

DOI:10.3969/j.issn.1005-202X.2024.04.001

专家共识

中国医学物理学学科的建设与探索专家共识

殷芳芳¹, 杨振宇¹, 蔡璟², 柏森³, 陈敏斌⁴, 陈明⁵, 陈牧⁶, 戴安伟⁷, 单国平⁸, 邓小武⁵, 葛云⁹, 耿建华¹⁰, 耿立升¹¹, 胡春洪¹², 胡鹏^{13,14}, 胡伟刚¹⁵, 黄晓延⁵, 蒋承峰¹⁶, 金献测¹⁷, 黎田², 李左峰¹⁸, 刘蔓居¹, 卢晓明¹⁹, 倪昕晔²⁰, 潘玉藤²¹, 秦颂兵²², 秦文健²³, 邱杰²⁴, 全红²⁵, 沈定刚^{13,26}, 王大江²⁷, 王辉东²⁸, 王建良²⁹, 王理³⁰, 王石³¹, 王为³², 温宁³³, 吴锦昌³⁴, 杨益东³⁵, 姚毅³⁶, 尹勇³⁷, 于金明³⁷, 俞家华³⁸, 张红志³⁹, 张雷¹, 张艺宝⁴⁰, 赵维¹¹, 赵旭娜⁴¹, 郑志鸿⁴², 周超⁴³, 周光明³⁸, 周凌宏⁴⁴, 卓维海⁴⁵, 朱玉春¹⁶

1. 昆山杜克大学医学物理研究生项目, 江苏 昆山 215316; 2. 香港理工大学智能可穿戴系统研究院, 香港 999077; 3. 四川大学华西医院放疗科, 四川 成都 610041; 4. 昆山市第一人民医院肿瘤科, 江苏 昆山 215300; 5. 中山大学肿瘤防治中心, 广东 广州 510060; 6. 上海大骋医疗科技有限公司, 上海 200082; 7. 昆山市中医医院肿瘤科, 江苏 昆山 215300; 8. 浙江省肿瘤医院放射物理科, 浙江 杭州 310005; 9. 南京大学电子科学与工程学院, 江苏 南京 210008; 10. 中国医学科学院肿瘤医院核医学科, 北京 100021; 11. 北京航空航天大学物理学院, 北京 100191; 12. 苏州大学附属第一医院放射科, 江苏 苏州 215006; 13. 上海科技大学生物医学工程学院, 上海 201210; 14. 上海联影高新技术研究院有限公司, 上海 201807; 15. 复旦大学附属肿瘤医院放射治疗中心, 上海 200032; 16. 昆山市第一人民医院核医学科, 江苏 昆山 215300; 17. 温州医科大学附属第一医院放疗中心, 浙江 温州 325015; 18. 广州泰和质子中心, 广东 广州 510399; 19. 合肥离子医学中心, 安徽 合肥 230088; 20. 南京医科大学附属常州第二人民医院放疗科, 江苏 常州 213003; 21. 山东第一医科大学放射学院, 山东 泰安 271016; 22. 苏州大学附属第一医院放疗科, 江苏 苏州 215006; 23. 中国科学院深圳先进技术研究院, 广东 深圳 518055; 24. 北京协和医院放疗科, 北京 100730; 25. 武汉大学物理科学与技术学院, 湖北 武汉 430072; 26. 上海联影智能医疗科技有限公司, 上海 200232; 27. 杭州医学院医学影像学院, 浙江 杭州 310059; 28. 吉林大学第一医院放疗科, 吉林 长春 130061; 29. 昆山市第一人民医院放射科, 江苏 昆山 215300; 30. 上海联影医疗科技股份有限公司, 上海 201807; 31. 清华大学工程物理系, 北京 100084; 32. 中山大学中法核工程与技术学院, 广东 珠海 519085; 33. 上海交通大学医学院附属瑞金医院放射科, 上海 200025; 34. 苏州市立医院放疗科, 江苏 苏州 215001; 35. 中国科学技术大学物理学院, 安徽 合肥 230026; 36. 苏州雷泰医疗科技有限公司, 江苏 苏州 215125; 37. 山东省肿瘤医院放疗科, 山东 济南 250117; 38. 苏州大学医学部放射医学与防护学院, 江苏 苏州 215006; 39. 中国医学科学院, 北京 100021; 40. 北京大学肿瘤医院放射治疗科, 北京 100142; 41. 瓦里安医疗设备有限公司, 北京 100176; 42. 迈胜医疗设备有限公司, 江苏 昆山 215300; 43. 南华大学核科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 44. 南方医科大学生物医学工程学院, 广东 广州 510515; 45. 复旦大学放射医学研究所, 上海 200032

【摘要】本共识围绕医学物理学学科的教育现状、专业方向建设、课程设计、实习要求及研究生毕业标准等方面探讨了中国医学物理学学科的建设与发展,以应对社会对健康与医疗服务需求的增长及医疗设备国产化的挑战。目前,中国医学物理教育面临教育途径多样性、课程设计差异性、师资短缺等问题,在此,讨论了整合国际经验,构建全面、规范化的医学物理学体系的策略,体系涵盖放射治疗物理、医学影像物理、核医学物理、放射防护物理、放射生物物理及放射工程物理等方向,并强调人工智能技术的融合,以提高诊疗的准确性和效率。此外,还探讨了医学物理研究生教育的改进,包括师资和教学环境建设、专业课程设置等;还需建立教学质量评估机构,确保教育内容与国际标准一致,反馈学生和雇主的需求。本共识提倡全面提升医学物理学学科的规模和影响力,提升教育质量和专业水平,实现教育的精细化和精英化,并加强国内外合作,以期达到国际先进水平,支撑“健康中国2030”政策目标。

【关键词】医学物理;学科建设;教育体系;临床应用;国际合作

【中图分类号】R312

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2024)04-0397-07

Expert consensus on the construction and exploration of medical physics discipline in China

YIN Fang-Fang¹, YANG Zhenyu¹, CAI Jing², BAI Sen³, CHEN Minbin⁴, CHEN Ming⁵, CHEN Mu⁶, DAI Anwei⁷, SHAN Guoping⁸, DENG Xiaowu⁵, GE Yun⁹, GENG Jianhua¹⁰, GENG Lisheng¹¹, HU Chunhong¹², HU Peng^{13,14}, HU Weigang¹⁵, HUANG Xiaoyan⁵

【收稿日期】2024-01-23

【基金项目】昆山市政府科研基金(23KKSGR016)

【作者简介】殷芳芳,博士,教授,医学物理项目主任,研究方向:医学影像物理、放疗物理、核医学物理、人工智能应用, E-mail: fangfang.yin@duke.edu

JIANG Chengfeng¹⁶, JIN Xiance¹⁷, LI Tian², LI Zuofeng¹⁸, LIU Manju¹, LU Xiaoming¹⁹, NI Xinye²⁰, PAN Yuteng²¹, QIN Songbing²², QIN Wenjian²³, QIU Jie²⁴, QUAN Hong²⁵, SHEN Dinggang^{13,26}, WANG Dajiang²⁷, WANG Huidong²⁸, WANG Jianliang²⁹, WANG Li³⁰, WANG Shi³¹, WANG Wei³², WEN Ning³³, WU Jinchang³⁴, YANG Yidong³⁵, YAO Yi³⁶, YIN Yong³⁷, YU Jinming³⁷, YU Jiahua³⁸, ZHANG Hongzhi³⁹, ZHANG Lei¹, ZHANG Yibao⁴⁰, ZHAO Wei¹¹, ZHAO Xuna⁴¹, ZHENG Zhihong⁴², ZHOU Chao⁴³, ZHOU Guangming³⁸, ZHOU Linghong⁴⁴, ZHUO Weihai⁴⁵, ZHU Yuchun¹⁶

1. Medical Physics Graduate Program, Duke Kunshan University, Kunshan 215316, China; 2. Research Institute for Intelligent Wearable Systems, the Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong 999077, China; 3. Department of Radiotherapy, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, China; 4. Department of Oncology, the First People's Hospital of Kunshan, Kunshan 215300, China; 5. Sun Yat-sen University Cancer Center, Guangzhou 510060, China; 6. Shanghai Dacheng Medical Technology, Shanghai 200082, China; 7. Department of Oncology, Kunshan Hospital of Chinese Medicine, Kunshan 215300, China; 8. Department of Radiation Physics, Zhejiang Cancer Hospital, Hangzhou 310005, China; 9. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210008, China; 10. Department of Nuclear Medicine, Cancer Hospital Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100021, China; 11. School of Physics, Beihang University, Beijing 100191, China; 12. Department of Radiology, the First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215006, China; 13. School of Biomedical Engineering, ShanghaiTech University, Shanghai 201210, China; 14. United Imaging Central Research Institute, Shanghai 201807, China; 15. Radiation Therapy Center, Cancer Hospital, Fudan University, Shanghai 200032, China; 16. Department of Nuclear Medicine, the First People's Hospital of Kunshan, Kunshan 215300, China; 17. Radiotherapy Center, the First Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325015, China; 18. Guangzhou Concord Cancer Center, Guangzhou 510399, China; 19. Hefei Ion Medical Center, Hefei 230088, China; 20. Department of Radiation Oncology, Changzhou No.2 People's Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Changzhou 213003, China; 21. School of Radiology, Shandong First Medical University, Tai'an 271016, China; 22. Department of Radiation Therapy, the First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215006, China; 23. Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenzhen 518055, China; 24. Department of Radiation Therapy, Peking Union Medical College Hospital, Beijing 100730, China; 25. School of Physical Science and Technology, Wuhan University, Wuhan 430072, China; 26. Shanghai United Imaging Intelligence Co., Ltd., Shanghai 200232, China; 27. School of Medical Imaging, Hangzhou Medical College, Hangzhou 310059, China; 28. Department of Radiotherapy, the First Hospital of Jilin University, Changchun 130061, China; 29. Department of Radiology, the First People's Hospital of Kunshan, Kunshan 215300, China; 30. Shanghai United Imaging Healthcare Co., Ltd., Shanghai 201807, China; 31. Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 32. Sino-French Institute of Nuclear Engineering and Technology, Sun Yat-sen University, Zhuhai 519085, China; 33. Department of Radiology, Ruijin Hospital, Shanghai Jiaotong University School of Medicine, Shanghai 200025, China; 34. Department of Radiation Therapy, Suzhou Municipal Hospital, Suzhou 215001, China; 35. School of Physical Sciences, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China; 36. Suzhou LinaTech Medical Science and Technology Co., Ltd., Suzhou 215125, China; 37. Department of Radiation Oncology, Shandong Cancer Hospital, Ji'nan 250117, China; 38. School of Radiological Medicine and Protection, Medical College of Soochow University, Suzhou 215006, China; 39. Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100021, China; 40. Department of Radiation Oncology, Peking University Cancer Hospital, Beijing 100142, China; 41. Varian Medical Systems, Beijing 100176, China; 42. Mevion Medical Systems, Kunshan 215300, China; 43. School of Nuclear Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China; 44. School of Biomedical Engineering, Southern Medical University, Guangzhou 510515, China; 45. Institute of Radiation Medicine, Fudan University, Shanghai 200032, China

Abstract: The consensus explores the construction and development of the medical physics discipline in China from various aspects such as medical physics education status, professional direction construction, curriculum design, internship requirements and graduation criteria for postgraduates, aiming to address the growing social demands for health and medical services and the challenges of medical equipment localization. Given the problems that medical physics education in China faces at present, such as diversity in educative approaches, variability in curriculum design, and shortage of qualified teachers, the consensus discusses strategies for integrating international experiences and constructing a comprehensive and standardized disciplinary system which encompasses domains such as radiation therapy physics, medical imaging physics, nuclear medicine physics, radiation protection physics, radiation biology physics, and radiation engineering physics. Moreover, it emphasizes the integration of artificial intelligence technologies for enhancing the accuracy and efficiency of diagnosis and treatment. Discussions also cover the improvements in postgraduate education, involving faculty and teaching environment construction and courses setup. In addition, a teaching quality assessment institution is recommended to ensure that the educational content aligns with international standards and meet the demands of students and employers. The

consensus advocates for a comprehensive enhancement of the scale and impact of the medical physics discipline, improvement in educational quality and professional levels, realization of refined and elite education, and domestic and international cooperation, expecting to reach advanced international level and support "Healthy China 2030" policy.

Keywords: medical physics; discipline construction; educational system; clinical application; international cooperation

前言

随着中国社会及公众对健康与医疗服务需求的持续增长,各类尖端放射诊断、放射治疗、核医学和介入放射学等诊疗设备迅速融入我国医疗体系,其配置规模和档次水平等方面的发展呈现出迅猛态势^[1-3]。同时,医疗设备的系统开发和临床应用正趋向规范化、智能化、标准化、统一化以及网络化。为减少对进口的依赖和社会经济负担,高端医疗设备相关产业的自主研发和国产替代需求亦逐渐增长^[4-7]。

医学物理学科集物理学、数学、医学、生命科学、计算机和工程学等多学科的前沿研究成果和方法论,是支撑放射诊断^[8-9]、放射治疗^[10-11]、介入放射学^[12-13]、核医学^[14-15]等临床应用的重要交叉学科。作为全球范围内拥有丰富科研成果与重要临床应用的新兴学科,医学物理在推动医疗科技进步和提升人民生命健康方面发挥着不可或缺的作用^[16-24]。国务院发布的《“健康中国2030”规划纲要》设定了明确的健康目标,包括到2030年,中国的总体癌症5年生存率达46.6%以上^[25]。这一目标不仅反映中国提升癌症治疗效果的承诺,也强调了对提升放射诊疗设备及相关医学物理人才的需求。然而,中国医学物理学科仍处于发展和探索的初期阶段。首先,中国医学物理学科尚未形成一个全面的、标准化和规范化的学科体系,这不仅影响高质量专业人才的培养,也对国际交流产生不利影响。其次,临床应用缺乏全面、系统化的设备质量评估与控制体系,这不仅阻碍中国医学物理在临床上的高质量发展以及对国际先进诊疗设备研发能力的引进和吸收,也限制了放射诊疗装备的自主创新和独立研发。相较之下,北美和其他发达国家在医学物理学科的发展上已取得显著成就,这些国家在放射诊断、放射治疗及核医学等领域拥有成熟的研究基础和丰富的临床应用经验。在美国,医学物理学科不仅从业人数众多,还成功整合进医疗保健体系,并获得广泛学术认可^[21-24]。据统计,中国每年新诊断的肿瘤患者约450万,而美国约160万;但中国的医学物理师不足5000人(2019年统计数据)^[1-3],而美国保守估计超过8500人(2017年统计数据)^[26]。这些国家在医学物理人才培养、科研基础设施建设以及跨学科合作方面的经验为中国医学

物理的发展提供了宝贵参考。借鉴这些国家的成功模式,不仅能加速中国医学物理学科的成熟发展,还能促进医疗科技创新,提高公共卫生水平。

2023年12月8日,首届全国医学物理学科建设峰会暨第三届国际医学物理教育论坛在昆山杜克大学顺利举办,旨在为医学物理行业专家提供一个交流和探讨医学物理教育和学科建设的平台。来自全国产学研医多个单位的专家一致认为:目前迫切需要构建一个全面的、高度规范化的医学物理学科体系,并进一步推动该学科体系在临床应用、技术研发与人才培养等方面取得突破。该学科体系不仅要融合国际前沿的科研成果与教学经验,还应考虑中国特有的社会、文化和经济环境,以构建既具中国特色又具有国际前瞻性的医学物理学科。

1 目标和愿景

旨在提出医学物理学科的总体内容及其教学要求,并形成一套既全面又具有前瞻性的教学大纲与课程体系;与此同时,计划构建一整套完善的质量评估方案,全面涵盖教学、科研及临床应用质量的多个方面。图1的3个内圆代表物理、数学、化学、工程、计算机、人工智能(AI)、医学、生命科学等学科领域,外圆表示医学物理是综合这些领域的集科研临床产业应用的交叉学科;医学物理学科拟覆盖的6个专业方向,包括放射治疗物理、医学影像物理、核医学物理、放射生物物理、放射防护物理以及放射工程物理,这样的学科架构在世界范围内尚属首次提出,不仅考虑了中国的特殊需求,同时也融合了国际前沿的思维方式。通过加强医学物理学科的建设,为中国的医疗卫生事业和医疗设备产业发展奠定坚实基础,支撑国务院提出的“健康中国2030”政策目标的实施。产学研医管各界的协同参与是推动医学物理学科快速发展的关键,也是直接提升广大人民群众生命健康和生活质量的重要途径。

2 学科建设

2.1 中国医学物理教育的现状

近期多项有关中国医学物理教育现状的回顾性综述揭示了医学物理教育面临的若干关键问题^[2-6],主要包括(1)教育途径的多样性:医学物理教育涵盖从本科到研究生各个阶段,展现了学历层面的多样。

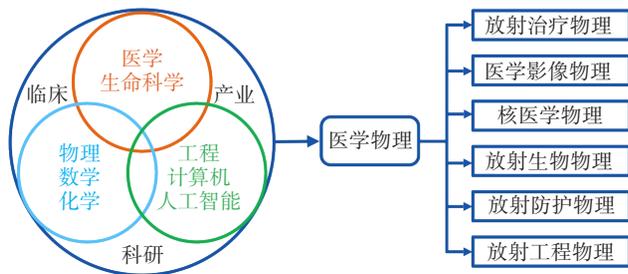


图1 学科架构
Figure 1 Discipline architecture

(2)课程设计的差异性:不同教育机构间医学物理的课程设计存在明显差异,这可能影响学生获得的教育质量和知识深度。(3)教育周期的不一致性:目前缺乏一个统一的学制标准,导致教育周期在不同高校之间不一。(4)基础课程设置的缺乏:目前尚无普遍接受的基础课程设置指南,影响教育质量的一致性和连贯性。(5)师资短缺:医学物理领域的师资严重短缺,进一步加剧教育质量的不稳定和资源分布的不平衡。(6)大型医院与小型医院医学物理发展的差异:大型医院与小型医院在医学物理发展方面存在显著差异,尤其是在基层医院,由于吸引力较差,经常面临物理师缺乏的问题,这种差异不仅体现在资源配置上,还体现在专业人才的培养和技术支持方面。(7)教育项目的设置分歧:医学物理教育项目在不同学校之间的设置存在分歧,如有的设在物理学院(系),有的设在生物医学工程学院(系),有的则位于医学院(系、部)。(8)物理师需求的局限性:过往讨论主要集中在放疗物理师的需求上,而忽视了医学影像物理、核医学物理、放射防护物理、放射生物物理以及放射工程物理等其他领域对专业人才的迫切需求。

鉴于上述问题,学者们提出把医学物理纳入交叉学科的范畴。结合国际经验及学科最新进展,将医学物理教育初步划分为6个主要专业方向,并在后续发展中根据新兴方向的出现进一步进行调整和扩展,拟通过这种方式弥补现有教育体系的不足,促进医学物理学学科的发展,从而适应快速变化的医疗科技发展和社会需求。

2.2 医学物理学学科建设专业方向

2.2.1 放射治疗物理 放射治疗是癌症治疗有效的方法之一,使用放射线杀死癌细胞。放射治疗物理学研究如何有效利用不同的放射源来最佳治疗各种癌症。教学内容主要包括(1)基础物理概念:原子和分子结构、电磁波以及放射性物质相互作用的基本理论。(2)放射源和放射性衰变:不同类型的放射源(如X射线、 γ 射线、电子线、质子、碳离子等)。(3)剂量学

与剂量分布:放射性物质释放能量的剂量以及在人体组织中分布等。(4)治疗设备工作原理。(5)治疗评估标准:如剂量评估参数、临床结果参数等。(6)临床试验:基本的临床试验设计概念、临床试验阶段、生物统计学基础等。(7)放射治疗中的影像引导。(8)运动管理技术。(9)近距离治疗(低剂量率、高剂量率)。(10)特殊放疗技术(如全身放射治疗、全皮肤放射治疗)。(11)质量保证与安全性。(12)实验和实践操作。(13)临床案例研究分析。

2.2.2 医学影像物理 影像物理学研究各种影像方式的基本原理,以生成高质量的患者解剖和功能信息。教学内容主要包括(1)基础影像物理概念:影像原理、影像分析和影像操作。(2)影像模式与技术:深入解析多种医学影像形式,如X射线、超声、磁共振成像(MRI)、正电子发射断层扫描(PET)、单光子发射计算机断层扫描(SPECT)等及其在临床中的使用。(3)影像质量的测量与评估。(4)影像过程中剂量学与剂量分布。(5)影像解读与诊断,包括影像图像的标准化和解读。(6)影像获取、处理和存储过程中的质量控制,包括医学图像的数字化、三维重建和影像后处理等。(7)实验与操作训练。(8)远程医疗与影像存档和传输系统。(9)观察者研究。(10)计算机辅助诊断的方法论。(11)临床案例研究分析。

2.2.3 核医学物理 核医学物理使用放射性核素进行诊断或治疗。教学内容主要包括(1)基础物理概念:涵盖放射性同位素的基础知识、原子核结构、核反应以及放射性物质相互作用的基本理论。(2)放射性核素与药物:放射性核素制备、各类放射性核素和放射性药物在诊断和治疗中的应用以及核医学用于精准靶向治疗。(3)核医学成像:涵盖包括SPECT、PET等核医学成像技术。(4)核医学治疗:内照射剂量及治疗计划。(5)核医学实验和临床操作中的质量控制与安全性:成像设备的质量控制、仪器校准和放射性物质的储存与处理、核医学放射性废物处理。(6)实验和实践操作。(7)临床案例研究。其中,临床案例研究主要包括(1)核医学分子影像组学和AI用于临床肿瘤诊断、疗效预测和疗效评估、预后评估等。(2)核医学分子影像组学和AI在肿瘤微环境的研究,有助于探究肿瘤生物学异质性、指导临床精准个体化诊断和治疗(如免疫治疗、分子靶向驱动基因治疗、抗肿瘤新生血管治疗等)。(3)核医学核素治疗的放射性治疗剂量学计算,包括肿瘤靶区剂量和全身器官组织辐射剂量估算,如甲状腺机能亢进和分化型甲状腺癌的碘-131治疗、镥-177药物靶向治疗,肝癌的钇-90微球介入治疗等,特别是新型核医学分子影像诊断/治疗一体化项目的剂量学研究。(4)核医学分

子影像在放疗生物靶区的应用研究,核医学分子影像组学和AI用于放疗敏感性和疗效预测、放疗方案制定、疗效评估、预后评估等。(5)核医学PET/CT、PET/MRI分子影像在神经系统疾病诊断的图像处理,如帕金森病和早老性痴呆(如阿尔茨海默病)的早期诊断、鉴别诊断、疗效评估和预后评估,以及脑科学研究。

2.2.4 放射防护物理 放射防护旨在防止有害的确定性效应,并限制随机性效应的发生率,使其达到可以接受的水平,减少不必要的辐射照射,最小化电离辐射的危害。教学内容主要包括(1)辐射防护史和辐射源项简介。(2)辐射防护量与单位。(3)辐射效应、辐射防护原则与一般措施。(4)辐射防护的法律框架和标准。(5)辐射屏蔽计算。(6)诊疗设施设计。(7)辐射防护检测与评价。(8)检测仪器;检测内容;职业与环境安全评价。(9)放射性物质运输和废物管理。(10)放射诊疗的正当性及最优化。(11)放射诊疗事故的预防与应急。(12)辐射风险评估和风险沟通。

2.2.5 放射生物物理 在细胞、分子水平上研究辐射效应。教学内容主要包括(1)基础生物学概念:包括细胞结构、DNA、RNA、蛋白质及人体解剖信息等。(2)放射与生物相互作用:涵盖不同类型的放射(α 、 β 、 γ 等)与在分子水平上生物组织相互作用的机制,包括辐射损伤机制、组织的放射敏感性、辐射对生命物质的不同影响类型以及辐射暴露对癌症和遗传效应的风险。(3)基于放射生物学效应的临床放疗设计:常规分割、大分割,SBRT及SRS等的生物学基础。(4)放射与免疫学之间的关系:研究辐射如何影响免疫系统及其在放射治疗中的应用。

2.2.6 放射工程物理 放射工程物理涉及放射诊疗设备的研发和制造。教学内容主要包括(1)基础放射性测量与传感技术:研究和开发用于检测不同类型放射性物质的高灵敏度、高分辨率的探测器,以及数学建模和计算机模拟等。(2)放射治疗设备的设计、制造、安全保障以及质量控制。(3)医学影像设备的设计、制造、安全保障以及质量控制。(4)核医学设备的设计、制造、安全保障以及质量控制。(5)放射测量仪器的设计要求。(6)医用放射源的产生、设备设计要求与应用、质量控制。(7)医疗设备用途审批。

值得一提的是,机器学习、深度学习和多组学等AI技术已广泛应用于上述6大医学物理方向中,包括但不限于自动成像、图像分析、预测、评估和治疗等^[27-30]。因此,AI技术不仅作为一种有效的工具被整合进医学物理学科,还能显著提高医学物理各领域的质量、安全性和效率。这一融合不仅促进技术创新,还为医学物理的发展带来新的机遇,使得诊断与

治疗更准确、更高效。

2.3 研究生课程设计与专业课程

2.3.1 研究生录取标准 学生应拥有以下学士学位之一:理学(如物理学、数学、生物学、统计学等),工学(如核科学与技术、生物医学工程、电子科学与技术、计算机科学与技术、仪器科学与技术、材料科学与工程等),医学(如医学技术、临床医学、基础医学、特种医学)等相关专业。

(1)推荐免试研究生:对于申请推荐免试研究生资格的候选人,建议限定其本科学历背景符合上述专业要求。(2)全国研究生统一招生考试:建议在全国研究生统一招生考试中,特别指定考试内容应涵盖上述学科的相关知识。(3)自主命题高校的研究生招生考试:对于拥有研究生招生考试自主命题权限的高等教育机构,建议在命题过程中纳入上述学科领域相关的知识,并指定相应的复习参考书籍。

2.3.2 师资标准 教师应拥有相关领域的博士学位,特别是物理学、医学物理、放射物理或相近学科领域,或具备相应的专业资格认证,如医学物理资格证书等。此外,教师应具备一定科研素养,包括但不限于在国际权威期刊上发表的研究论文、承担或领导科研项目等,能够有效地激发学生的研究兴趣并提升其科研能力。同时,应具备医学研究和实践中必需的伦理知识,能够指导学生理解和遵守在医学物理工作中的伦理准则。

2.3.3 研究生专业课程 硕士研究生专业课程中,必修课程包括辐射物理学、治疗物理学、影像物理学、核医学物理学、辐射防护物理学、辐射生物学、解剖与生理学、毕业设计与论文答辩、临床实践以及其他(按照学校规定自行设置),选修课程包括治疗物理学实践、近距离放射治疗、高级图像引导放射治疗、重粒子治疗物理学、影像物理学实践、核医学物理学实践、核医学计量、放射性药物治疗、高级放射生物学、粒子加速器原理、病理与药理学、高级核磁共振成像、高级医学图像处理、高级剂量测定、数据科学相关课程、AI相关课程、质量管理相关课程、放射肿瘤学、伦理和法律课程相关课程、职业素质教育、医学物理前沿、可靠性和风险分析、系统工程。针对博士研究生课程,可根据论文题目选择相关研究所需的课程。

对于硕士研究生项目,上述学习计划中必修课程应在2年内完成,选修课程可根据所选专业方向与科研方向进行选择。学制可根据具体情况安排为2年或3年,各参与高等教育机构应依据项目规范和指导原则执行此学制安排。

2.3.4 实习要求 学生可选择在高水平医院或者先进

医疗设备企业进行实习,旨在帮助学生更有效、更直观地将理论知识积累与实践应用相结合,为毕业生向工作环境的平稳过渡奠定基础。对于临床实习,可在学校老师及合作医院物理师的共同指导下,完成一定课时数的临床实习。实习内容应根据各个学科方向而定,重点包括熟悉放疗流程、掌握剂量测量及验证技术、了解医学影像设备的操作和维护以及参与放射防护实践。此外,学生应学习与临床团队、患者及患者家属进行有效沟通,并参与多学科会议,以更好地理解其在医疗团队中的角色。对于企业实习,学生将有机会深入了解高端医疗设备的制造流程、系统设计、安全考虑、制造标准、高端产品的新发展、设计原则、服务、客户支持、市场营销、临床测试和评估以及未来发展等方面。

2.3.5 研究生毕业标准 在制定研究生的毕业标准时,可遵循各学校的相关规定和要求。这些标准通常包括但不限于以下几个方面。(1)学术要求:学生必须完成规定的课程学分,并达到一定的学术水平,这可能包括核心课程、选修课程以及专业相关的实验或实习。(2)研究能力:学生应具备一定的研究能力,这通常通过完成毕业论文或研究项目来证明,论文或项目应展现出学生在所研究领域的深入理解和创新能力。(3)综合素质:除专业知识和技能外,学生还应具备良好的综合素质,包括批判性思维、沟通能力和团队协作能力等。(4)伦理和专业标准:学生必须遵守学术诚信的原则以及所在学科的伦理和专业标准。(5)公共演讲和答辩:学生通常需要进行公开演讲和论文答辩,以展示其研究成果和对研究领域的理解。(6)其他要求:根据不同学校和学科的特点,可能还有其他额外要求,如特定的实习经验、外语水平测试、额外的研究成果发表等。

建立明确且全面的研究生毕业标准对于保证教育质量和培养高素质人才至关重要。这些标准应结合各学校的特色和教育目标,同时满足所在学科的专业要求。

2.4 教学质量评估

为确保医学物理教育项目符合设定的基本要求,特别是在课程设计和师资力量方面,建立一个教学评估督导机构是至关重要的,该机构的主要职责是进行定期的、全面的教学质量评估,确保教育内容与国际标准和最佳实践保持一致。引入国际标准不仅有助于提升课程质量,还能促进与国际组织和研究机构的合作,从而带来更广泛的资源和视角。学生和雇主的反馈同样是评估过程中不可或缺的组成部分,他们提供了关于课程实用性和就业市场需求的直接信息。该评估应每2年进行一次,以确保教学

内容和方法的及时更新和修订,反映最新的学术和技术发展。

3 讨论与总结

在中国医学物理教育和学科建设的进程中,不仅需应对当前的挑战,还必须着眼于长远发展策略:(1)扩大学科规模和影响力(即“做大”),提倡提高医学物理课程的普及率,通过将课程引入更多教育机构,增强学科的可及性和普及性;并通过媒体宣传和公共讲座等手段加大对学科重要性的公众认识;同时,强化与医学、工程学、计算机科学等领域的跨学科协作,以增强医学物理的综合性和实用性。(2)提升质量和专业水平(即“做强”),倡议提升医学物理教育的质量和水平,包括优化课程内容,强调深度和专业性,提高学生的专业技能和创新能力;加强教师队伍建设,吸引和培养更多高素质教师和研究人員,提升教育和研究水准;加强实践教学,通过实验室实验、临床实习和产学研合作等方式,提升学生的实践技能和解决实际问题的能力。(3)实现教育的精细化和精英化,提倡实施定制化教育方案,为不同背景和兴趣的学生提供个性化的学习途径;提高教育标准,确保毕业生具有高水平的专业能力。(4)加强国内外合作,提倡共同探索先进的教育理念和技術,鉴于并非每所学校都具备建设医学物理各专业的条件,在适宜的情况下,积极探索医学物理学科的共同建设与合作机会。

这种全方位的发展策略将有效推动中国医学物理学科的全面发展,达到国际先进水平,并为《“健康中国2030”规划纲要》政策目标提供坚实支持。

【参考文献】

- [1] Yan H, Hu ZH, Huang P, et al. The status of medical physics in radiotherapy in China[J]. *Phys Med*, 2021, 85: 147-157.
- [2] 胡逸民. 中国医学物理学的过去、现在与未来[J]. *物理*, 2007, 36(1): 51-54.
Hu YM. The past, present and future of medical physics in China[J]. *Physics*, 2007, 36(1): 51-54.
- [3] 俞家华,周光明. 我国放射医学本科人才培养现状分析与发展思考[J]. *中华放射医学与防护杂志*, 2022, 42(8): 567-571.
Yu JH, Zhou GM. Current status and development perspectives of undergraduate talent cultivation of radiation medicine in China[J]. *Chinese Journal of Radiological Medicine and Protection*, 2022, 42(8): 567-571.
- [4] 王晓艳,鲁雯,刘林祥,等. 医学物理人才培养模式初探[J]. *中国医学装备*, 2010, 7(9): 22-24.
Wang XY, Lu W, Liu LX, et al. Study on personnel training model of medical physicist[J]. *China Medical Equipment*, 2010, 7(9): 22-24.
- [5] 王晓艳,纪绪财. 调整课程设置优化教学内容培养医学物理专业人才能[J]. *中国医学物理学杂志*, 2012, 29(4): 3577-3580.
Wang XY, Ji XC. Adjust curriculum optimizing teaching content cultivate medical physicist[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2012, 29(4): 3577-3580.
- [6] 包尚联. 促进中国医学物理学科的良性发展[J]. *中国基础科学*, 2004, 6(4): 48-53.

- Bao SL. Promoting the development of medical physics in China[J]. *China Basic Science*, 2004, 6(4): 48-53.
- [7] 袁红敏(袁翔), 李小方, 姜岐山, 等. 中国特色医学物理发展具有里程碑意义的大事-略论并祝贺我国高等院校将开设医学物理专业教育[J]. *中国医学物理学杂志*, 2011, 28(6): 3070-3073.
Yuan HM (Yuan X), Li XF, Jiang QS, et al. The medical physics development with Chinese characteristics is a landmark event-on and congratulations to China universities will set up medical physics professional education[J]. *Chinese Journal of Medical Physics*, 2011, 28(6): 3070-3073.
- [8] Gray JE, Orton CG. Medical physics: some recollections in diagnostic X-ray imaging and therapeutic radiology[J]. *Radiology*, 2000, 217(3): 619-625.
- [9] Cohen M, Trott NG. Radiology, physical science, and the emergence of medical physics[J]. *Med Phys*, 1995, 22(11): 1889-1897.
- [10] Ervin M. Radiation oncology physics: a handbook for teachers and students[J]. *Phy Med Biol*, 2005, 51: 1047.
- [11] Claudio F. Grand challenges for medical physics in radiation oncology[J]. *Radiother Oncol*, 2020, 153: 7-14.
- [12] Pogue BW, Zhu TC, Ntziachristos V, et al. Fluorescence-guided surgery and intervention-an AAPM emerging technology blue paper[J]. *Med Phys*, 2018, 45(6): 2681-2688.
- [13] Stephen R, Bednarek DR, Hoffmann KR. Endovascular image-guided interventions (EIGIs) [J]. *Med Phys*, 2008, 35(1): 301-309.
- [14] Cherry SR, Sorenson JA, Phelps ME. *Physics in nuclear medicine*[M]. Amsterdam: Elsevier, 1987.
- [15] Pat Z. *Basic sciences of nuclear medicine*[M]. Berlin: Springer, 2011.
- [16] Fiorino C, Jeraj R, Clark CH, et al. Grand challenges for medical physics in radiation oncology[J]. *Radiother Oncol*, 2020, 153: 7-14.
- [17] Sprawls P. Evolving models for medical physics education and training: a global perspective[J]. *Biomed Imaging Interv J*, 2008, 4(1): e16.
- [18] Kron T, Cheung K, Dai J, et al. Medical physics aspects of cancer care in the Asia Pacific region[J]. *Biomed Imaging Interv J*, 2008, 4(3): e33.
- [19] Bortfeld T, Jeraj R. The physical basis and future of radiation therapy [J]. *Br J Radiol*, 2011, 84(1002): 485-498.
- [20] Zaidi H. Medical physics in developing countries: looking for a better world[J]. *Biomed Imaging Interv J*, 2008, 4(1): e29.
- [21] Avanzo M, Trianni A, Botta F, et al. Artificial intelligence and the medical physicist: welcome to the machine[J]. *Appl Sci*, 2021, 11(4): 1691.
- [22] Loughery B, Starkschall G, Hendrickson K, et al. Navigating the medical physics education and training landscape[J]. *J Appl Clin Med Phys*, 2017, 18(6): 275-287.
- [23] Malicki J. Medical physics in radiotherapy: the importance of preserving clinical responsibilities and expanding the profession's role in research, education, and quality control [J]. *Rep Pract Oncol Radiother*, 2015, 20(3): 161-169.
- [24] Eudaldo T, Olsen K. The present status of medical physics education and training in Europe: an EFOMP survey[J]. *Phys Med*, 2008, 24(1): 3-20.
- [25] 中共中央国务院."健康中国2030"规划纲要[M]. 北京: 人民出版社, 2016.
State Council of the Central Committee of the Communist Party of China. *Outline of the healthy China 2030 plan*[M]. Beijing: People's Publishing House, 2016.
- [26] American Association of Physicists in Medicine. Professional survey report[R]. (2017-08-11)[2023-12-15].
- [27] Beckers R, Kwade Z, Zanca F. The EU medical device regulation: implications for artificial intelligence-based medical device software in medical physics[J]. *Phys Med*, 2021, 83: 1-8.
- [28] Shen CY, Nguyen D, Zhou ZG, et al. An introduction to deep learning in medical physics: advantages, potential, and challenges[J]. *Phys Med Biol*, 2020, 65(5): 05TR01.
- [29] El Naqa I, Das S. The role of machine and deep learning in modern medical physics[J]. *Med Phys*, 2020, 47(5): e125-e126.
- [30] Cui SN, Tseng HH, Pakela JL, et al. Introduction to machine and deep learning for medical physicists[J]. *Med Phys*, 2020, 47(5): e127-e147.

(编辑:谭斯允)