·教育研究·

医工融合背景下肿瘤学—材料科学跨学科教育的现状及启示

刘璐璐[1]　戴永东[2]　苗惠文[3]　余丹[4]　黄翠翠[1]　孙旭琪[1]　王文玉[1]　高洋[1]　童舟[1]　赵峰[5]　叶香华[5]　马雁鸿[1]　方维佳[1]　陈栋[6]

[1]浙江大学医学院附属第一医院肿瘤内科，杭州 310003；[2]浙江大学医学院附属邵逸夫医院妇产科，杭州 310016；[3]浙江大学医学院附属第一医院普胸外科，杭州 310003；[4]浙江大学医学院附属第一医院口腔科，杭州 310003；[5]浙江大学医学院附属第一医院放疗科，杭州 310003；[6]浙江大学医学院附属第一医院结直肠外科，杭州 310003

通信作者：陈栋，Email：cdking@zju.edu.cn

【摘要】 医工融合已上升为国家医学教育战略，材料科学与肿瘤学的深度交叉为诊疗技术革新注入新动能。本文以肿瘤学—材料科学跨学科教学为切入点，首先梳理材料科学在肿瘤早筛、精准诊断、创新治疗中的进展及其对教育的新要求；其次从知识整合、师资、评价、平台4个维度分析现实困境；最后提出系统性推进路径。课程体系方面，建议构建“材料—生物—临床”一体化模块化课程，本科将材料科学纳入必修，研究生开设《肿瘤诊疗材料技术导论》等高级交叉课程。师资方面，推行双导师制与多学科导师组模式，建立教师实践能力培养机制。评价方面，构建“能力为本、多元协同”框架，学生评价从“考知识”转向“考能力”，导师评价纳入跨学科教学贡献与临床转化指导能力。平台方面，打造常态化交流机制、跨学科研究专项、校企合作平台、仪器共享平台“四位一体”的融合生态。当前改革仍面临学科壁垒固化、资源分配矛盾等挑战，建议成立跨学科教学委员会统筹推进，并推动“协同育人中心”立项，为改革提供制度保障。

【关键词】 医工融合；　肿瘤学；　材料科学；　跨学科教学改革；　人才培养

【中图分类号】 R-0；R-4；R73

基金项目：国家自然科学基金面上项目（82473482）；浙江省自然科学基金一般项目（LY24H160007）；浙江大学医学院教育改革项目（研究生教育类 jgyb2025023）；浙江大学医学院第三临床医学院教学改革研究项目（SYF2024JG07）

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20250611-02315

Current situation and implications of oncology and materials science interdisciplinary teaching under the background of medicine-engineering integration

Liu Lulu[1], Dai Yongdong[2], Miao Huiwen[3], Yu Dan[4], Huang Cuicui[1], Sun Xuqi[1], Wang Wenyu[1], Gao Yang[1], Tong Zhou[1], Zhao Feng[5], Ye Xianghua[5], Ma Yanhong[1], Fang Weijia[1], Chen Dong[6]

[1]Department of Medical Oncology, The First Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310003, China; [2]Department of Obstetrics and Gynecology, Sir Run Run Shaw Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310016, China; [3]Department of General Thoracic Surgery, The First Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310003, China; [4]Department of Stomatology, The First Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310003, China; [5]Department of Radiation Oncology, The First Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310003, China; [6]Department of Colorectal Surgery, The First Affiliated Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310003, China

Corresponding author: Chen Dong, Email: cdking@zju.edu.cn

【Abstract】 The integration of medicine and engineering has become a national strategic priority in medical education. The deep intersection of materials science and oncology is injecting new momentum into the innovation of tumor diagnosis and treatment technologies. This article focuses on interdisciplinary teaching at the intersection of oncology and materials science. It first reviews the progress of materials science

in early cancer screening, precision diagnosis, and innovative treatment, as well as the new demands these advances place on medical education. It then analyzes the current challenges from four dimensions: knowledge integration, faculty development, evaluation systems, and platform construction. Finally, it proposes systematic pathways for reform. Regarding curriculum, a modular "materials-biology-clinical" integrated curriculum is recommended. At the undergraduate level, fundamental materials science courses should be incorporated into the compulsory curriculum; at the graduate level, advanced interdisciplinary courses such as "Introduction to Materials Technology in Tumor Diagnosis and Treatment" should be offered. Regarding faculty development, the dual-supervisor model and multidisciplinary mentor group model should be promoted, along with mechanisms for faculty practice capacity building. Regarding evaluation, a "competency-based, multi-stakeholder collaborative" framework should be established, shifting student assessment from "knowledge testing" to "competency assessment", and incorporating interdisciplinary teaching contributions and clinical translation guidance ability into faculty evaluation. Regarding platform construction, a "four-in-one" integrated ecosystem should be developed, including regular communication mechanisms, interdisciplinary research programs, university-industry collaboration platforms, and large-scale instrument sharing platforms. Current reforms still face practical challenges such as disciplinary barriers and resource allocation conflicts. It is recommended to establish an interdisciplinary teaching committee to coordinate reform efforts and promote the approval of "collaborative education centers" to provide institutional support.

【Key words】 Medicine-engineering integration; Oncology; Materials science; Interdisciplinary teaching reform; Talent cultivation

Fund program: National Natural Science Foundation of China (82473482); Zhejiang Provincial Natural Science Foundation (LY24H160007); Zhejiang University School of Medicine Education Reform Project (Graduate Education Category) (jgyb2025023); Education Reform Project of the Third Clinical College of Zhejiang University School of Medicine (SYF2024JG07)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20250611-02315

医工融合已成为推动医学科技创新的重要引擎。材料科学与肿瘤学的深度交叉，为肿瘤预防、诊断和治疗带来了突破性进展。然而，在医工融合加速转化为临床实践的过程中，医学教育体系与学科发展需求之间的结构性矛盾日益凸显。现有教育体系尚未充分发挥多学科资源优势，跨学科教学评价标准和机制尚未健全[1]，复合型人才培养成效仍不显著[2]。问题的核心在于：材料科学与肿瘤学的交叉融合，要求医学教育从传统的“单学科知识传授”转向“多学科整合能力培养”，而现行体系在课程设置、师资配置、评价机制、平台支撑等方面均未做好充分准备。为什么材料科学会对医学教育产生如此深刻的影响？原因在于，材料科学带来的不仅是新技术的增量式改进，而是诊疗范式的结构性转变。在肿瘤早筛领域，纳米生物传感器使检测灵敏度大幅提升[3]，可穿戴设备实现实时动态监测[4-5]；在精准诊断领域，磁性纳米粒子提高影像分辨率[6]，量子点在多色成像中展现独特优势[7]；在治疗领域，靶向递药[8]、智能响应材料[9]、光热/光动力治疗[10]、免疫治疗材料[11]等策略并行发展。这些进展意味着未来的肿瘤科医生不仅需要掌握传统诊疗知识，还需要理解材料学原理、评估新技术适用性、整合多模态信息制定个性化方案。本文聚焦“医工融合”政策导向，以肿瘤学—材料科学跨学科教学为切入点。首先梳理材料科学在肿瘤早筛、精准诊断、创新治疗中的进展及其对教育的新要求；其次从知识整合、师资、评价、平台 4 个维度分析现实困境；最后提出系统性推进策略，为培养复合型肿瘤学人才提供参考。

1 材料科学发展驱动的肿瘤诊疗技术对医学教育的影响

1.1 材料科学在肿瘤早期筛查中的进展对医学教育提出的新要求

材料科学的发展为肿瘤早期筛查带来了革命性变革。基于金纳米颗粒的生物传感器可使癌胚抗原检测灵敏度提升 2 个数量级[3]；柔性可穿戴设备实现了肿瘤相关生物标志物的实时动态监测[4]；智能传感材料展现出区分健康与异常组织的潜力。这些技术突破对医学教育提出 3 个方面要求。其一，知识结构更新。学生不仅需要掌握传统筛查技术，还应了解新型生物材料的检测原理、技术优势

及临床适用范围。其二，实践能力强化。医学生应有机会接触基于新型材料的筛查设备，通过实验操作掌握使用方法，并结合临床背景解读检测结果。其三，案例教学融入。通过引入典型早期肿瘤筛查案例，让学生在真实或模拟情境中分析筛查结果的临床意义，提升复杂环境下的判断能力。总体而言，材料科学正在推动肿瘤早筛教育从“技术认知”向“整合应用”转变。

1.2 材料科学在肿瘤精准诊断中的突破对医学教育的启示

纳米技术的快速发展为肿瘤精准诊断开辟了新路径。磁性纳米粒子作为磁共振成像对比剂，可显著提高图像分辨率，使早期微小病灶检出成为可能[5-6]；量子点因其高亮度和光稳定性，在荧光成像和生物标志物检测中展现出独特优势[7]。这些突破对医学教育的启示体现在 3 个层面。第一，知识体系拓展。学生需要理解不同纳米材料的检测原理、成像机制及其适用场景，建议在《医学影像学》中增设“纳米对比剂应用”专题，在《实验诊断学》中引入“量子点技术进展”。第二，材料选择能力培养。不同肿瘤类型对诊断技术的需求各异，学生应学会根据肿瘤分子特征、解剖位置及患者个体差异，选择最优的诊断材料组合。第三，多模态信息整合训练。学生应学会整合影像学、分子病理学及液体活检等多源数据，形成精准诊断结论。这表明，精准诊断教育正在从“影像判读”向“材料选择与多模态整合”转型。

1.3 材料科学在肿瘤治疗中的创新对医学教育的导向

材料科学的发展为肿瘤治疗带来了多样化策略，从靶向治疗材料实现精准递药[8]，到智能响应材料控释药物[9]；从光热与光动力治疗材料[10]，到免疫治疗材料[11]和基因递送载体[12]。

这些创新对医学教育的导向体现在 4 个方面。第一，新型治疗材料的认知与应用。学生应了解各类治疗材料的作用机制、理化特性及适用场景，建议在《肿瘤治疗学》中增设“靶向纳米递药系统”“智能响应材料”等专题。第二，基于肿瘤特征的材料选择能力。学生应学会根据肿瘤生物学行为、微环境特征及患者耐受性，选择最优治疗策略。第三，多模态治疗的整合能力。单一治疗材料往往难以完全清除肿瘤，学生应理解并掌握不同治疗材料的联合应用策略，如光热材料与化疗药物的协同治疗。第四，安全性与有效性评估能力。新材料可能伴随潜在生物安全风险，学生应掌握生物相容性评价、体内代谢分布等基本评估方法，学会权衡治疗获益与风险。

2　医工融合背景下肿瘤学—材料科学跨学科教学面临的现实挑战

2.1 跨学科知识整合的体系性缺失

当前医学教育体系在跨学科知识整合方面仍存在明显的结构性缺失，难以支撑“肿瘤学—材料科学”复合型人才的系统培养。

国际经验与国内探索。国际上，美国约翰·霍普金斯大学推出的“BME+X”教育模式，将生物医学工程与计算机、物理、化学、生物、医学等多学科深度融合，形成“核心+模块”的弹性课程结构[13]。英国牛津大学的纳米医学相关课程涵盖纳米技术基础、生物医学应用、药物递送系统等多个领域，注重理论与实践结合[14]。近年来，国内高校也在积极布局：2020 年上海大学成立医工交叉研究院，2021 年中山大学成立前沿交叉创新研究院，2022 天津大学与天津医科大学联合成立“医学科学与工程学院”，2023 年四川大学启动“材料—医学”跨学科课程建设项目。这些平台建设为医工融合提供了组织保障。

课程体系改革的滞后。尽管部分高校已开始探索，但国内临床医学院的整体改革仍显滞后。绝大多数医学院校的课程仍以传统学科为中心，本科生课程以解剖学、病理学、分子生物学等为框架，鲜见“材料—生物—临床”模块化设计[15]。研究生阶段，材料科学相关课程多作为选修课，纳入必修体系的院校屈指可数。

跨学科知识整合能力不足，直接限制了对材料驱动型诊疗技术的全面理解，削弱了临床应用新技术、解决复杂问题的创新能力。对于教育整体而言，课程滞后导致人才培养与行业需求之间的结构性错配。对于学科发展而言，专业壁垒固化进一步加剧了材料科学与肿瘤学之间的割裂。这一缺失的背后，折射出医学与材料科学的知识范式差异与组织文化隔阂，即两种学科长期分属不同的学术共同体，跨课程开发缺乏常态化协作机制，导致课程整合进展缓慢。

2.2 师资队伍跨学科教学能力的结构性短板

2.2.1 跨学科知识储备普遍不足

教师对医工交叉领域的认知深度，直接影响其跨学科教学的能力与效果。然而，现有调查数据显

示，即便是国内顶尖的综合性大学，医学院教师在医工交叉领域的知识储备仍十分有限。以浙江大学为例，一项针对医学院教师的调查显示，83.34%的教师对医工交叉的认知程度仅停留在“接触听说过”的层面，而系统学习或深入研究过的教师占比不足4.00%[16]。

2.2.2 跨学科教学能力短板明显

教师跨学科知识储备的不足，直接反映在其教学能力上。四川大学的一项调查显示，参与过跨学科培养的学生占比仅为12.70%，而45.50%的受访者认为“师资力量薄弱”是导致这一结果的主要原因之一[17]。

2.2.3 学科背景单一，复合型师资匮乏

从师资队伍的学科结构来看，专业医学院校的教师大多集中于传统医学领域，如解剖学、病理学、药理学、内科学等，具有材料科学、生物医学工程等跨学科背景的教师极为稀缺。

这一结构性问题的直接后果是：即使在尝试开设材料学相关课程的院校，授课教师也往往缺乏系统的材料学学习经历。教学中难以深入讲解材料的理化特性、制备工艺、生物安全性评价等核心内容，更难以将其与肿瘤诊疗的临床场景进行有机整合。

2.2.4 双导师制探索初见成效，但推广不足

为弥补单一导师学科背景的局限，部分综合性大学开始探索双导师制或多学科交叉导师组模式，由医学背景与材料/工程背景的教师共同指导学生。上海交通大学医学院与材料科学与工程学院联合实施的“医工交叉研究生培养项目”，要求每位研究生配备医学与工学双导师；华中科技大学同济医学院在肿瘤学相关研究生培养中探索“临床导师+基础导师+材料导师”的导师组模式[18]。这些探索在一定程度上拓宽了学生的跨学科视野，提升了交叉研究的质量。

2.3 跨学科教学评价体系的结构性缺失

2.3.1 学生评价重理论轻实践，跨学科能力难以量化

评价指标单一，实践与创新考量不足。现有评价仍以期末理论考试为主，对创新成果的认定局限于文章发表和专利申请数量等传统指标[19]。在肿瘤学—材料科学交叉领域，学生的创新能力不仅体现在学术论文上，更体现在能否运用材料科学知识解决临床实际问题。

跨学科整合能力难以衡量。在材料科学与肿瘤学交叉领域，学生需要具备将材料学原理与医学实践相结合的综合能力，如理解纳米材料的理化特性如何影响体内分布与代谢、评估不同生物材料在靶向治疗中的适用性、整合多模态诊断信息制定个性化方案。然而，现行评价体系以学科分割为基础，难以有效衡量学生在“材料—生物—临床”知识链路上的整合能力。

形成性评价缺失。当前学生评价多集中于期末考核或毕业答辩等终结性节点，缺乏对学生跨学科学习过程的持续跟踪与反馈。在需要反复实验、迭代设计的交叉领域，学生在项目推进过程中的阶段性进展、问题解决思路的调整、跨学科协作能力的提升等，均难以在现行评价体系中得到及时认可与有效反馈。

2.3.2 导师评价重传统轻交叉，跨学科贡献难以体现

跨学科教学能力缺乏认定标准。在肿瘤学—材料科学交叉领域，导师不仅需要具备扎实的学科知识，还需具备将材料科学原理与肿瘤诊疗实践相结合的教学能力。然而，现行评价体系对“跨学科教学”缺乏明确的认定标准。

跨学科科研成果认可度不足。在材料驱动的肿瘤诊疗技术发展背景下，导师需要具备开展跨学科合作项目、发表跨学科成果的能力。然而，现行评价标准对跨学科成果的认可度普遍较低。

临床转化指导能力缺乏衡量标准。在医工融合背景下，导师应具备将材料科学技术应用于肿瘤临床问题解决的指导能力，引导学生识别临床痛点，将其转化为材料学可解决的科学问题，并推动研究成果向临床转化。然而，现行评价体系对此类“临床转化指导能力”缺乏有效的衡量标准。

2.4 交叉合作交流平台建设的系统性滞后

平台缺失是公认的首要障碍。学科交叉的本质是知识流动与思想碰撞，高度依赖于常态化、制度化的交流平台。北京大学医学部的一项调查显示，65.60%的研究生和71.10%的教师认为，学科交叉面临的首要问题是“学科间合作交流平台缺乏”[20]。这一数据跨越师生2个群体，具有高度的共识性。中南大学湘雅医院的统计分析也显示，该院涉及学科交叉的论文占比不足10%，跨学科合作交流平台的不足是主要原因之一[15]。

平台滞后的负面影响。其一，信息沟通不畅，交叉研究难以精准对接。临床医生发现的诊疗痛点难以有效传递给材料科学家，材料科学家的技术

突破也难以对接到临床需求，形成“供需错配”。其二，课程开发受阻，跨学科教学缺乏支撑。肿瘤学教师与材料科学教师缺乏定期交流与协同备课的机制，导致跨学科课程流于形式。其三，团队组建困难，交叉研究力量分散。临床医生与材料科学家分属不同院系、不同校区，缺乏制度化交流机制，即使有合作意愿也难以转化为实质性协作。其四，实践教学受限，学生培养缺乏载体。学生难以接触到真实的交叉研究项目，难以参与医工融合的团队协作[21]。

近年来，部分高校已开展有益探索：上海交通大学医学院与材料科学与工程学院定期举办“临床—材料”双边研讨会，设立联合攻关项目种子基金；四川大学华西医学中心启动“医工融合学术沙龙”系列；浙江大学医学院附属第一医院与材料科学与工程学院建立“肿瘤诊疗材料联合实验室”。然而，这些探索仍停留在“点状突破”阶段，远未形成系统性的平台支撑。

3　医工融合背景下肿瘤学—材料科学跨学科教学改革策略

3.1　构建“材料—生物—临床”一体化课程体系

3.1.1　本科生阶段

本科生阶段是医学生知识结构形成的奠基时期，课程体系的重构应着眼于将材料科学基础知识系统性地融入医学教育主干。建议将材料科学相关课程纳入核心必修体系，在临床医学专业培养方案中，将《材料科学基础》《生物医学工程导论》等课程从选修课调整为必修课或限选课，确保所有医学生都能接受系统的材料科学启蒙教育。同时，在本科高年级阶段增设《医学材料学基础》《肿瘤诊疗材料技术导论》等医工交叉特色课程，与现有的《医学检验学》《医学影像学》《病理学》等基础医学课程并行开设，形成“医学主干+材料拓展”的课程结构。此外，在传统医学课程中嵌入材料科学的应用案例，是实现知识融合的有效途径。

3.1.2　研究生阶段

研究生阶段是培养高层次复合型人才的关键时期，课程设置应体现前沿性、交叉性与研究导向。建议在肿瘤学及相关专业的研究生培养方案中，将《肿瘤诊疗材料技术导论》《纳米技术与活性生物材料》《肿瘤靶向递药系统设计》等课程纳入核心课程体系，与现有的《肿瘤病理学》《肿瘤影像学与诊断学》《实验肿瘤学》《肿瘤分子生物学》等专业课程相结合，形成“肿瘤学核心+材料学深化”的完整课程体系。医工融合领域知识更新迅速，研究生课程应保持足够的开放性与灵活性。

3.1.3　课程体系的模块化设计

为适应不同院校的资源条件和学生的个性化发展需求，肿瘤学—材料科学跨学科课程体系应采用模块化设计思路，形成“核心必修+方向选修”的弹性化培养模式。

综合性大学应充分发挥多学科汇聚的独特优势，整合材料科学、生物学、医学等学院的教学资源，构建跨学院、跨学科的课程共享平台。在此基础上，可围绕肿瘤诊疗全流程设置多个模块化课程群，每个模块聚焦一个特定的交叉领域，既保持内容体系的相对完整性，又具备与其他模块灵活组合的开放性。

在肿瘤治疗领域，可根据治疗机制的不同设置多个模块。模块化设计的核心优势在于其灵活性与可组合性。学生可在完成核心必修课程的基础上，根据自身研究方向和职业规划，选择2~3个模块进行深度学习。这种“核心保底、方向自主”的课程模式，既能保证所有学生具备共同的跨学科知识基础，又能满足个性化发展需求。

对于专业医学院校，模块化设计同样具有借鉴意义。虽然可能缺乏独立开设全部模块的师资条件，但可通过与综合性大学建立课程共享机制引进优质资源，也可根据自身优势集中建设1~2个特色模块，形成差异化培养特色。

3.1.4　课程体系重构要实现院校间优势互补，资源共享

综合性大学应充分发挥学科门类齐全的优势，建立跨学院的课程共建共享机制。专业医学院校虽缺乏材料科学等相关学科的支撑，但可通过多种途径弥补自身短板：与综合性大学签订跨校选课协议，选派学生修读材料科学核心课程；邀请综合性大学教师来校开设短期课程或系列讲座；购买或引进成熟的在线课程资源，如中国大学MOOC平台上的《纳米医学》《生物医学材料》等优质课程。同时，专业医学院校应优化校内课程体系，在现有医学课程中有机融入材料学相关知识点，并尝试开设《肿瘤诊疗中的材料应用》等跨学科综合课程，逐步培育自身的跨学科教学能力。

资源共享的关键在于建立制度化的合作机制。建议区域内的综合性大学与医学院校组建“医工融合课程联盟”，实现课程互选、学分互认、师资互通，

避免各校重复建设，提高资源利用效率。

3.2 构建“引育并举、专兼结合”的跨学科教学团队

3.2.1 推广双导师制与多学科导师组模式，实现学科互补

双导师制的核心价值在于“学科互补、协同指导”。由临床医学背景的导师与材料科学或生物医学工程背景的导师共同指导一名学生，使学生能够在课题选择、实验设计、数据分析等环节获得来自不同学科视角的专业指导。

针对肿瘤诊疗材料这一高度交叉的研究领域，可进一步拓展为多学科导师组模式，组建由肿瘤学、材料科学、生物医学工程、药学等多学科教师构成的导师组，共同指导学生。例如，华中科技大学同济医学院在肿瘤学博士研究生培养中探索“临床导师+基础导师+材料导师”的导师组模式，学生定期向导师组汇报研究进展，获得多学科视角的反馈与指导[18]。这种模式不仅拓宽了学生的学术视野，也促进了导师之间的跨学科交流与合作。

为破解学科壁垒，建议成立医工融合跨学科教学委员会，统筹导师队伍建设；采取“试点先行”策略，先在选修课或部分研究生中探索，逐步推广至全体学生。同时，明确双导师的职责分工、工作量计算、成果归属等制度安排，确保联合指导落到实处。

3.2.2 建立教师实践能力培养机制

医工融合领域的教学，要求教师不仅具备扎实的理论知识，更应熟悉材料研发的前沿进展及其在肿瘤诊疗中的实际应用。因此，必须建立常态化的教师实践能力培养机制。建议院校与材料科学相关的科研院所、高新技术企业建立合作关系，定期选派教师参与肿瘤诊疗新材料的研发项目。对于材料科学背景的教师，临床实践的缺失往往是其教学的短板。建议建立材料科学教师定期参加肿瘤科临床查房、病例讨论的机制，使其能够近距离观察临床医生的诊疗决策过程，理解临床对材料技术的真实需求。

3.2.3 加大跨学科背景师资引进力度，优化师资队伍结构

引进具有跨学科背景的师资，是优化师资队伍结构、提升跨学科教学能力的直接途径。

明确“交叉型”人才的引进标准。建议院校在招聘中明确将跨学科研究经历、交叉学科论文发表、医工合作项目参与等作为优先条件，从源头上优化师资队伍的学科结构。设立专项岗位吸引优秀人才。建议院校设立“医工融合特聘教授”“交叉学科青年英才”等专项岗位，提供具有竞争力的薪酬待遇和科研启动经费，吸引国内外优秀交叉学科人才加盟。

跨学科人才的引进需要配套制度的支撑，包括跨院系的双聘机制、多元化的成果认定标准、灵活的考核评价体系等。建议院校对引进的交叉学科人才实行“分类评价、长周期考核”，避免以传统单学科标准衡量其学术贡献，为其跨学科研究和教学创造宽松的制度环境。

3.2.4 强化现有教师的跨学科教学能力培训

在引进外部人才的同时，系统提升现有教师的跨学科教学能力同样关键。建议院校与国内顶尖的医工融合研究机构合作，每年举办 1~2 期“肿瘤学—材料科学跨学科教学能力提升研修班”，面向肿瘤学、材料科学等相关学科的教师招生。研修内容应包括：材料科学核心知识体系速成、肿瘤诊疗前沿进展概览、跨学科课程设计方法、案例教学开发技巧等。通过集中研修，帮助教师快速建立起跨学科的知识框架和教学能力。建议院校设立“医工融合种子基金”，支持肿瘤学教师与材料科学教师联合申报课题、合作开展研究。教师在联合科研中能够深入了解对方学科的研究范式、核心概念和实验方法，这种“在做中学”的方式比单纯的理论培训更为有效。鼓励教师参加国内外医工交叉领域的学术会议，及时了解学科最新进展；在学术交流经费、出国访学指标等方面给予倾斜支持。

3.3 构建“能力为本、多元协同”的跨学科评价框架

3.3.1 学生评价

构建多元化的评价指标体系。当前学生评价对创新成果的认定仍局限于文章发表和专利申请数量等传统指标[19]，这在医工融合领域存在明显局限。肿瘤学—材料科学交叉研究的创新性，不仅体现在学术论文上，更体现在能否运用材料科学知识解决临床实际问题。建议将实验设计能力、问题解决能力、技术应用能力、跨学科整合能力纳入学生评价体系。例如，学生在《肿瘤诊疗材料学》课程中完成的“基于智能响应材料的药物缓释系统设计方案”，或在导师指导下完成的“纳米材料在液体活检中的应用综述”，均可作为跨学科能力的评价依据。

建立过程性评价与终结性评价相结合的机制。建议建立“成长档案袋”评价模式，系统记录学生在跨学科课程学习、实验项目、科研训练、学术活动等环节的表现。

引入多元评价主体。跨学科能力的复杂性决

定了评价主体的多元性。建议在跨学科项目考核、学位论文评审等环节，引入多学科专家联合评审机制。

3.3.2　导师评价

将跨学科教学贡献纳入评价体系。建议在导师聘任、岗位考核、职称晋升等环节，明确将跨学科课程建设、跨学科教材编写、跨学科教学获奖、跨学科指导学生等纳入评价体系。

建立跨学科成果的多元认定机制。在材料驱动的肿瘤诊疗技术发展背景下，导师的科研成果往往涉及多学科合作，发表于交叉学科期刊，或涉及多单位协作。传统评价体系中“学科归属不清”“贡献度难以分割”的困境需要破解。建议采用“代表作制度”，允许从事医工交叉研究的教师提交3~5篇代表性成果，由校内外多学科专家共同评审，不再单纯以期刊影响因子或论文数量论高低。上海交通大学在教师职称评审中已实施这一制度，使从事跨学科研究的教师的学术贡献得到了更加公平的评估。

将临床转化指导能力纳入评价。在医工融合背景下，导师应具备将材料科学技术应用于肿瘤临床问题解决的指导能力——引导学生识别临床痛点，将其转化为材料学可解决的科学问题，并推动研究成果向临床转化。建议将临床问题识别能力、技术转化指导能力、临床采纳情况纳入导师评价。

3.4　打造“四位一体”的跨学科融合生态

3.4.1　建立常态化跨学科学术交流机制，营造交叉融合氛围

针对当前学术交流碎片化、临时性的问题，需建立多层次、常态化的跨学科学术交流机制。建议院校打造具有辨识度的医工融合学术会议品牌，如“肿瘤诊疗材料前沿论坛”“医工交叉年度学术周”等，以固定频率、固定品牌的形式持续举办。会议应鼓励学生积极参与，设置研究生专场、海报展示环节，让学生有机会展示自己的跨学科研究成果，与领域专家面对面交流。

3.4.2　设立跨学科研究专项，以项目驱动创新合作

项目是跨学科合作的重要抓手，能够将合作意愿转化为实质性行动。建议院校设立专门面向医工融合领域的跨学科研究专项，以项目为纽带推动创新合作。建议院校设立额度适中、周期灵活的小型种子基金，专门支持肿瘤学与材料科学的交叉研究。项目申报要求必须由医学和材料科学背景的教师联合申报，鼓励探索性的高风险、高回报研究。建议院校与附属医院密切合作，梳理肿瘤诊疗中的临床重大需求，如早期微小病灶的精准成像、耐药肿瘤的靶向治疗、肿瘤免疫微环境的调控等，设立定向攻关项目，面向全校乃至全国公开招标，吸引跨学科团队申报。跨学科项目的管理应体现其特殊性，在中期检查、结题验收等环节，应邀请多学科专家共同参与评审，关注项目的交叉创新性和临床转化前景。同时，应建立成果转化支持机制，为有转化潜力的项目提供专利申报辅导、企业对接、临床验证等服务，打通从实验室到临床的“最后一公里”。

3.4.3　搭建校企合作平台，促进产学研深度融合

企业是技术转化的重要主体，也是学生实践的重要场所。必须建立常态化的校企合作机制，打通产学研用链条。建议院校与在肿瘤诊疗材料领域具有技术优势的企业合作，共建联合实验室或校外实训基地。联合实验室聚焦前沿技术研发，企业提供资金和产业化视角，院校提供科研力量和实验条件；实训基地则为学生提供实习实践机会，让学生在企业真实环境中了解从材料研发到产品转化的完整流程。建议院校与企业合作设立“医工融合卓越工程师班”“肿瘤诊疗材料产业人才班”等联合培养项目，实行“校内导师+企业导师”双导师制，学生在完成校内课程的同时，需在企业完成一定学时的实践训练。联合培养项目可探索“订单式”培养模式，根据企业人才需求定制培养方案，提高人才培养的岗位匹配度。建议院校定期举办“医工融合成果发布会”“肿瘤诊疗材料产学研对接会”等活动，邀请企业、投资机构、医疗机构等参与，为教师和学生的研究成果搭建展示和对接平台。

3.4.4　构建大型仪器设备共享平台，实现资源优化配置

医工融合研究对大型仪器设备依赖程度高，但院系壁垒导致设备重复购置、利用率低下。必须建立跨院系的大型仪器设备共享平台，提高资源使用效率。建议院校整合分散在各学院的医工融合相关大型仪器设备，建立校级共享中心，实行“统一管理、预约使用、成本分担”的运行模式。共享中心应配备专职技术人员，负责设备维护、操作培训和实验辅助，降低师生的使用门槛。对于本地高校资源密集的区域，可探索建立跨校设备共享网络，通过校际协议实现大型仪器的互通共享。这有助于避免各校重复购置同类高端设备，提高区域内的资源利用效率。共享平台的持续运行需要配套政策支

撑，包括合理的使用收费标准、跨院系经费结算机制、专职技术人员的职称晋升通道等。建议院校将大型仪器设备的开放共享程度纳入院系考核指标，形成激励约束机制。

4 结语

材料科学与肿瘤学的深度融合，正在重塑医学教育与临床实践的格局，为癌症诊疗带来前所未有的机遇。尽管“材料科学与医学”跨学科教育改革已在政策层面获得广泛支持，但其实际推进仍面临学科壁垒固化、资源分配矛盾等现实挑战。本文从材料科学在肿瘤早筛、精准诊断、创新治疗 3 个环节的进展入手，分析了其对医学教育提出的新要求；从知识整合、师资队伍、评价体系、平台建设 4 个维度剖析了当前跨学科教学改革面临的困境；并在此基础上提出了系统性的推进策略展望未来，医学教育需加速医工交叉融合，培养兼具深厚医学素养与材料科学创新能力的复合型人才。这不仅关乎医学教育的革新，更是推动我国医学科技自立自强、提升全球医学竞争力的战略抉择。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 刘璐璐：提出论文构思、撰写论文；戴永东、苗惠文、余丹、黄翠翠、孙旭琪、王文玉、高洋、童舟、赵峰、叶香华、马雁鸿、方维佳：修订论文；陈栋：总体把关、审订论文

参考文献

[1] 黄舒凡, 熊华玉, 梁继超. 交叉学科人才培养新模式探索[J]. 创新教育研究, 2024(1): 148-152.

[2] 许建雄, 许利剑, 曾晓希, 等. 交叉学科人才培养模式创新研究与实践[J]. 教育进展, 2024(12): 1091-1098.

[3] Zhou H, Xu Z, He L, et al. Coupling CRISPR/Cas12a and recombinase polymerase amplification on a stand-alone microfluidics platform for fast and parallel nucleic acid detection [J]. Anal Chem, 2023, 95(6): 3379-3389. DOI: 10.1021/acs.analchem.2c04713.

[4] Hazra RS, Hasan Khan MR, Kale N, et al. Bioinspired materials for wearable devices and point-of-care testing of cancer [J]. ACS Biomater Sci Eng, 2023, 9(5): 2103-2128. DOI: 10.1021/acsbiomaterials.1c01208.

[5] Yang Y, Lin M, Sun M, et al. Nanotechnology boosts the efficiency of tumor diagnosis and therapy [J]. Front Bioeng Biotechnol, 2023, 11: 1249875. DOI: 10.3389/fbioe.2023.1249875.

[6] Wang Z, Zhao Y, Yang Z, et al. Construction of intelligent responsive drug delivery system and multi-mode imaging based on gold nanodots [J]. Macromol Rapid Commun, 2022, 43(10): 2200034. DOI: 10.1002/marc.202200034.

[7] Cheng Y, Ling SD, Geng Y, et al. Microfluidic synthesis of quantum dots and their applications in bio-sensing and bio-imaging [J]. Nanoscale Adv, 2021, 3(8): 2180-2195.

[8] Maksymova L, Pilger YA, Nuhn L, et al. Nanobodies targeting the tumor microenvironment and their formulation as nanomedicines [J]. Mol Cancer, 2025, 24(1): 65. DOI: 10.1186/s12943-025-02270-5.

[9] Ashrafizadeh M, Delfi M, Zarrabi A, et al. Stimuli-responsive liposomal nanoformulations in cancer therapy: pre-clinical & clinical approaches [J]. J Control Release, 2022, 351: 50-80. DOI: 10.1016/j.jconrel.2022.08.001.

[10] Li X, Lovell JF, Yoon J, et al. Clinical development and potential of photothermal and photodynamic therapies for cancer [J]. Nat Rev Clin Oncol, 2020, 17(11): 657-674. DOI: 10.1038/s41571-020-0410-2.

[11] Li F, Ouyang J, Chen Z, et al. Nanomedicine for T-cell mediated immunotherapy [J]. Adv Mater, 2024, 36(22): e2301770. DOI: 10.1002/adma.202301770.

[12] Rosenblum D, Gutkin A, Kedmi R, et al. CRISPR-Cas9 genome editing using targeted lipid nanoparticles for cancer therapy [J]. Sci Adv, 2020, 6(47): eabc9450. DOI: 10.1126/sciadv.abc9450.

[13] 刘蓉, 邱天爽. 比较与借鉴：美国约翰·霍普金斯大学生物医学工程系的研究生教育的启示[J]. 大学教育, 2012, 1(12): 8-9.

[14] 郭正清. 新生研讨课《纳米技术与生物医药的变革》的实践与体会[J]. 教育现代化, 2019, 6(A1): 51-52, 63. DOI: 10.16541/j.cnki.2095-8420.2019.101.020.

[15] 付小兵. 生物材料是创烧伤救治与创面修复研究的新方向[J]. 中华烧伤与创面修复杂志, 2025, 41(1): 1-4. DOI: 10.3760/cma.j.cn501225-20241125-00461.

[16] 胡亮凝, 潘文珏, 赵秀劼, 等. 新医科背景下医工交叉教育培养现状调查[J]. 全科医学临床与教育, 2024, 22(12): 1102-1104. DOI: 10.13558/j.cnki.issn1672-3686.2024.012.013.

[17] 李博, 毕小琴, 卢倩, 等. 医学专业学科交叉培养的现状分析与思考[J]. 重庆医学, 2023, 52(8): 1269-1272. DOI: 10.3969/j.issn.1671-8348.2023.08.030.

[18] 李东明, 陈建军, 万文慧, 等. 医教协同背景下临床医学专业学位硕士研究生“双导师制”实施及探索[J]. 医学教育管理, 2022, 8(3): 319-324, 330. DOI: 10.3969/j.issn.2096-045X.2022.03.013.

[19] 许燕, 李沛, 张善锋, 等. 医学创新人才培养与科研能力提升策略[J]. 基础医学教育, 2024, 26(8): 717-721. DOI: 10.13754/j.issn2095-1450.2024.08.20.

[20] 魏瑗, 石慧峰, 王青, 等. 医学院校师生对基于学科交叉的研究生培养认知调查[J]. 中华医学教育杂志, 2020, 40(3): 196-200. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1673-677X.2020.03.009.

[21] 孙伟凯, 石硕, 范金蕾, 等. 高校研究生 Med+交叉学科培养现状的调查分析[J]. 高校医学教学研究(电子版), 2022, 12(5): 56-63. DOI: 10.3868/j.issn.2095-1582.2022.05.011.

（收稿日期：2025-06-11）

（本文编辑：唐宗顺）