队必须能够验证设备是否准确执行治疗计划，确保实际照射剂量与计划要求相符。

中国科学院近代物理研究所研究员李强：

人工智能赋能重离子治疗



李强

从现阶段的发展情况看，治疗计划的设计、优化与验证，是人工智能在重离子治疗中较为成熟也更值得优先推进的方向。重离子治疗对治疗计划的准确性和实施效率有较高要求，人工智能有望在相关环节发挥作用，提高治疗效率和精准度。

人工智能应用于临床，安全性验证是不可缺少的一环。算法预测结果与实际剂量分布之间是否一致，需要通过物理验证加以评估。

自适应放疗也是人工智能值得重点探索的方向。重离子治疗涉及影像获取、治疗计划设计、剂量验证和治疗实施等多个环节，自适应治疗需要在较短时间内完成相关流程，对效率提出了更高要求。尤其是重离子治疗具有较为明显的生物学效应，分次治疗过程中，患者体内解剖结构可能发生变化，因此对治疗方案动态调整的需求更加迫切。

下一步研究中，治疗计划设计、优化与验证仍应作为优先开展多中心临床验证的方向。

合肥离子医学中心首席医学物理师卢晓明：

质子治疗创新应兼顾计划优化与运行效率



卢晓明

弧形照射技术是值得重点推进的方向。实现质子弧形照射，需要解决机械运动、束流控制、能量切换、治疗计划系统和整体系统控制等多方面的技术问题。对于采用旋转坐姿治疗椅子等方式实现弧形照射的技术路径，部分系统改造可能相对简化，但仍需要治疗计划、机械控制和束流控制等环节共同配合。

弧形照射并不意味着在所有肿瘤类型中都具有优势。不同器官对正常组织受照剂量的耐受不同，治疗技术的选择也应有所区别。因此，弧形照射是否适用，需要结合肿瘤部位、周围器官特点和剂量分布综合判断，不能将某一种技术路径视为适用于所有患者的最佳方案。

设备运行可靠并不等于每一位患者都能获得最优治疗计划。一些新建质子治疗中心的医生和医学物理师由光子治疗领域转入，在熟悉质子技术的初期，容易将“质子计划优于光子计划”作为评价标准，却忽略了质子治疗计划仍有进一步优化的空间。质子治疗计划涉及多个可调参数，系统复杂程度较高。

为此，医学物理团队需要不断积累经验，结合设备特点和患者具体情况，反复研究和优化治疗计划。