

医智慧研究院¹

项目申请书

项目名称： 微创化手术智能导航平台建设 ²

申请单位： 精准外科与再生医学国家地方联合工程研究中心（盖章） ³

项目负责人： 吴荣谦 电子邮箱： rwu001@mail.xjtu.edu.cn ⁴

手机号码： 18629053941 办公电话： 18629053941 ⁵

申请日期： 2023年12月15日 ⁶

医智慧研究院 制

一、单位基本情况¹

单位名称	西安交通大学第一附属医院				
注册所在地	陕西省西安市雁塔区 雁塔西路 277 号	注册类型	国家事业单位		
注册资本	14500 万	单位隶属	国家卫生健康委员会		
所属国民经济行业	Q-8411 综合医院	企业规模	院本部编制床位 2600 张, 医疗医技科室 58 个, 国家临床重点专科 14 个		
单位特性	公立医院				
单位资质	集医疗、教学、科研、康复、预防保健为一体国家卫生健康委员会委管的大型综合性三级甲等医院				
单位人员情况 (承担单位)					
员工人数	81	其中: 直接从事研发人员数	78	占员工总数比例	96%
		其中: 本科以上学历研发人员数	78	占员工总数比例	96%

二、项目基本情况¹

项目名称	微创化手术智能导航平台建设			
项目实施地点	西安交通大学雁塔校区（含第一附属医院）			
开始日期	2024年1月1日	结束日期	2026年12月31日	
项目总投资	380（万元）	其中：申请专项经费	80（万元）	
项目负责人	吴荣谦	电子邮箱	rwu001@mail.xjtu.edu.cn	
手机号码	18629053941	办公电话	18629053941	
依托基地平台：（最多选三项）	<input type="checkbox"/> 工程技术研究中心 <input checked="" type="checkbox"/> 重点实验室 <input type="checkbox"/> 临床医学研究中心 <input type="checkbox"/> 科技创新团队 <input type="checkbox"/> 工程实验室 <input checked="" type="checkbox"/> 工程研究中心 <input type="checkbox"/> 企业技术中心 <input type="checkbox"/> 四主体一联合 <input type="checkbox"/> 国合基地 <input type="checkbox"/> 软科学基地 <input type="checkbox"/> 技术创新中心 <input type="checkbox"/> 野外观测站 <input type="checkbox"/> 产业技术研究院			
基地平台名称 1	外科重症与生命支持教育部重点实验室			
基地平台名称 2	精准外科与再生医学国家地方联合工程中心			
基地平台名称 3	陕西省再生医学与外科工程研究中心			
查新关键词 （用英文分号 分开，3-5个）	微创腹腔镜手术;手术术中影像;多模融合导航;MR 融合可视化;手术辅助			
合作单位信息				
序号	单位名称	单位地址	项目负责人	联系电话
1	苏州英赛飞影医疗科技有限公司	苏州市高新区嘉陵江路198号太湖云谷8号楼303室	孟凡	18930838087
2	西安交通大学未来技术学院	陕西省西安市咸宁西路28号	王小华	18745101059

三、项目概况¹

1、项目主要研究内容与任务（800字）²

外科手术切除仍是肿瘤治疗的主要手段，在以微创为核心的精准外科理念下，新建的微创化手术智能导航平台，通过最新的人工智能分析手段，利用多尺度多模态信息融合的大数据分析方法，辅助外科医生对手术患者进行术前方案规划、术中智能导航、术后远期随访，提高患者肿瘤精准治疗和生活质量，并建成符合现代医学发展及临床需求的医学创新人才培养平台。³

1.1 术前多模态患者数据个性化手术方案定制系统⁴

为适应患者个体解剖差异，本系统基于术前多层螺旋 CT 和 MRI 数据，实现目标脏器的三维重建，明确脉管空间系统及关键血管与神经组织关系。通过血管流域分析，实现解剖区域精准划分、脏器功能评估，确保有效功能区保留及肿瘤完全切除。系统集成 MR 技术，优化术前手术路径规划，减少对传统经验的依赖。结合功能性人工智能分析，智能预测血管癌栓、微血管浸润等特殊情况，为每位患者定制精准、流程化的综合诊疗方案，带来更多临床获益。⁵

1.2 术中智能辅助决策系统——人工智能术中导航医疗设备⁶

运用人工智能技术，专注于外科手术的精准、实时辅助决策，提供术中全流程智能支持。⁷采用全球首创的微创图文手术记录系统，收集众多三甲医院的腔镜手术视频数据，并在资深专家指导下，构建了丰富的术中影像数据集。开发了多功能算法，包括手术流程、器械、解剖结构、手术动作识别，操作安全性评估，及重要事件识别等，并在术中使用 MR 等设备，结合术前三维重建模型，进行多模态术中关键脏器配准，降低并发症风险，形成了一套微创内镜手术术中实时解剖结构智能分析识别与增强现实导航系统。⁸

1.3. 术后数字化随访定制体系⁸

针对每位患者在诊疗过程中动态的血清学指标、影像学数据以及手术特殊事件记录，结合患者的术后病理报告，目前本团队通过现有患者队列信息已建立了多模态的手术患者预后评估体系，并有效通过外部数据集验证，数字化量化术后复发转移及并发症发生可能，为每位患者定制长期随访治疗方案，带来更高质量的术后生活和更多的临床获益。⁹

1.4. 建立 MR 智能多功能人才培养体系¹⁰

开发了一套医学教学系统，结合术前定位、术中影像分析、术后报告工具及 MR 技术，¹¹强调手术关键部位识别和理解。该系统包含虚拟仿真平台，覆盖关键手术步骤和紧急情况应对，如血管损伤处理，以提高学生应急能力。教学分为规范化手术流程和线上平台，利用真实影像和标准化评估提升教学质量。学生通过预习视频、实时手术讲解和器官识别练习系统学习，配合课后评估和个性化建议，增强学习兴趣和手术技能掌握。

2、产学研结合情况（500 字）¹

平台依托于“精准外科与再生医学国家地方联合工程研究中心”，秉持以临床问题为导向、以理工医学科交叉外科技术创新为特色、以服务患者为宗旨，坚持“临床问题—实验研究—临床应用”的医工结合外科创新思路。²

产业合作技术创新，已与苏州英赛飞影医疗科技有限公司达成战略合作协议，引入新型无线腹腔镜系统，依托新型无线腹腔镜硬件设备迭代开发，通过设计多尺度多模态信息融合新技术，提供更加精准的术前规划和术中导航，从而提高肿瘤治疗的成功率和患者的生活质量。³

助力复合医学人才培养，通过建立 MR 智能多功能人才培养体系，为医学生和年轻医生提供了一个学习和实践微创化手术技术的平台，理论模拟与可视化实践相结合，让学生快速掌握最前沿的手术技术。⁴

学术研究与临床实践相结合，根据现有临床问题，采用术前多模态患者数据个性化手术方案定制系统，结合患者的具体情况，实现个体化治疗。自主开发了术中智能辅助决策系统，将人工智能术中导航与微创手术技术相结合，极大提升了手术术中安全性和效率。⁵

平台依托建设单位，将建成人工智能与智慧医疗的示范基地，牵头制定行业、产业等相关标准，为医院、高校、科研院所及企业，甚至政府提供相关技术支持和平台服务，促进创新链和产业链融合。⁶

3、促进企业创新和产业收入情况（限 800 字，包括产学研结合情况）⁷

“微创化手术智能导航平台”项目，以解决临床难题为核心，创新地融合了微创外科手术和先进人工智能技术，构建了一个医工交叉的前沿研究平台。该平台运用尖端的 AI 分析工具和多尺度、多模态的信息融合可视化技术，巧妙结合实际产业需求、学术深度研究与技术创新，实现了医疗器械开发、临床医学教育以及前沿科学研究的无缝对接与协同发展。⁸

本项目精心研发了术前个性化手术方案定制系统、术中智能辅助决策系统以及 MR 智能多功能人才培养体系。在手术策划、执行及医疗人才培养等关键领域，这些创新系统协同作用，显著提升了肿瘤微创手术的治疗成效和安全标准。同时，它们为医疗器械制造商、软件开发商、教育内容供应商及医疗服务提供者开辟了新的商业道路，助力医疗器械企业的创新发展，并促进整个智慧医疗产业的收入增长。⁹

项目于 2023 年 11 月与空岛信息科技（上海）有限公司，签署“微创手术导航训练虚拟平台建设研究”教育部产学研合作协同育人项目申请书，该公司向本项目团队提供价值人民币 20 万元的空岛科技虚实融合实训智能一体化平台，本合作致力于使用 VR 技术，依托于建设单位，建成人工智能与智慧医疗实验教学基地，总结数字化、智能化教学软件的应用实际效果，为医学生和年轻医生提供了微创化临床手术操作平台。¹⁰

项目智能术中去雾系统，使用智能化影像处理手段，实现了自动去除术中由电刀切割等造成的雾气，填补现有腹腔镜无法自动去除雾气的相关空白，已经与搭载于苏州英赛飞影医疗科技有限公司第二代无线腹腔镜中，目前相关产品已经在上海市瑞金医院、上海市第一人民医院、苏州大学附属第一医院等医院内进行临床实验，预计未来该无线腹腔镜设备年营业额将达 1000 万元左右，该智能去雾系统为企业创造价值每年超 300 万元。同时，该项目与苏州英赛飞影医疗科技有限公司建立了一项跨学科的产学研合作关系。作为协议的一部分，该公司每年将担任实习基地，为项目提供 10 个专门的交流学习机会，进一步巩固并增强校企之间的共建成果。

4、预期成果与经济、社会效益（限 2000 字）²

4.1 技术经济指标³

4.1.1 投资回报分析医智慧研究院的初期投资主要集中在高端医疗设备购置和研发团队构建上。这包括但不限于先进的诊断工具、治疗设备、数据处理硬件和软件，以及招聘具有专业知识和技能的科研人员。预计这些投资将加速临床研究、提高诊疗服务质量，并推动技术创新。具体而言，预计在前两年通过优化诊疗流程、提高服务效率和吸引更多患者实现成本回收。随后，在第三年，通过专利技术的商业化、合作研发项目和技术转让等方式达到显著的财务收益。

4.1.2 成本效益分析通过采用先进的医疗信息技术和人工智能，预计将在多个层面显著降低误诊率和提高诊疗效率。同时，通过数据分析优化诊疗方案，缩短治疗周期，减轻患者负担。此外，这些技术还将提高医院运营效率，如通过自动化系统减少行政成本，通过电子健康记录系统提高数据处理效率。

4.1.3 风险评估医疗行业的特殊性和技术迅速发展的特点要求研究院需要具备前瞻性和灵活性。将定期进行市场和技术趋势评估，以及时应对如法规变更、市场需求变化、新技术出现等潜在风险。此外，还将关注患者隐私保护和数据安全，确保遵守相关法律法规，并采取必要的技术和管理措施来防范数据泄露和滥用风险。研究院还将建立紧急应对机制，以应对可能的技术失败或意外事件，确保项目的稳定运行和持续发展。

4.2 促进企业创新和产业收入情况⁵

4.2.1 产业链合作医智慧研究院计划与医疗设备制造商、软件开发商以及医药公司建立广泛的合作关系。这些合作将包括但不限于共同研发项目、技术交流、市场开拓以及人才培养。例如，与医疗设备制造商合作，共同开发下一代诊疗设备，这些设备将融合最新的人工智能算法，以提高诊断的准确性和效率。与软件开发商合作，共同开发先进的医疗信息系统，以实现医院运营的数字化和智能化。

4.2.2 产品和服务多样化医智慧研究院将重点开发包括智能诊断系统、个性化治疗计划

和远程医疗服务在内的多样化产品和服务。智能诊断系统将利用大数据和人工智能技术，提供更准确、快速的疾病诊断。个性化治疗计划将基于患者的具体情况，结合最新的医学研究成果，为患者提供量身定制的治疗方案。远程医疗服务将利用先进的通信技术，为偏远地区的患者提供专业的医疗咨询和跟踪服务，缩小城乡医疗服务的差距。

4.2.3 市场扩展策略在重视国内市场的基础上，医智慧研究院也将积极探索国际合作机会，尤其是与“一带一路”沿线国家的医疗机构合作。这包括与国际医疗机构进行技术交流、共同研发项目、以及医疗服务和产品的出口。此外，研究院将参与国际医疗博览会和学术会议，以提升其国际知名度和影响力。

4.3 项目、人才、基地统筹³

4.3.1 项目管理实施严格的项目管理制度将包括制定详细的项目计划，明确项目的里程碑和关键绩效指标（KPIs）。项目管理团队将负责监控项目进度，确保按照既定时间表和预算推进。此外，定期的项目评审会议将被用来评估进展，解决问题，并在必要时进行调整。采用项目管理软件和工具来跟踪项目状态，提高效率和沟通。

4.3.2 人才培养与引进计划与西安交通大学紧密合作，建立人才培养计划，旨在培养下一代医疗科技领域的领导者和创新者。这包括为学生和研究人员提供实践机会，如参与实验室研究、临床试验和项目管理。同时，将积极引进国内外顶尖专家，以加强研究团队的专业知识和经验。

4.3.3 基地建设研究基地的建设将重点配备先进的实验室和研发设施，以支持高水平的医疗科学研究。这包括但不限于最新的医学成像设备、生物信息学分析工具、临床试验设施等。实验室将配置高性能计算资源和大数据分析平台，支持复杂数据处理和算法开发。

4.4 预期取得的知识产权、技术标准分析⁵

4.4.1 知识产权战略将集中在保护医智慧研究院在医疗数据处理和智能诊断算法等关键技术领域的创新。具体策略包括：

专利申请：积极申请国内外专利，保护研究院开发的独特技术和方法，尤其是在人工智能驱动的诊断工具、数据分析方法和治疗技术上。

版权保护：确保软件和其他知识产权得到适当的版权保护，包括算法和应用程序。⁸

知识产权管理：建立一个专门团队来管理知识产权事务，包括监控和维护现有的知识产权，以及识别新的可保护资产。⁹

4.4.2 技术标准制定积极参与国内外医疗信息技术标准的制定，旨在提升研究院的行业地位和影响力。具体行动包括：

标准化组织参与：加入国内外重要的标准化组织，如国际医疗信息标准委员会（HL7）、国际电工委员会（IEC）等。¹¹

贡献与领导：积极贡献研究院的研究成果和专业知 识，领导或参与关键标准的制定，如 1
医疗数据交换、患者隐私保护和人工智能应用等。

标准实施：在研究院内部实施这些标准，展示其有效性，并作为案例研究分享。

4.4.3 国际合作与竞争寻求与国际知名医疗研究机构的合作，共享资源，共同推进医疗技术的发展。

5、考核指标（限 800 字）

专利成果方面，本项目预计申请并获得至少 2 项授权发明专利，这些发明专利将围绕平台的核心技术，如智能导航算法、手术设备的创新设计等领域。此外，项目还旨在申请并获得 3 项实用新型专利，这将涉及平台的实用性改进，如用户界面设计、硬件优化等方面。这些专利不仅证明了项目在技术创新方面的实力，也为后续的技术应用和市场推广打下了坚实的基础。

学术论文发表方面，本项目计划在国际知名的学术期刊上发表至少 5 篇被 SCI 索引收录的论文，这些论文将详细阐述项目在智能手术导航技术、临床应用研究等方面的最新发现和研究成果。同时，项目还预计在相关学术期刊上发表 3 篇被 EI 索引收录的论文，进一步证明了项目在工程技术领域的实用价值和创新性。这些高质量的学术论文不仅提升了项目的学术影响力，也为医疗领域的科研人员和实践者提供了宝贵的参考和启示。

人才引进方面，本项目致力于引进 3 名高层次人才，包括 2 名博士或博士后研究人员和 1 名硕士研究生。这些人才将在智能手术导航技术的研发、临床应用研究和项目管理等多个方面发挥关键作用。博士和博士后人才的引进，将为项目带来最前沿的科研理念和深厚的专业知识，而硕士级人才则将为项目的具体执行和技术实现提供强有力的支持。通过这样的人才结构，项目不仅能够保持科技创新的活力，还能确保研究成果的有效转化和实际应用。

社会影响力方面，本项目不仅致力于科技创新和学术贡献，还计划在提升项目的社会认知度和影响，为此项目将积极参与国家级和省部级的路演活动，通过这些公开平台展示项目成果，与行业领袖、投资者及合作伙伴进行交流。获得至少 5 项来自科技创新、医疗健康领域的专业机构或者相关行业协会、学校认可的专业实践创新类赛事。通过在这些重要场合展示项目的创新性和实用价值，显著提升项目的社会认可度和品牌影响力，进一步促进项目成果的应用和推广。

四、项目人员情况¹

项目人数																		
项目组人员总数		32 人																
高级职称		16 人			中级职称			8 人			初级职称		0 人		其他		8 人	
博士		19 人			硕士			7 人			学士		2 人		其他		0 人	
项目负责人																		
姓名	出生年月	证件类型	证件号码	性别	从事专业	职称	职务	学历	所在单位	项目分工	手机	签名						
吴荣谦	1971.12	护照	521547860	男	科研	教授	副主任	博士	精准外科与再生医学国家地方联合工程中心	项目负责人	186-2905-3941							
项目负责人简介（限 500 字）																		
<p>教授，博士生导师，曾任美国南佛罗里达大学助理教授，现任西安交通大学第一附属医院先进外科与工程技术研究所副所长、陕西省再生医学与外科工程研究中心副主任、西安交通大学精准外科与再生医学国家地方联合工程研究中心副主任、中国医学装备协会转化医学分会委员、陕西省医工融合产业技术创新战略联盟专家委员会副主任等。</p> <p>主要研究方向为外科重症、医工结合外科技术创新。在美国期间（2001/10-2015/8），作为项目负责人（Principal Investigator, PI）主持过 5 项美国 NIH 基金项目、1 项美国心脏病协会基金项目和 1 项美国国防部基金项目，累计科研经费> 750 万美元。回国后，已主持 4 项国家自然科学基金项目和多项陕西省医工交叉项目。</p> <p>迄今为止，发表 SCI 论文 170 余篇，包括重症与外科领域的顶级期刊 American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine、Annals of Surgery 等，H 因子 39，被引频次 > 4800，ESI 高被引论文 1 篇。授权国家发明专利 15 项、软件著作权 1 项。获得中华医学科技奖一等奖 1 项（排名第 2）、华夏医学奖卫生管理奖 1 项（排名第 2）、陕西省科学技术进步二等奖 2 项（排名第 1 和第 6）、西安市科学技术进步二等奖 1 项（排名第 1）、陕西高等学校科学技术一等奖 2 项（排名第 1 和第 3）。</p>																		

2

主要研究人员												
姓名	出生年月	证件类型	证件号码	性别	从事专业	职称	职务	学历	所在单位	项目分工	手机	签名
张谓丰	1982.01	身份证	610402198201255195	男	医疗	教授	副院长	博士	西安交通大学第一附属医院	统筹课题运作、临床论证	13359260373	
马锋	1979.04	身份证	610121197904205571	男	医技	主管技师	无	硕士	西安交通大学第一附属医院	制定实施方案	13038935250	
卫荣	1980.06	身份证	612102198006233711	男	医技	副主任技师	副主任	硕士	西安交通大学第一附属医院	信息技术支持	13324573372	
刘学民	1972.01	身份证	610103197201023250	男	医疗	主任医师	腔镜中心主任	博士	西安交通大学第一附属医院	临床论证	18991232502	
杨健	1970.11	身份证	610113197011181613	男	医技	主任医师/教授/研究员	影像科主任	博士	西安交通大学第一附属医院	影像分析处理	18991232396	

1

张云锋	1970 .10	身份证	61011 31970 10230 452	男	医疗	主任医师	胸外科 副主任	博士	西安交通大学第 一附属医院	临床论证	13891896986	
牛刚	1974 .03	身份证	61010 31974 03063 63X	男	医技	主任医师	副主 任	博士	西安交通大学第 一附属医院	影像分析处理	18991232596	
张琳娟	1973 .02	身份证	61011 31973 02140 504	女	医疗	副主 任护 师	麻醉 手术 部副 主任	本科	西安交通大学第 一附属医院	手术室设备协调	13891435609	
樊林	1973 .10	身份证	61010 41973 10218 31X	男	医疗	主任 医师	副主 任	博士	西安交通大学第 一附属医院	临床论证	13709190151	
马磊	1986 .07	身份证	61042 61986 07210 511	男	医疗	副主 任护 师	腔镜 组长	硕士	西安交通大学第 一附属医院	手术室设备协调	13484556715	
张勇	1978 .07	身份证	61052 31978 07266 078	男	医疗	副主 任医 师	胸外 科副 主任	博士	西安交通大学第 一附属医院	临床论证	18991232612	
李宇	1982 .02	身份证	51021 31982 02198 916	男	医疗	副主 任医 师	无	博士	西安交通大学第 一附属医院	临床论证	13186058600	
秦思达	1986 .12	身份证	61010 31986 12253 637	男	医疗	副主 任医 师	无	博士	西安交通大学第 一附属医院	临床论证	15388666585	

1

孙欣	1987 .03	身份证	61040 21987 03193 895	男	医疗	副研究员	无	博士	西安交通大学第一附属医院	临床论证	18220572193	
杜宁	1982 .07	身份证	61010 31982 07292 819	男	医疗	主治医师	无	博士	西安交通大学第一附属医院	临床论证	13571958668	
张伯翔	1987 .10	身份证	61010 31987 10143 634	男	医疗	副研究员	无	博士	西安交通大学第一附属医院	临床论证	13379002177	
许崇文	1986 .07	身份证	37110 21986 07305 716	男	医疗	主治医师	无	博士	西安交通大学第一附属医院	临床论证	18991213556	
彭子洋	1996 .02	身份证	61030 21996 02070 510	男	学生	无	无	博士研究生	西安交通大学未来技术学院	课题策划, 统筹组织	17809212035	
王志博	2001 .11	身份证	23010 32001 11144 212	男	学生	无	无	博士研究生	西安交通大学未来技术学院	课题策划, 统筹组织	13946112059	
王蕾	1997 .03	身份证	61040 21997 03121 204	女	学生	无	无	博士研究生	西安交通大学未来技术学院	课题策划, 统筹组织	15509102217	
李翔	1993 .07	身份证	61012 21993 07020 021	女	医疗	助理研究员	无	博士	西安交通大学第一附属医院	临床论证	18291956601	

1

李凯	1995 .04	身份证	61011 31995 04160 414	男	医疗	助理 研究员	无	博士	西安交通大学第 一附属医院	临床论证	13279261286	
官煜	1991 .04	身份证	61058 21991 04110 017	男	医疗	主管 护理师	无	本科	西安交通大学第 一附属医院	手术室设备协调	15619006556	
梁利斌	1992 .05	身份证	14022 71992 05042 312	男	科研	助理 教授	无	博士	西安交通大学生 命学院	导航技术支持	13001265711	
张博	1985 .06	身份证	61050 21985 06140 423	女	高级 工程师	无	无	硕士	西安交通大学生 命学院	VR 技术支持	13892835012	
宋伟伦	1991 .03	身份证	61010 31991 03201 630	男	机械 电子 工程	中级	工程 师	博士 研究生	西安交通大学第 一附属医院	磁定位技术及腔 镜技术	18710973403	
孟凡	1984 .07	身份证	61011 31984 07118 439	男	仪器 仪表	无	总经 理	博士	苏州英赛飞影医 疗科技有限公司	内窥镜设计	18930838087	
冯钊	1985 .09	身份证	61010 41985 09010 633	男	计算 机	无	技术 总监	博士	苏州英赛飞影医 疗科技有限公司	内窥镜设计	18066880020	
王娟娟	1998 .06	身份证	41052 21998 06154 723	女	学生	无	无	硕士 研究生	西安交通大学基 础医学院	材料撰写	18845166343	

1

徐庶钦	1997 .12	身份 证	41020 21997 12011 017	男	学生	无	无	硕士 研究生	西安交通大学第 一附属医院	数据整理	18337840990	
-----	-------------	---------	--------------------------------	---	----	---	---	-----------	------------------	------	-------------	--

1

五、项目进度计划（说明项目进度，包括实施方案、实施地点等内容）¹

阶段	开始日期	结束日期	计划完成内容
第1阶段	2024.01.01	2024.5.31	购置软硬件设备，建立健全运行管理的体制机制，完成临床前基础研究工作及软硬件平台测试，完善伦理申报等工作。
第2阶段	2024.06.01	2025.06.31	手术智能导航平台在临床外科手术术前规划、术中导航等方面取得一系列进展，根据临床实际应用反馈做到硬件迭代，优化算法，扩大临床应用场景及应用规模，并在智能化导航医疗设备研发与临床应用方面取得高水平标志性成果，专利申报。
第3阶段	2025.07.01	2026.07.31	解决医疗领域关键核心技术难题，参与学术交流，在全国范围内进行平台成果转化推广会，进一步扩大临床应用场景，为更多的医院提供规模化的服务，推动产学研融合，发表高质量文章。
第4阶段	2026.08.01	2026.12.31	推广相关产品，建立行业标准，带动智能化手术导航产业高端化发展，完成项目考核指标，准备结题验收材料。

六、项目绩效目标¹

一级指标类别	二级指标类别	明细指标	预期绩效目标 ²
		1、专利授权数（项）	5
		（1）授权发明专利	2
		（2）实用新型	3
		（3）外观设计	0
		2、软件著作权授权数（项）	0
		3、发表论文（篇）	8
		（1）其中 SCI 索引收录数	5
		（2）其中 EI 索引收录数	3
		4、著作（部）	0
		5、制订标准数（项）	0
		（1）国际标准	0
		（2）国家标准	0
		（3）行业标准	0
		（4）地方标准	0
		（5）企业标准	0
	其他成果	1、填补技术空白数	\
		（1）国际	
		（2）国家	
		（3）省级	
		2、获奖项数	\
（1）国家奖项			
（2）部、省奖项			

		(3) 地市级奖项	
		3、其他科技成果产出	\
		(1) 新工艺（或新方法模式）	
		(2) 新产品(含农业新品种)	
		(3) 新材料	
		(4) 新装备（装置）	
		(5) 平台/基地/示范点	
		(6) 中试线	
		(7) 生产线	
		4、研究开发情况	\
		(1) 小试	否
		(2) 中试（样品样机）	否
		(3) 小批量	否
		(4) 规模化生产	否
	人才引育	1、引进高层次人才	3
		(1) 博士、博士后	2
		(2) 硕士	1
		2、培养高层次人才	8
		(1) 博士、博士后	3
		(2) 硕士	5
产业化情况	新增产能（台/套/只等）	/	
	新增产能利用率%	/	
效果类指标	经济效益	1、新增产值（万元）	0
		2、新增销售（万元）	0

		3、新增出口创汇（万美元）	0
		4、新增利润（万元）	0
	社会效益	1、新增税收（万元）	0
		2、新增就业人数	0
		其中：本科以上就业人数	0
		3、就业培训（人次）	0
		4、带动农民增收（万元）	0
		5、农户培训（人次）	0
		6、新增产业带动情况（列举情况）	/
		7、技术集成示范（项）	0
		8、建立农业示范基地（亩数）	0
		9、节约资源能源（列举）	0
10、环保效益	/		
其他需要说明的情况		无	

1

七、项目可行性研究报告¹

(一) 项目立项的必要性²

1、国内外技术发展趋势³

在当前全球医疗科技领域，微创化手术智能导航平台的研究与发展呈现出显著的进步，这一趋势在国际与国内层面均有所体现。国际上，尤其在美国和欧洲，人工智能（AI）与机器学习技术在手术规划与导航方面的应用已取得显著成果，这些技术提高了手术的精确性和安全性。机器人辅助手术系统，如达芬奇手术机器人，已广泛应用于多种手术类型，特别是在泌尿科和妇科手术中表现突出。此外，3D 打印、增强现实（AR）和混合现实（MR）技术的融合应用，为手术导航提供了更高的精确度和操作便利性，特别是在神经外科和骨科领域。

在我国，随着政府对医疗健康领域技术创新的重视，以及在“健康中国 2030”⁵规划的指导下，国内医疗科技特别是智能医疗设备的研发正快速发展。中国在人工智能、机器视觉和机器人技术领域的研发进展迅速，且在医疗应用上展现出巨大潜力。国内外学术机构和企业的合作推动了这些技术在临床上的应用。此外，中国庞大的人口基数和不断增长的医疗需求为微创化手术智能导航平台提供了巨大的市场潜力。

结合国际与国内的研究现状，当前微创化手术智能导航平台的立项具有重要⁶性。首先，该项目响应了全球医疗科技的发展趋势，尤其是在人工智能和机器人技术在医疗领域的应用上。其次，立项能够促进医疗技术的创新，特别是提高手术安全性和效率，满足临床医生对手术精确度和操作便捷性的需求。此外，项目的实施对于提升国内医疗服务质量，减少医疗事故，降低医疗成本具有显著的社会和经济效益。因此，从技术发展和社会需求的角度来看，建设微创化手术智能导航平台具有迫切性和重大意义，对于推动国内外医疗科技的发展具有重要贡献。

2、项目技术攻关的必要性⁷

在当前的医疗科技发展背景下，针对“微创化手术智能导航平台”的各个关键⁸组成部分，深化其技术攻关的必要性是至关重要的：

首先，针对术前多模态患者数据个性化手术方案定制系统，该系统的构建强⁹调了基于医疗大数据的精准化、数字化手术智能导航体系的必要性。通过三维术

前影像智慧可视化评估模块，能够对患者的具体病理情况进行更深入的分析，这对于制定个性化和精准的手术方案至关重要。同时，全手术流程 MR 术前模拟模块为手术团队提供了仿真训练环境，这不仅提高了术前准备的质量，也极大地减少了手术中可能出现的意外。术前影像组学为基础的术中特殊事件预测模块，则利用先进的分析技术，为手术中可能发生的特殊情况提前做好准备，这对于提高手术的成功率和患者的安全性具有重大意义。

关于术中智能辅助决策系统，其重要性体现在对高效、精准的术中决策支持的需求。微创术中人工智能医疗辅助硬件加速模块的引入，不仅提升了数据处理的速度和效率，而且通过基于多模态深度学习算法的术中实时分割手术内容评估模块，可以在手术进行过程中提供实时的分析和指导。这种技术的应用对于提高手术的精确性和减少医疗错误具有决定性的作用。此外，双通道磁锚定荧光专用腹腔镜设备的使用，不仅改善了手术视野，而且提高了手术操作的精准度和安全性。

此外，建立智能化多功能人才培养体系的必要性也不容忽视。在医疗资源相对紧张背景下，特别是面临创新性复合型医学人才短缺的挑战，这一体系的建设对于培养具有创新能力和实战经验的医学人才至关重要。通过智能手术导航平台的应用，为医生和医学生提供了实战训练和创新实践的平台，不仅提升了他们的职业技能，也为未来医疗挑战的应对培养了关键人才。

最后，从综合评述的角度来看，该平台的建设将依托建设单位，成为人工智能与智慧医疗的示范基地，这不仅对医疗行业内的技术创新具有重要意义，还将对整个医疗产业链的发展产生深远影响。它将牵头制定相关的行业和产业标准，为医院、高校、科研院所及企业乃至政府提供技术支持和平台服务，促进创新链和产业链的融合，这对于推动国家医疗科技的整体进步和公共卫生水平的提升具有不可估量的价值。因此，从技术攻关的角度来看，立项和发展“微创化手术智能导航平台”不仅是医疗科技进步的必然要求，也是对国家和社会健康福祉的重要贡献。

3、项目的市场需求分析⁵

在当前的医疗领域中，微创化手术智能导航平台正成为一项重要的技术革新，以其显著的应用潜力和市场价值来应对不断增长的精准化、个性化医疗需求。具体而言，该平台的术前多模态患者数据个性化手术方案定制系统，通过集成和

深度分析大量医疗数据，为患者提供高度定制化的手术方案。这种系统不仅大幅度提升了手术规划的精确度，而且通过个性化的治疗计划满足了患者对高质量医疗服务的期望，从而在市场中占据重要地位。

进一步地，术中智能辅助决策系统的研发回应了医疗领域迫切的需求——提升手术安全性和操作效率。该系统结合了先进的机器学习算法和实时数据处理能力，能在手术过程中为医生提供精确的辅助决策信息。这不仅极大地减少了手术过程中的风险，还提高了手术的整体效率，对于优化医疗资源分配和提升医院的运营效能具有重大意义。

在人才培养方面，该平台的智能化多功能人才培养体系对医疗市场的长期需求具有显著响应。在当今快速演进的医疗技术环境中，培养一批既精通最新医疗技术又具备创新精神的医疗专业人才变得尤为重要。这一体系不仅提升了医疗人员的专业技能，而且激发了他们的创新潜力，对于提升整体医疗服务质量、应对日益复杂的医疗挑战发挥了关键作用。

从宏观角度来看，微创化手术智能导航平台的开发与运用与国家卫生政策和公共健康需求紧密相连。它不仅提高了医疗机构的服务效率和手术安全性，还在医疗技术创新、产业融合和行业标准制定方面起到了推动作用。综合来看，微创化手术智能导航平台不仅满足了目前市场的多维需求，也为医疗行业的未来发展铺开了新的路径，具有深远的市场影响力和社会价值。

（二）项目主要研究内容及创新点⁵

1、主要目标及考核指标，包括申报项目与所属指南方向的关联关系⁶

1.1 主要目标：⁷

1.1.1 聚焦国家医药卫生与健康领域的重大需求：本项目旨在响应《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》中提出的先进治疗设备及服务需求，特别是在实时运动跟踪、图像引导、适形调强等先进功能方面。通过基于医疗大数据的研发工作，我们的目标是构建一个精准化、数字化的手术智能导航体系，旨在有效提升手术患者的远期生存率与生活质量，符合国家对先进医疗技术的追求和大健康战略的要求。

1.1.2 针对医疗资源紧缺问题：本项目计划通过智能手术导航平台，解决医疗资源尤其是创新性复合型医学人才的短缺问题。这与《陕西省高新技术产业发展条例》和《陕西省 2022 年政府工作报告》中提出的促进融合提质、鼓励企业和

高等院校合作、推动产业数字化转型的精神相契合。我们计划搭建一个青年医生及医学生创新培养平台，为保障人民生命健康培养一支有创新、能战斗的人才队伍。

1.1.3 建设人工智能与智慧医疗的示范基地：依托本平台建设单位，我们的目标是建成一个人工智能与智慧医疗的示范基地。这将与《陕西省发展和改革委员会关于组织开展 2023 年度创新平台建设项目征集工作的通知》中提出的创新平台能力提升项目相呼应。我们计划牵头制定行业、产业等相关标准，并为医院、高校、科研院所及企业，甚至政府提供相关技术支持和平台服务，促进创新链和产业链融合，推动产业高端化发展。

本项目的主要建设目标不仅紧密结合了国家的战略规划，如《战略性新兴产业重点产品和服务指导目录》、《陕西省高新技术产业发展条例》及《陕西省 2022 年政府工作报告》，而且还与国家大健康战略、数字化转型和创新人才培养的总体要求相契合，展现了项目的深远意义和广阔前景。

1.2 主要考核指标：⁴

专利成果方面，本项目预计申请并获得至少 2 项授权发明专利，这些发明专利将围绕平台的核心技术，如智能导航算法、手术设备的创新设计等领域。此外，项目还旨在申请并获得 3 项实用新型专利，这将涉及平台的实用性改进，如用户界面设计、硬件优化等方面。这些专利不仅证明了项目在技术创新方面的实力，也为后续的技术应用和市场推广打下了坚实的基础。

学术论文发表方面，本项目计划在国际知名的学术期刊上发表至少 5 篇被 SCI 索引收录的论文，这些论文将详细阐述项目在智能手术导航技术、临床应用研究等方面的最新发现和研究成果。同时，项目还预计在相关学术期刊上发表 3 篇被 EI 索引收录的论文，进一步证明了项目在工程技术领域的实用价值和创新性。这些高质量的学术论文不仅提升了项目的学术影响力，也为医疗领域的科研人员和实践者提供了宝贵的参考和启示。

人才引进方面，本项目致力于引进 3 名高层次人才，包括 2 名博士或博士后研究人员和 1 名硕士研究生。这些人才将在智能手术导航技术的研发、临床应用研究和项目管理等多个方面发挥关键作用。博士和博士后人才的引进，将为项目带来最前沿的科研理念和深厚的专业知识，而硕士级人才则将为项目的具体执行和技术实现提供强有力的支持。通过这样的人才结构，项目不仅能够保持科技

创新的活力，还能确保研究成果的有效转化和实际应用。¹

2、研究与开发内容²

外科手术切除仍是肿瘤治疗的主要手段，在以微创为核心的精准外科理念³下，新建的微创化手术智能导航平台，通过最新的人工智能分析手段，利用多尺度多模态信息融合的大数据分析方法，辅助外科医生对手术患者进行术前方案规划、术中智能导航，提高患者肿瘤精准治疗和生活质量。同时，建成符合现代医学发展及临床需求的医学创新人才培养平台。

2.1 术前多模态患者数据个性化手术方案定制系统⁴

不同的患者因个体解剖差异，手术的入路与规划也不完全相同。如图 1 所示，⁵根据每位患者术前的多层螺旋 CT 平扫与磁共振成像影像学检查数据对其进行手术目标脏器三维重建，利用三维重建模型明确手术部位的脉管空间系统和重要血管与神经组织间关系；同时通过血管流域分析精准化划分解剖区域，进行脏器面积与功能的计算评估，最大程度上保留有效功能区并做到肿瘤完整切除；虚拟化的重建系统可以直接内置于 MR 设备中，在术前不断进行手术路径与切除方式规划，降低主刀术者对于既往经验的依赖。同时功能性的人工智能分析在明确手术入路基础上还可以利用影像组学预测潜在的血管癌栓、微血管浸润、术中重要组织脏器粘连和腹壁侵犯转移等特殊事件的发生，从而优化术中流程，为每位患者在术前制定精准化、流程化的综合诊疗方案，争取最大的临床获益。

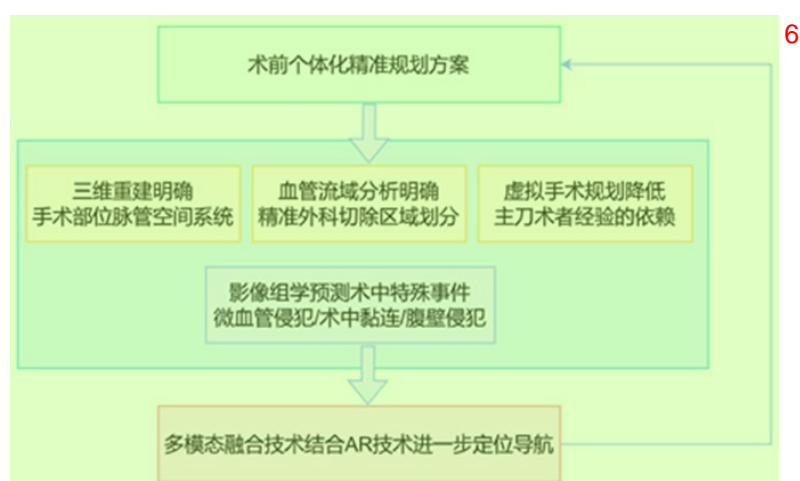


图 1 术前多模态数据精准规划个性化方案⁷

2.1.1 三维术前影像智慧可视化评估模块⁸

对患者术前的临床资料、血清学化验指标、影像学检查指标如腹部平扫+增强计算机断层扫描(computerized tomography, CT)、腹部平扫+增强核磁共振等归⁹

纳收集,搭建手术切除部位系统性的三维重建模块,利用目前最新的光线投射法,产生高质量模型明确手术过程中重要组织与脉管边界。现有的系统可以自动配准多期 CT 数据,无需手动切换多期相增强影像,方便医生多维度定量评估和分析病灶,根据相关数据自动计算病灶体积、长短径。如图 2 所示,以肝胆外科为例,该系统可以量化病灶在各肝段的占比,同步自动计算肝脏体积、肝叶比例、肝脾比等量化指标,结合肝脏形态进行智能分析,动态三维渲染后清晰地展示肝脏形态、肿瘤位置与血管流域,利用流域分析技术精准制定手术切除范围,定制手术规划。

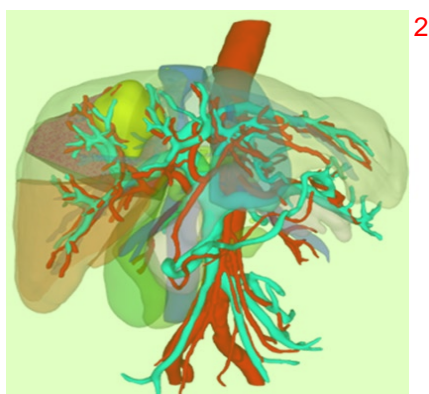


图 2 术前三维重建模型

对于解剖性肝切除的病人,如图 3 所示,术前普美显增强 MR 可明确患者病灶数量及位置,术前数字化精准定量评估,制定手术切除区域,计算残余肝脏面积。对于患者的手术入路应考虑切肝线与平面,循着肝段之间的乏血管间隙来切除,有效避免剩余肝脏脉管结构损伤。针对肿瘤侵犯范围大、预计切除后剩余肝脏体积不足的肝脏占位患者,通过术前评估后可利用多期手术来进行联合肝脏离断及门脉结扎的分次肝切除术(associating liver partition and portal vein ligation for staged hepatectomy, ALPPS),先通过一期手术将有占位侵犯的肝脏与正常肝脏离断并结扎患侧门静脉,待健侧肝脏长到足够体积后,行二期手术彻底切除患侧肝脏。

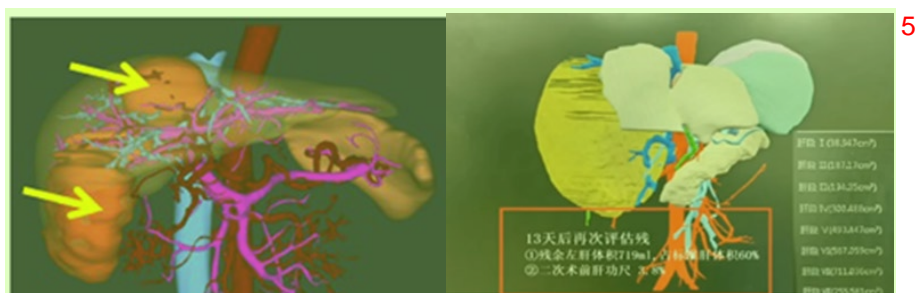


图 3 术前多阶段病灶三维重建显像

2.1.2 全手术流程 MR 术前模拟模块¹

混合现实(Mixed Reality, MR)是指透过摄影机影像的位置及角度精算并加上²图像分析技术,让屏幕上的虚拟世界能够与现实世界场景进行结合与交互的技术。在各科室医生中,外科医生是最早采用可以增强手术和患者体验技术工具的人。其应用的方面包括手术规划、手术广播和记录、解剖评估、远程指导和医学教育。将建好的模型导入 MR 中,实时、高精度地为外科医生展示重建模型,外科医生可以在术前通过高仿真全脏器训练系统初步训练来模拟手术流程,将腹部模型进行术前影像建模后与操作器械共同置于一个坐标系中,通过验证算法对特征点进行提取和处理,在清晰的虚拟手术视界中不断摸索评估最佳的手术入路,确定手术时患者的体位及拟定穿刺孔的位置、拟切除范围以及处理重要血管的方式、游离脏器的次序方向与实质脏器的离断方式与角度,制定手术中的解剖路标,减少因术中无效步骤给患者带来的创伤,有效缩短手术时间。同时也可以有效减少主刀术者对手术实践经验的依赖,加速学习成长曲线。

2.1.3 以术前影像组学为基础的术中特殊事件预测模块³

目前相关的影像组学技术在原发性肝癌领域已经有大量的应用,可在术前采⁴用 radiomics 技术定量分析术前影像 CT 数据中的多种影像特征。将影像特征与 BMI、MELD、AFP 等临床指标相结合综合构建一套预测模型,即可实现有效地预测肿瘤组织出现微血管侵犯(MVI)、术中组织粘连、胆管异常、淋巴结转移等特殊事件的发生情况,来更好的方便术者精准规划手术路径,规避相关风险。该预测模型不仅可以辅助外科医生制定一套较全面且精细化的手术方案,而且还可以提高患者的总体预后。

2.2 术中智能辅助决策系统——人工智能术中导航医疗设备⁵

平台利用人工智能为临床外科手术赋能,以精准、实时理念为核心,提供了⁶一套术中全流程的智能辅助决策模块。利用本课题组全球首创的微创图文手术记录系统,持续稳定收集了多中心多区域大型三甲医院的大量腔镜手术视频数据,并在资深临床专家指导下建立术中影像数据集,在其基础上进行算法构建,包括手术过程识别、手术器械识别、解剖结构识别、手术动作识别、操作安全性评估、术中重要特殊事件识别等多种应用场景,建立了一套微创内镜术中实时分析解剖结构部位的智能分析识别系统,以及以术中图像去雾优化手术步骤的术中影像智能增强系统。并且利用术中超声、双通道磁锚定荧光成像设备建立功能性荧光成

像系统，结合术前三维重建 MR 模型，在术中根据特殊解剖位置、功能性解剖线¹的呈现等多模态方式优化手术路径，避免术中相关并发症。

2.2.1 微创术中人工智能医疗辅助硬件加速模块²

目前已完成适用于肝胆胰、胃肠等微创术中人工智能医疗辅助硬件加速系统³的开发工作。基于医院端现有数字化平台建设，在医院端布置边缘计算加速服务器，缩短术中实时数据传输时间，实现术中实时医疗辅助，通过内网进行数据传输和分析保障医疗数据安全，实现手术记录的及时性、唯一性，杜绝手术记录中大量复制现象的出现。经语义分割处理后将术中视频回传至手术室大屏幕，辅助医生进行术中决策。同时，医院端布置边缘计算人工智能加速服务器可以与多中心训练云端进行安全互通，实现微创术中影像医疗辅助算法模型的快速更新，为临床医生手术实施提供更为精确的辅助。

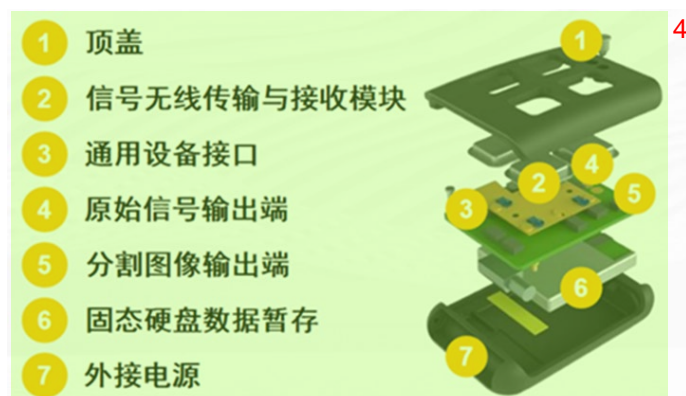


图 4 微创手术内镜影像记录分析设备⁵

项目实现了微创术中影像记录分析软硬件系统搭建，并且在医院端构建边缘⁶计算人工智能加速服务器硬件平台，对采集到的术中影像进行硬件加速，满足术中实时导航的低延迟及算力需求。如图 4 所示，本平台自主设计研发微创手术内镜影像记录分析仪，包含信号无线传输与接收模块、通用设备接口、原始信号输出端、分割图像输出端、固态硬盘等重要组成部分，其可有效提高术中导航与决策的有效性与准确性，减小临床外科医生工作负担，自动持久获取真实术中影像数据，自动构建临床术中影像数据库。

为满足医院内部署边缘计算人工智能加速服务器硬件平台对术中影像检测⁷的实时性要求，选择以剪枝量化后的深度 YunTrans 网络作为基础检测算法，对于术中视频影像进行实时检测。如下图 5 所示为项目定制的术中实时影像目标检测网络相关结构示意图。

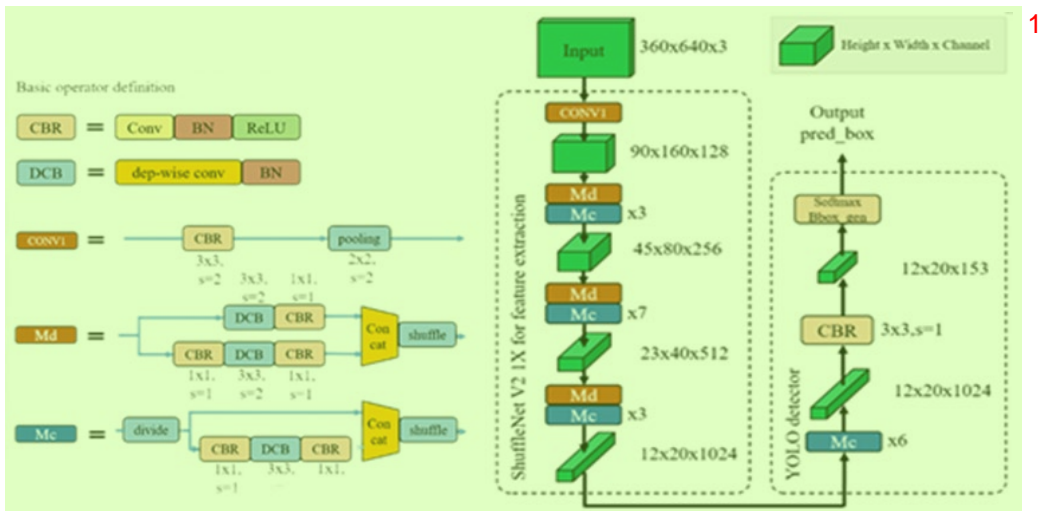


图 5 部署端医疗影像人工智能识别网络结构示意图

微创术中影像记录分析设备中搭载的医疗影像预处理加速硬件为通用加速器硬件 HiPU，其特殊的硬件结构可以更有效地调度运算整体流程，实现术中实时人工智能影像分析加速，下图 6 为 HiPU 设计框图及其特性。HiPU 工作频率为 233MHz，其峰值算力为 268Gops，卷积效率平均在 80%以上，可有效的对于采集到的医疗影像进行预处理，减轻后端实时导航算法的分析负担。

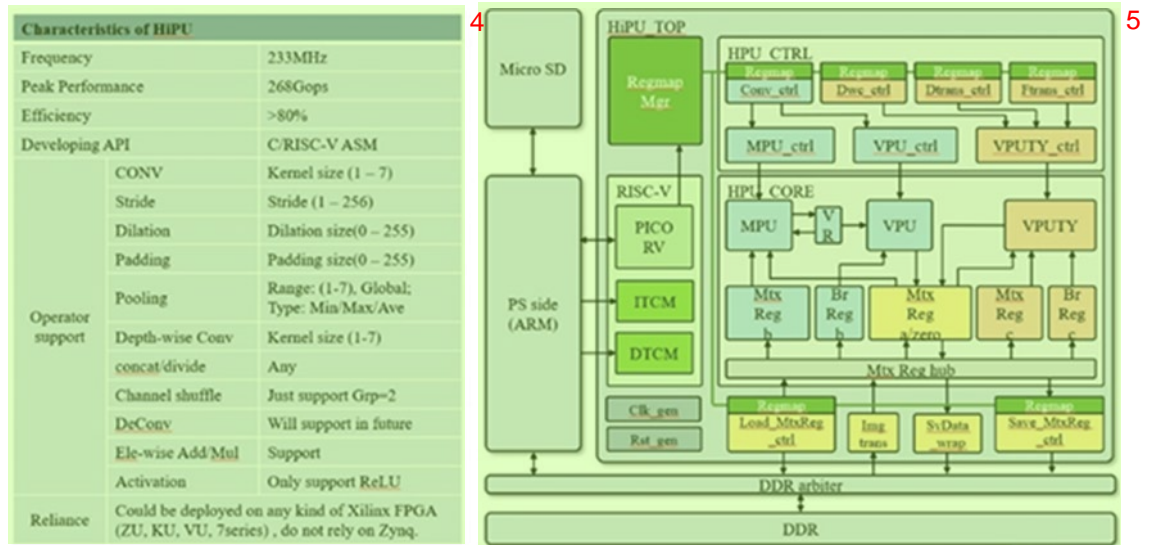


图 6 HiPU 的结构框图与特性

2.2.2 基于多模态深度学习算法的术中实时手术内容评估模块

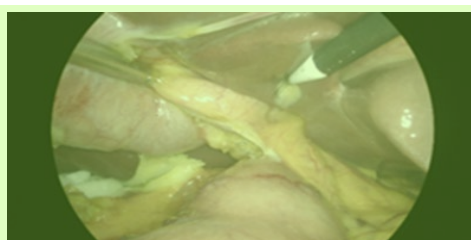


图 7 微创内镜实时影像图

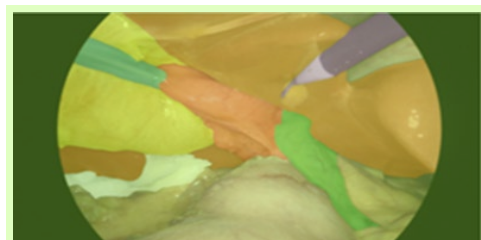


图 8 微创内镜实时影像分析像图

平台构建了基于术前影像先验信息的实时术中多模态语义分割模型及术中影像记录与分析加速硬件系统，评估切除区域组织脏器实时相对位置，保证肿瘤组织切缘阴性的同时保障肿瘤区域完整性切除，以最大程度保障残余肝功能。如图 7 所示为通过微创手术腹腔镜影像记录分析设备，采集到的微创内镜实时影像图，图 8 所示为微创内镜实时影像分析像图，可见术中实时手术内容识别辅助系统可对于手术内容进行实时精确划分。

平台建设的多中心高精度术中影像分析数据库，为手术影像识别分析技术提供优质数据资源保障，提升术中影像识别算法的效率与准确率。进一步，为更好满足术中实时辅助需要，将在院内搭建术中智能数据实时分析加速平台，使用定制化加速硬件装置，为多类临床术中数据分析与应用任务提供高算力、低延迟保障。语义分割处理后的术中影像视频也将回传至手术室屏幕，实现去除术中电刀、超声刀等器械产生的噪影、对重要解剖脏器的边界识别、术中风险等级评估及手术操作指导等术中辅助功能，提升手术决策准确度。为了更好地减少手术随附损伤，平台建立术中可交互的高精度 AR 可视脏器模型，将手术切除部位在 AR 中同步显示，更好地辅助医生探查血管神经等位置走向。

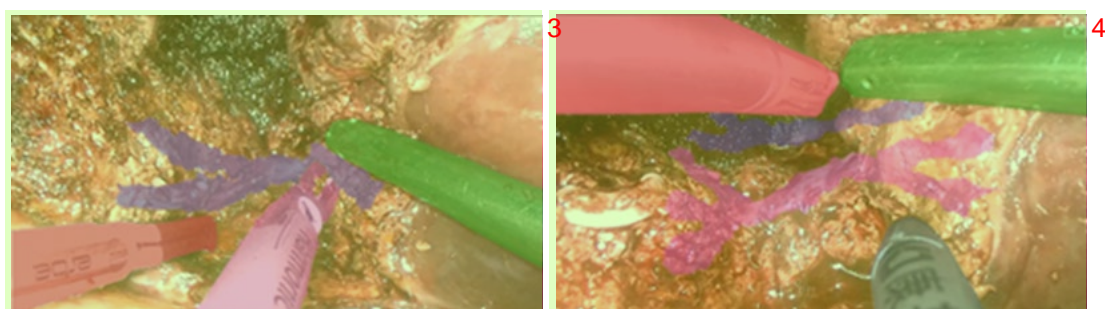


图 9 术中血管及器械智能识别

结合基于标准化手术流程及突发状况处理流程的术中影像流程标注数据集的实时术中进程识别与应急状况探查方法，明确手术整体流程，评估潜在重要血管损伤风险，有效减少术中并发症的发生；同时准备应急预案，如出现不可避免的术中血管损伤后处理办法，最大程度上减少相关并发症，尽快明确出血位置的同时利用现有手段快速止血，避免延长手术时间，减少对患者的损伤。如图 9 所示为复杂微创术中血管及器械智能识别结果图，可见实时术中进程识别与应急状况探查方法可对于手术潜在损伤进行有效探查。

术中空气栓塞指手术过程中气体进入静脉或动脉系统，可引起低氧血症、高碳酸血症，严重时会导致肺动脉栓塞、心衰等并发症，最佳治疗方式是迅速而有

效的重要生命功能的支持和保护。为了避免此类并发症在术中我们需要将肝静脉更精细地解剖，防止进一步损伤，同时对于术中出现的静脉破口及时缝合、凝闭，隔绝血液系统与气腹的长间接接触。因此人工智能监管下可辅助提示术者在有需要暴露血管的情况出现时可适当地降低气腹压力，给予正压通气，并维持一定中心静脉压，术中可定时检查血气指标。

2.3 基于强化学习和小样本监督学习的术中影像智能增强模块

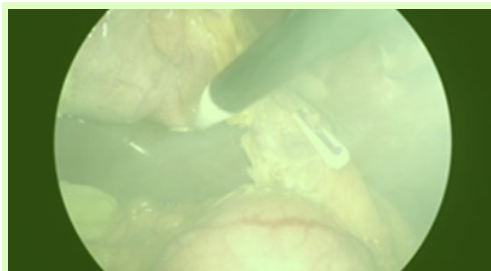


图 10 浓雾场景下内窥镜影像图

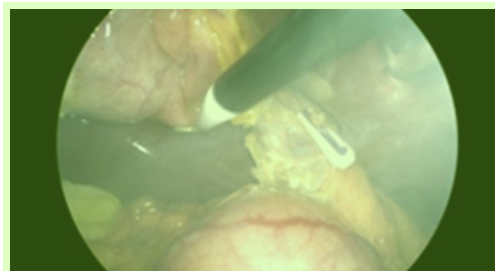


图 11 内窥镜影像自动去雾结果图像

在腹腔镜手术中无烟可视化是一个首要问题，烟雾的产生会降低术中医生的可视化程度，导致医生无法对患者异常状况进行及时处理，同时也导致术中影像分析算法在深度估计、语义分割和组织及工具定位等方面的性能不佳。目前腹腔镜主要利用疏散技术排烟等物理方式解决术中烟雾问题，这种方式需要对于现有腹腔镜设备进行额外改造。本平台研发出基于强化学习和小样本监督学习的术中影像智能增强模块，以纯算法的方式，实现了术中腹腔镜影像的实时自动去雾，使烟雾不再影响微创术中医生的视野。如图 10 所示为浓雾场景下内窥镜影像图，图 11 所示为在术中影像智能增强系统下，内窥镜影像实时自动去雾结果图像，可见术中影像智能增强模块可对内窥镜影像进行有效去雾。

同时该系统利用强化学习以及视频间影像的上下文关联性学习，实现了对于腹腔镜血污的自动视觉消除。在患者突发出血模糊镜头的状况下，依然可以通过算法对术中突发的血污画面进行视觉消除，实现自动去血污效果。通过减少清洗镜头的时间，为手术主刀医生争取更多时间处理术中突发事件，为患者救治提供有力基础保障。

2.4 双通道磁锚定荧光专用腹腔镜设备

平台已研制了一套术中肿瘤病灶定位导航系统，实现可见光信号与荧光信号同时激发和采集的双通道磁锚定荧光专用腹腔镜，该设备从开放式荧光手术导航系统到磁锚定内置镜头和磁锚定荧光专用腹腔镜再到双通道磁锚定荧光专用腹腔镜，逐步更新迭代完成。通过将荧光成像技术引入微创术中定位导航领域，研

制磁锚定荧光专用腹腔镜，在保证腹腔镜微创性及操作性的基础上，实现病灶定位的精确性，通过肝切除术彻底清除病灶的目标。

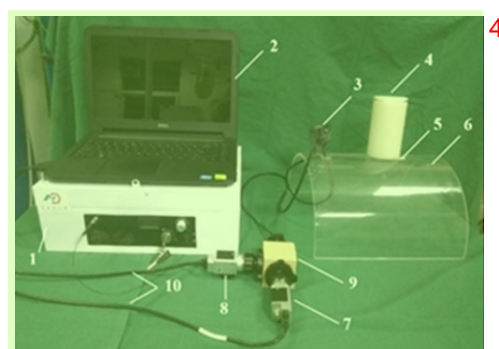


图 12 开放式荧光手术导航系统实物图 3 图 13 双通道磁锚定荧光专用腹腔镜实物图 5

研制了三种先进的荧光导航手术系统，显著提高了手术中肿瘤定位和规划的准确性。首先，开放式荧光手术导航系统通过整合激发和采集组件，提供了高效的荧光成像，特别适用于开腹手术中的肿瘤定位。其次，磁锚定荧光专用腹腔镜系统结合磁锚定技术和荧光成像，减少了传统腹腔镜手术的切口数量，提高了微创性和操作便利性。最后，双通道磁锚定荧光专用腹腔镜的研制，集成了常规彩色成像和荧光信号采集，进一步提升了肿瘤识别和区分周围组织的能力。这些系统的开发代表了手术技术的重大进步，为提高手术安全性和效率提供了强有力的技术支持。

2.5 术中荧光成像结合 AR 明确手术切除路径 7

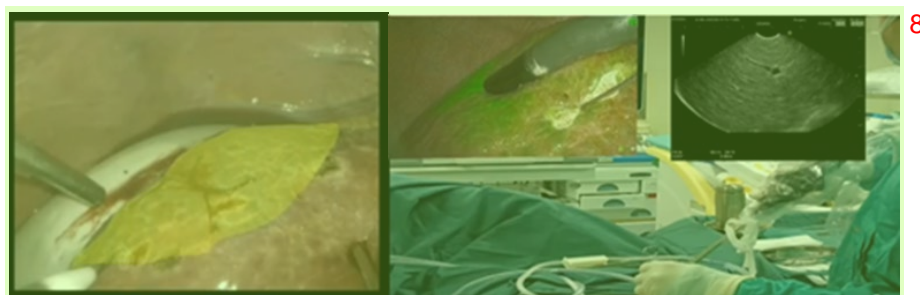


图 14 术中荧光腹腔镜功能性解剖区域显像系统 9

术中结合超声穿刺定位肿瘤营养血管后染色，进行功能性解剖区域正染、反染，利用肿瘤特异的功能性荧光成像技术在术中实时优化术者决策，术中荧光腹腔镜功能性解剖区域显像系统如图 14 所示，其可有效地明确手术切除边界，助力临床改进精准术式。

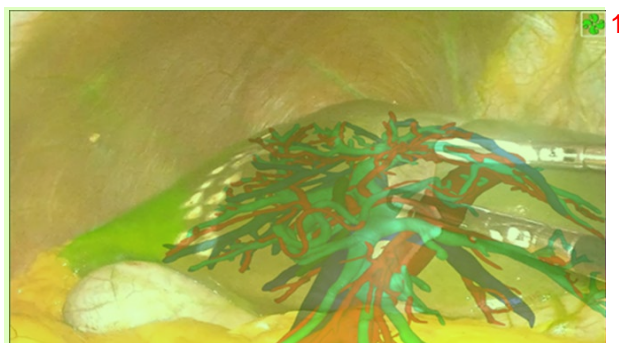


图 15 基于增强现实技术的术中荧光腹腔镜三维影像显像系统²

将 AR 技术与术前影像三维重建的 AR 信息融合创新软硬件系统设计，匹配³术中 AR 三维影像与术中实时影像的非同质信息融合定位与配准技术，整体系统效果如图 15 所示。利用术前规划好的解剖基准点作为参照物，实时地将手术患者脉管系统投影于 AR 眼镜中，术中根据抬头唤醒实时明确手术重要解剖部位，做到术中肝段界限可视化，更直观地呈现目标肝段的分界线，尤其是对合并肝硬化的肝缺血首先进行校正，有效减少术中血管神经损伤，避免医源性二次伤害；此外，还可实时提示是否偏移术前规划路径，做到路径矫正与实时分析，优化手术流程，造福每一位手术的患者。

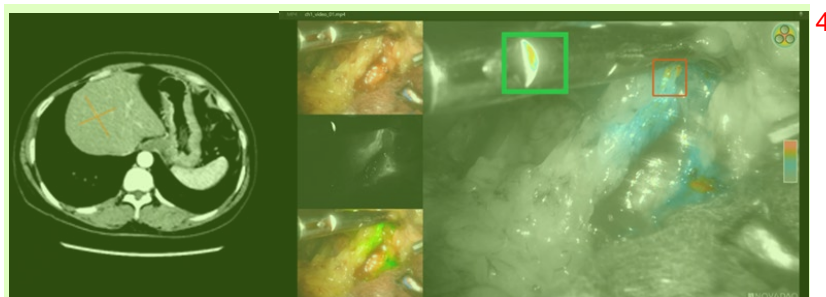


图 16 荧光成像下智能识别微小转移灶⁵

功能性荧光成像技术也可助力术者在术中发现肿瘤多发病灶，结合深度学习⁶目标检测算法分析后可有效地发现肉眼难以察觉到的微小转移灶，荧光成像下人工智能微小转移灶识别效果如图 16 所示，可有效实现术中肿瘤病灶精准切除。

2.6 术中微创图文记录模块⁷

医疗文书作为医生进行临床活动主要依据，外科手术记录是临床治疗中最为⁸重要的医疗文书之一，如图 17 所示，目前手术文书记录大部分由下级医师手术后将信息录入至相关文书写作系统中，但其存在较多缺点，非主刀医师执笔、记录内容不精确、字叙述不明了且同质化严重、复制粘贴现象严重。



图 17 现有文字版外科手术记录²

同时，现有很多诊断项目，如临床病理学诊断、影像学检查、内窥镜检查等，³早已采用了图文报告的形式且有其规范要求。针对于现有纯文字外科手术记录存在的各类问题，平台构建基于外科手术影像记录设备的微创图文手术记录系统，构建出如图 18 所示的图文报告，直接反映患者的病变程度及术中处理情况，为患者后续治疗提供诊断依据，亦能作为术后医患沟通的主要凭证，减少医患矛盾，减少医疗资源的重复与浪费。除此之外，微创图文手术记录能够将专业医生的临床经验及手术流程步骤等便捷地传播给其他年轻医生，加强医学生培养。



图 18 图文报告模块生成的图文外科手术记录⁵

平台构建出的微创腔镜系统的图文记录模块，可以按照既定手术流程，根据⁶外科手术影像记录设备所记录的术中影像，帮助主刀医生快速生成微创图文手术报告，系统生成的图文手术记录如图 18 所示；未来项目将以现有海量医疗文书

作为数据基础，融合知识图谱医疗信息抽取算法，设计图文外科手术记录自动生成算法，进一步简化临床医生图文报告写作流程，赋能智能化精准医疗目标。

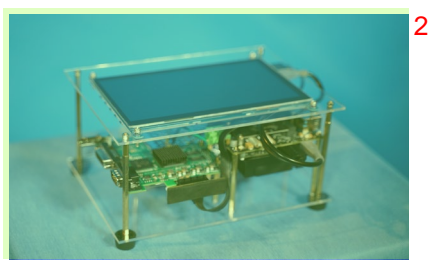


图 19 术中腹腔镜影像采集装置

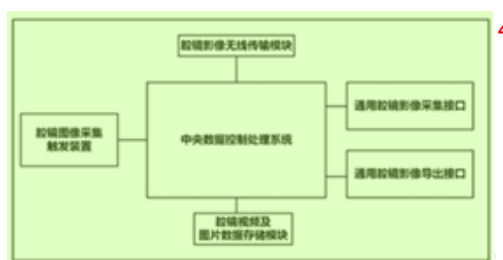


图 20 术中腹腔镜图像采集装置结构示意图

外科手术影像记录设备，如图 19、20 所示，其上通配接口方案可以适配现有主流器械厂家的腹腔镜影像输出模式，实现不同厂家、不同输出端口的腹腔镜影像采集；设备本身带有无线传输模块，实现无线术中影像的传输和储存，并与微创图文手术记录系统相连，以方便图文手术报告生成。将构建带有辅助分析功能的术中影像分析装置，对于采集到的术中影像进行分析，进一步为微创术中医生提供人工智能医疗辅助。

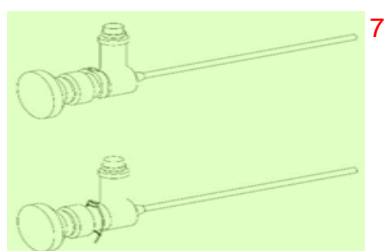


图 21 组装后术中影像采集按钮组件

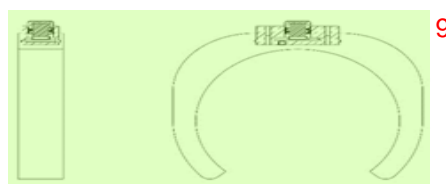


图 22 管套式术中影像采集按钮组件

外科手术影像记录设备配套有术中影像采集按钮组件，如图 21、22 所示，以方便外科手术影像记录设备进行术中影像关键帧采集，术前医生将按钮组件安装在腹腔镜影像设备中，术中医生通过按压，实现术中影像关键帧的及时采集，避免术中医生需要走到影像采集装置前进行术中影像采集，方便术中医生影像采集操作。



图 23 微创外科图文记录系统

平台研发的微创图文手术记录系统，其直接与医疗 HIS 系统、外科手术影像记录设备无线相连，自动将患者基本信息、采集术中影像接入系统，减少医疗文书书写过程中对于既有信息的繁琐复制粘贴工作。微创图文手术记录系统如图 23 所示，在手术记录增加术中图像相关内容，对纯文字手术记录进行数字化赋能，使其更为生动具体，为术后及愈后阶段医生决策提供更为全面的患者信息。

2.7 术后数字化随访定制体系²

针对每位患者在诊疗过程中动态的血清学指标、影像学数据以及手术特殊事件记录，结合患者的术后病理报告，目前本团队通过现有患者队列信息已建立了多模态的手术患者预后评估体系，并有效通过外部数据集验证，数字化量化术后复发转移及并发症发生可能，为每位患者定制长期随访治疗方案，带来更高质量的术后生活和更多的临床获益。具体地，本研究包括以下三个子部分：

2.7.1 多策略提取的肝细胞癌双期增强 CT 影像组学特征预后价值研究⁴

本研究旨在研究影像组学特征提取过程中的参数设置如 GLCM 的方向、平均策略、对称性和距离、GLRLM 的平均策略、GLSZM 的邻域大小以及 NGTDM 的窗宽大小对特征鲁棒性的影响，并评估不同参数设置下，影像特征对于肝细胞癌的鉴别性能。具体流程如图 24 所示：

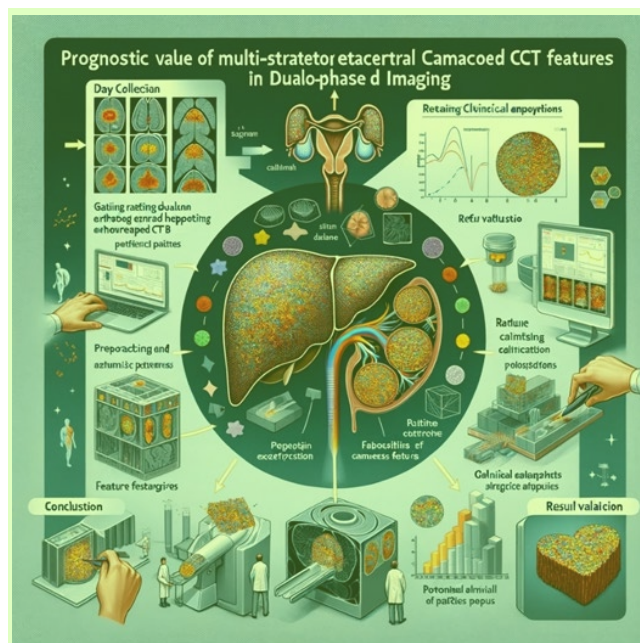


图 24 多策略提取的肝细胞癌双期增强 CT 影像组学特征预后价值研究流程图⁷

2.7.2 增强 CT 影像组学诺莫图术前预测肝细胞癌 Ki67 指标⁸

本研究旨在基于增强计算机断层扫描（CT）的影像组学列线图，预测晚期肝细胞癌患者的 Ki-67 指标。回顾性纳入 2012 年 4 月至 2022 年 8 月期间 107 例 2

周内行 CT 增强 CT 扫描和 Ki-67 检查的肝细胞癌患者。收集临床和实验室资料，¹ 根据 Ki-67 指数低表达或高表达对患者进行分类。该队列以 7: 3 的比例随机分为训练组和测试组。采用最小绝对收缩和选择算子 (LASSO) 算法从增强 CT 图像中选择最有价值的放射组学特征。随后，通过单因素和多因素 logistic 回归分析，建立了一个包含放射组学评分和与 Ki-67 指数状态相关的临床因素的列线图。利用曲线下面积 (AUC) 来评估列线图的预测性能。具体的方法如图 25 所示：

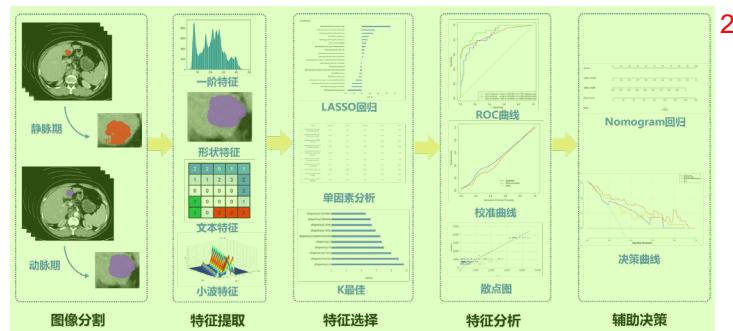


图 25 增强 CT 影像组学诺莫图术前预测肝细胞癌 KI67 指标方法图³

2.7.3 多模态多层次融合的肝细胞癌组学模型预后价值研究⁴

本研究提出了一种基于多模态多层次共生矩阵特征，提升肝细胞癌生存期预测⁵ 准确性。不同模态不同层次（图像层次、矩阵层次以及特征层次）的融合将产生不同的特征，同时提供更多有意义的病灶纹理表达，最终得到不同的模型性能。基于此，本研究通过在图像层次、特征层次以及矩阵层次整合 CT 以及病理图像所蕴含的信息，实现两个中心共计 170 例肝细胞癌患者的预后预测。具体的研究方法如图 26 所示：

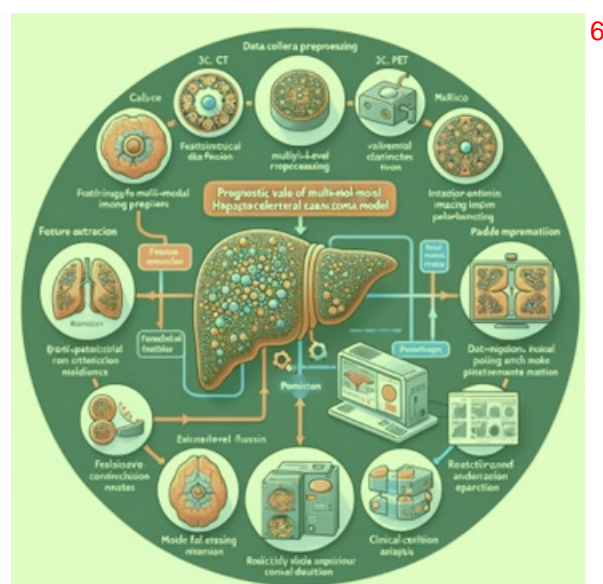


图 26 多模态多层次融合的肝细胞癌组学模型预后价值研究流程图⁷

2.8 建立智能化多功能人才培养体系¹

通过前期工作所建立的术前精准定位导航系统，术中真实影像识别分割系统²，结合新型的术后图文记录报告，可为临床人才培养提供更加生动真实的临床案例，将相关病例信息内置于虚拟现实 VR 课堂中，通过实时交互的教学模式提升医学生对术中重要部位辨识能力，更好地加强学生对于手术的实践理解，缓解医疗资源紧缺问题的同时为青年医师培训与医学生了解前沿手术内容建立虚拟的仿真教学平台。通过对不同手术的关键帧内容进行文字描述后生成匹配的图文模块，明确手术关键流程步骤，同时将手术中的重要事件及处理办法进行单独关键帧的描述，如意外损伤血管后的处理办法，让学员们明确在不同出血场景下应选择哪些对应有效地处理解决办法。

所搭建的人才培养体系主要由手术规范化流程构建与线上教学平台搭建两部分内容组成。首先对于手术规范化流程进行构建后，搭建起基于术中真实影像、标准化、可定量评价学生学习质量的线上教学平台。手术规范化流程培养可以降低因为流程不明确导致的手术恶性事件发生，同时通过课前视频预习、课上教师根据实时真实术中影像的讲解、配合教师标注的真实术中影像脏器识别图像，更好地促进学生对于相关知识系统化吸收；通过课后选择判断题、真实影像脏器识别关键点标注平台，自动定量生成学生学习效果报告，督促学生进行自查，同时给出学习薄弱的针对性学习建议，为临床医学生提供他们所需要优质资源，进一步加强临床医学生的学习效率。形成一个基于术中真实影像的流程化、规范化、自动化、评价可量化的手术教学新模式，促进临床医学生对于手术的掌握，提升临床医学生学习趣味程度，以真实影像作为学习依托，强化教学效果。

3、项目的技术关键⁴

3.1 术前多模态患者数据个性化手术方案定制系统技术关键分析⁵

本系统核心技术在于整合多模态医疗数据，为患者定制个性化手术方案。技术难点主要集中在高效地处理和分析大量异构数据，以及精确模拟复杂的手术环境。创新点在于采用先进的数据融合技术和人工智能算法，实现手术方案的精准定制和优化。此方案采用的关键技术包括三维重建、混合现实（MR）和影像组学分析，这些在医疗行业内已经逐渐成为共性技术。而公益技术方面，通过提高手术精确度和减少术后并发症，项目将对提高公共健康水平产生显著影响。技术路线涵盖从初步数据收集和处理，到深度分析、模拟、预测和方案优化的全过程。⁶

3.1.1 三维术前影像智慧可视化评估模块¹

模块的技术难点在于从复杂的医学影像数据中准确重建三维模型，尤其是对脉管和神经组织的精细刻画。创新点体现在利用最新的光线投射技术，提高模型的质量和重建的准确性。该模块使用的关键技术包括高级图像处理和三维重建算法，这些技术在医疗领域具有广泛的应用。公益技术方面，模块通过提高手术规划的精确度，有助于减少术中风险，提高患者治疗效果。技术路线包括数据收集、预处理、三维重建和动态渲染。

3.1.2 全手术流程 MR 术前模拟模块³

全手术流程 MR 术前模拟模块的技术难点在于实现高精度、实时的虚拟现实集成和操作。创新点在于运用 MR 技术模拟整个手术流程，为外科医生提供术前训练和规划工具。关键技术涵盖了增强现实、图像分析和虚拟与现实世界的交互技术。此模块的公益技术性在于它提供了一个风险较低的训练环境，有助于提升手术技能，降低手术风险。技术路线涉及模型导入、MR 集成、实时反馈和术前规划。

3.1.3 以术前影像组学为基础的术中特殊事件预测模块⁵

该模块的技术难点在于将影像特征与多维临床指标融合，构建准确的预测模型。创新之处在于应用影像组学技术，结合人工智能算法，预测术中可能发生的特殊事件，如微血管侵犯、组织粘连等。这一模块的关键技术是高级数据分析和机器学习算法。公益技术方面，预测模型有助于优化手术规划，减少意外事件，改善患者预后。技术路线涵盖数据集成、特征提取、模型构建和预测分析。

3.2 人工智能术中导航医疗系统技术关键分析⁷

“术中智能辅助决策系统”的整体设计致力于提高外科手术的精准度和安全性。这一系统的核心在于实时处理和分析复杂的术中数据，利用先进的人工智能技术为医生提供即时的决策支持。系统的技术难点主要集中在快速、准确地处理大量术中数据，并确保信息传输的安全性和稳定性。其创新之处在于融合了多模态深度学习、强化学习及高级图像处理技术，实现了对手术过程的实时辅助和优化。

系统的关键模块包括微创术中人工智能医疗辅助硬件加速模块、基于多模态深度学习算法的术中实时手术内容评估模块、基于强化学习和小样本监督学习的术中影像智能增强模块、双通道磁锚定荧光专用腹腔镜设备、术中荧光成像结合

MR 明确手术切除路径及术中微创图文记录模块。每个模块都针对特定的技术挑战，如实时数据处理、精确的手术内容评估、影像质量的提升、精确的肿瘤定位和术中路径规划，以及详细准确的手术记录。创新点在于这些模块的结合使用，提供了一个全面的、智能化的术中辅助系统。

在行业共性技术方面，系统采用了医疗领域中常见的实时影像处理和数据分析技术，但通过引入深度学习、边缘计算以及图像增强技术，显著提高了手术过程中数据处理的速度和准确性。公益技术方面，系统通过减少手术并发症、提高手术成功率，能显著提高公共卫生水平并减轻医疗系统的负担。

整体技术路线包括数据的收集（如手术视频）、数据的处理和分析（利用 AI 算法），以及提供实时反馈给外科医生以优化手术决策过程。通过这种综合性的技术应用，术中智能辅助决策系统不仅提升了手术的安全性和效率，也为医学教育和临床决策提供了强有力的支持。

3.3 智能化多功能人才培养体系关键分析⁴

智能化多功能人才培养体系的核心在于利用最新的医疗技术和教育理念，为临床医学人才提供高效、实践性强的培训。技术难点主要集中在如何有效融合术前定位导航系统、术中真实影像识别分割系统以及术后图文记录报告，创建一个综合、互动的混合现实(MR)教学环境。

这一体系的创新点在于将真实的手术影像和案例集成到 MR 课堂中，通过模拟真实手术场景，提升医学生的临床技能和决策能力。该系统的关键技术包括高级影像处理技术、虚拟现实技术及互动式教学方法。从公益角度来看，此系统通过提升未来医生的技能，能够有效缓解医疗资源紧张的问题，提高整体医疗服务水平。技术路线包括手术过程的标准化和规范化流程构建，以及基于真实术中影像的线上教学平台开发，同时结合课前预习、实时讲解和课后评估，形成一个全面、高效的教学体系。这种基于真实手术场景的教学模式不仅提高了学习效率，也增强了学习的趣味性和实用性，为临床医学生提供了宝贵的学习资源。

（三） 技术、经济效益⁷

1、技术经济效益分析（含经济效益、社会效益）⁸

1.1 经济效益分析：⁹

1.1.1 提升手术效率和降低成本¹⁰

“微创化手术智能导航平台建设”项目通过提高手术精准度，能够显著提升¹¹

手术效率。减少手术时间意味着可以在同一手术室完成更多的手术，增加医院的手术量和收入。同时，精准手术减少了术中出现意外的概率，从而降低了额外医疗成本的发生，如术中出血导致的输血费用、长时间手术引发的并发症治疗费用等。

1.1.2 提高医院竞争力和吸引力²

该平台的高科技特性将增加医院的吸引力，吸引更多寻求高质量医疗服务的患者，尤其是对精准和微创手术有高需求的病人。这不仅提升了医院的品牌形象，也为医院带来更多的收入来源。

1.1.3 促进相关产业链的发展⁴

该项目的发展将刺激相关医疗设备、软件开发、数据分析等产业的发展，为这些领域的企业提供新的商业机会。同时，这种需求的增加也可能促进这些行业的研发投入和创新，进一步推动整个医疗产业的经济增长。

社会效益分析：⁶

1.1.4 改善公共卫生水平⁷

通过提高手术的精准度和安全性，该平台将直接影响公共卫生水平的提升。减少手术并发症和提高治疗效果意味着减少了患者的康复时间和医疗费用，从而降低了整个社会的医疗负担。

1.2 促进医疗技术的普及和教育⁹

该项目还包括相关的教学平台，这将有助于提高医疗专业人员的技能水平，尤其是在微创手术和智能导航技术方面。这种技能的提升不仅能提高医疗服务的整体质量，还有助于将先进的医疗技术普及到更广泛的区域和医疗机构。

1.3 促进医疗科技创新¹¹

“微创化手术智能导航平台建设”项目的实施和应用将促进医疗科技领域的创新。这种创新不仅限于技术本身，还包括医疗服务模式、医疗信息化管理等多个方面。长期来看，这将推动整个医疗行业向更高效、更精准、更智能的方向发展。

总的来说，“微创化手术智能导航平台”的建设将在经济和社会层面上产生了显著的正面影响。经济上，该平台通过提高手术精度，显著提升了手术效率和医院收入，同时降低了意外风险和 Related 医疗成本。其高科技特性不仅增强了医院的竞争力和吸引力，还刺激了医疗设备、软件开发、数据分析等相关产业的发展。

社会效益方面，这一平台直接提升了公共卫生水平，减少了手术并发症和患者的康复时间，降低了整体医疗费用。其教学平台的建设提高了医疗专业人员的技能，尤其在微创手术和智能导航技术方面，从而提升了医疗服务质量，并促进了先进技术的普及。此外，项目的实施和应用推动了医疗科技领域的创新，助力整个医疗行业向更高效、精准和智能化的方向发展，为社会带来长期利益。

2、推广应用前景分析（含产业化可行性）²

2.1 市场需求分析：³

随着全球人口老龄化趋势和医疗需求的不断增长，尤其是在中国这样的人口大国，对于高效、精准的医疗服务需求变得日益迫切。这一趋势在医疗数字化市场的快速增长中得到了清晰体现。据 Transparency Market Research 统计，全球数字医疗市场规模预计在 2025 年将增长至 5366 亿美元，中国市场更是预计将达到近 7000 亿元人民币。在医疗信息化核心软件市场方面，2021 年中国市场规模已达 323 亿元，预计到 2024 年将增长至 547 亿元。这些数据表明了医疗数字化市场的巨大潜力和增长空间。

微创手术作为医疗服务中的一个重要分支，因其创伤小、恢复快的特点，越来越受到患者和医生的青睐。但微创手术的技术复杂性要求医生具备更高的技能和经验。因此，一个能够提供精准导航和决策支持的平台，不仅能极大地提升手术的安全性和成功率，而且完全契合当前医疗数字化市场的发展趋势和需求。综合考虑全球和中国医疗数字化市场的增长潜力，以及微创手术在临床医疗中的重要性，此类智能平台无疑将在市场上占据重要地位，满足日益增长的市场需求。

2.2 技术创新与应用前景分析：⁶

本项目的核心在于应用先进的人工智能、机器学习、深度学习技术于手术导航和决策支持，这一技术创新可以显著提升手术的精度和效率。通过实时分析手术影像，系统能够辅助医生识别关键解剖结构，预测并避免手术风险，从而降低了医护人员的工作压力，提高了手术的安全性和成功率。此外，项目的教育和培训功能也为医学生和年轻医生提供了宝贵的实践学习机会，有助于提升整体医疗服务水平。

2.3 政策支持与产业趋势分析：⁸

当前政策环境对医疗信息化和数字化的发展提供了强有力的支持。中国政府⁹

在“健康中国 2030”规划中明确提出加强医疗健康领域的科技创新，促进医疗数字化转型。在这样的政策环境下，医疗信息化、智能化的市场需求将继续增长。另一方面，随着人工智能和大数据技术的不断成熟，医疗领域的技术创新将持续推动行业发展，为本项目的推广应用提供了广阔的空间。

2.4 产业化可行性分析:²

结合市场需求、技术创新和政策环境，项目的产业化前景十分乐观。随着医疗数字化市场的不断扩大，本项目所针对的细分市场——临床医疗影像储传系统和支持决策系统，有望实现显著增长。通过与医院、医疗机构和教育机构的合作，可以加速技术的应用和推广，实现商业价值的最大化。

综上所述，从市场需求、技术创新、政策支持和产业趋势的角度来看，“微创化手术智能导航平台建设”项目具有强大的市场潜力和产业化可行性。其不仅能够提升医疗服务质量，还有助于推动整个医疗行业的技术进步和发展。

3、风险评估⁵

技术风险方面，项目涉及的多领域交叉技术，如人工智能算法的开发、高精度医疗影像处理等，都带来了一定的研发难度。同时，医疗技术和人工智能领域的快速发展也可能导致在研发过程中采用的技术迅速过时。市场风险主要体现在新技术的市场接受度上，这可能受限于医疗专业人员对新技术的适应速度和信任程度。此外，医疗行业严格的政策和法规监管也可能影响项目的市场推广。运营风险方面，项目的成功实施在很大程度上依赖于与医疗机构、学术机构和技术伙伴的有效合作，任何合作伙伴的变动或不稳定都可能对项目进展造成影响。同时，作为一个涉及大量敏感医疗数据的项目，确保数据的安全和隐私保护也是一个重要挑战。

针对这些风险，项目团队研发的微创化手术智能导航平台，设计合理，使用简单，安全有效，实施风险较小。在本项目研发中，可延伸出适用于各个腹腔镜厂家不同数据接口的实时影像采集手术导航系列产品。本项目依托西安交通大学第一附属医院、西安交通大学未来技术学院、西安交通大学生命科学与技术学院、西安交通大学人工智能与机器人研究所，技术方面，持续关注最新科技发展并不断优化更新项目技术，确保技术领先性；市场方面，通过市场调研和医疗专业人员教育培训提高市场接受度；运营方面，建立稳固的合作伙伴关系，并建立严格

的数据安全管理体系，以确保项目的成功实施和市场推广。通过这些综合措施，¹可以有效控制和降低项目面临的风险，确保项目的顺利进行。

（四）现有工作基础²

1、现有技术和工作进展³

1.1 与苏州英赛飞影医疗科技有限公司共同合作研发无线腹腔镜设备⁴



图 27 无线胸腹腔镜镜头设计⁶



图 28 无线胸腹腔镜一体机整机设计⁸

无线微创手术腹腔镜手持端内置光源、图像采集设备、国产高性能图像采集处理芯片和无线信号发射端，在小型、可靠、低成本的前提下实现 4K、1080p 等高清图像采集与处理，确保图像传输的稳定性和抗干扰性。无线微创手术腹腔镜手持端的设计到整体无线胸腹腔镜一体机的开发，以及手术视频影像信息的无线射频传输方案的设计，无线胸腹腔镜镜头设计、无线胸腹腔镜一体机整机设计如图 27、28 所示。设计重点在于实现高清、低延迟的图像传输，同时保持系统的小型化、可靠性和低成本。⁹

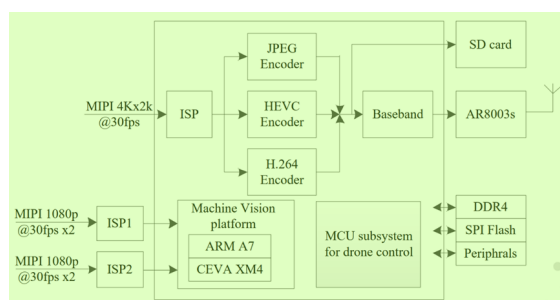


图 29 手持端框图¹¹

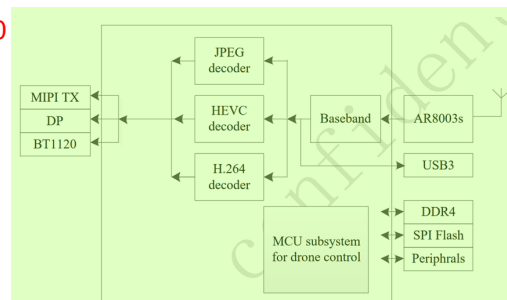


图 30 接收端框图¹³

无线微创手术腹腔镜手持端设计，集成了内置光源、图像采集设备和高性能图像处理芯片，保证了 4K、1080p 等高清图像的采集与处理。此设计的关键在于确保图像传输的稳定性和抗干扰性，同时实现设备的小型化和低成本。¹⁴

手术视频影像信息无线射频传输方案设计，采用近场 RF 技术，重点在于提供高带宽和低延迟的无线视频传输，以满足实时、高清图像传输的需求。特别在¹⁵

战时电磁信号干扰下，该方案的稳定性尤为重要。¹

无线胸腹腔镜一体机整机设计，突破传统设备形式，将图像主机、光源、发射端集成于手持端，实现设备的小型化、便携性和高度集成。这种设计使得设备更加适用于多种手术环境，提高其实用性。²

表 1 无线胸腹腔镜一体机关键性能指标³

关键性能方向	器械指标	
手持端视频主板	支持视频分辨率	4K/1080P
	支持视频帧率	30FPS/60FPS
	视频信号输入兼容类型	MIPI
	手持端主板面积	≤50cm ²
接收显示端视频主板	支持视频分辨率	4K/1080P
	支持视频帧率	30FPS/60FPS
	视频信号输出兼容类型	HDMI
	兼容显示器	24 英寸、32 英寸、10 英寸
无线图像传输方面	本地光到光延迟	≤140ms
	本地加密传输半径	≤10m
	避障性能	传输路径中实现人员自由走动，内镜画面保持稳定
	远程直播	具备远程直播功能
整机	手持端重量	≤400g

无线视频信号传输的创新在于通过近场 RF 技术实现无线视频信号的传输，突破了传统有线连接的局限性，提高了手术操作的灵活性和便携性。同时对高性能数字信号处理芯片的应用，使得系统不仅具备高清图像输出能力，还能实现超低延时传输，低功耗及低发热量，并具备强大的抗干扰能力。实现无线胸腹腔镜一体机的集成创新，通过高度集成的设计，将传统的多部分设备合并为一体，大大提高了设备的便携性和实用性。⁵

将无线手术腔镜技术融入“微创化手术智能导航平台建设”项目中，可以显著增强整个平台的性能和实用性。这种整合不仅提升了手术导航系统的技术水平，还优化了手术过程中的操作体验。**优化手术操作灵活性**，无线腹腔镜摆脱了传统有线设备的束缚，提供更大的操作空间和灵活性。在微创化手术智能导航平台中，这意味着医生可以更自由地移动和调整腔镜，以获得最佳的视角和操作路径。这种灵活性对于复杂或精密的手术尤为重要。**提升图像传输质量**，采用近场 RF 技术的无线视频传输能够确保手术过程中的图像质量，保证高清、低延迟的图像传输。在智能导航平台中，这样的高质量图像传输对于提升导航的准确性和手术的安全性至关重要。**集成与便携性**，无线胸腹腔镜一体机的高度集成化设计，⁶

使得设备更加便携，适用于各种手术环境。在移动或局限空间内进行手术时，这种便携性大大提高了设备的适用性和实用性。**促进教学与培训**，无线手术腔镜的引入，结合智能导航平台，为医学教育和手术培训提供了极佳的工具。通过模拟手术环境，可以提供更加真实和全面的培训体验，有助于医学生和年轻医生更快地掌握手术技能。**增强医疗应急响应能力**，在特殊医疗应急情况下，如战场医疗和远程医疗服务，无线手术腔镜的便携性和灵活性使其成为理想的医疗设备。结合智能导航系统，可以在非传统医疗环境中提供高质量的医疗服务。

无线腹腔镜在“微创化手术智能导航平台建设”项目中不仅提升了手术的操作性能和安全性，也为医疗教育和应急响应提供了新的解决方案，展现了本平台在现代医疗领域中的广泛应用潜力。

1.2 荧光腹腔镜术中导航系统临床实验验证³



图 31 台车设计模拟图⁵



图 32 双通道微型磁锚定荧光腹腔镜实物图⁷

临床验证主要是验证荧光手术导航系统在临床中的实际作用，采用临床肝切除病例探索所制开放式荧光手术导航系统肿瘤病灶定位及划定切肝线的有效性。研究经西安交通大学第一附属医院伦理委员会审批，仔细筛选病例后取得患者及家属的知情同意，并签署相关知情同意书。

(一) 肝癌病灶定位临床验证⁹

病例资料：患者魏某，男，43岁。以“乙肝病史20年，体检发现肝占2w”¹⁰之主诉入院，MRI 普美显增强提示肝右叶肝占位性病变，考虑肝癌，初步诊断“原发性肝癌”，行腹腔镜手术治疗。

手术流程如下：a.术前3d外周静脉注射 ICG 溶液，行肝功尺检查；b.常规麻醉，消毒铺巾，肝脏离体后取出；c.开启荧光手术导航系统，设定参数；d.手持式荧光探头指向肝脏表面，观察系统显示屏显示内容；e.取得肝脏离体标本；

f.通过显示屏观察到脏离体标本上肿瘤病灶情况；g.对肝脏离体标本进行组织学 HE 染色；h.处理腹腔，止血，关腹术毕；i.术后病例结果验证，如图 33 所示，图中显示癌细胞呈片排列，病理诊断为高分化肝细胞肝癌，与荧光信号为全荧光信号相吻。

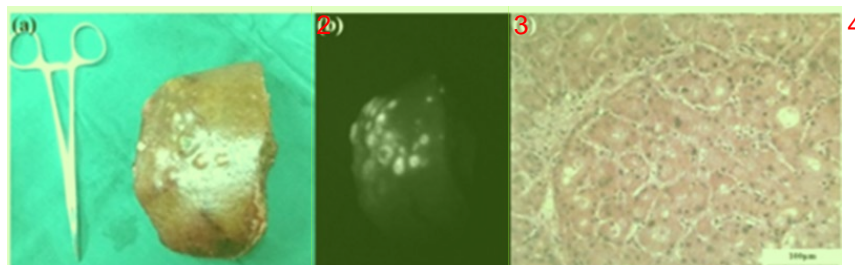


图 33 荧光手术导航系统临床肝癌病灶定位成像

(a)离体肝脏大体观；(b)离体肝脏荧光成像；(c)HE 染色；

(二) 切肝线识别临床验证

病例资料：患者杨某，男，67 岁，以“腹胀伴发热 6d”之主诉入院，MRI 提示肝右叶近肝门处占位性病变，肝门区胆管及右肝管异常改变，性质多考虑肝脏恶性肿瘤，初步诊断为“肝占位”，行右半肝切除术，术后诊断“肝门部胆管癌”。

手术流程如下：a.常规麻醉，消毒铺巾，逆行联合右半肝+全尾状叶切除、肝门部胆管切除及胆肠吻合术；b.游离韧带，显露肝叶，辨别及分离出门静脉左支；c.开启荧光手术导航系统，设定参数；d.由门静脉左支注入备用 ICG 溶液 1ml，手持式荧光探头指向肝脏表面，观察系统显示屏显示内容；e.显示屏非常直观、清楚地看到左内叶及左外叶清晰显影，右半肝未显影；f.如图 34 所示，术中结果表明，开放式荧光手术导航系统划定切肝线，与门脉预阻断形成的缺血带相吻合，可有效对切肝线进行定位，进而实现引导激光进行精准肝切除。

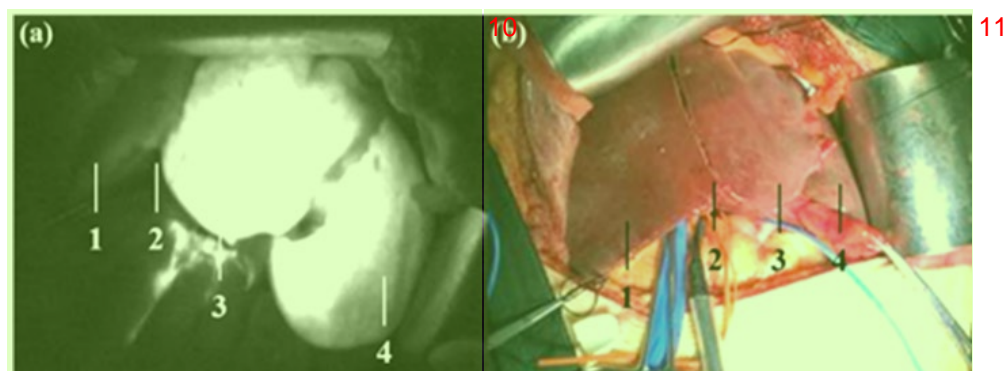


图 34 荧光手术导航系统临床肝切除切肝线识别成像

通过临床病例病灶的定位与切肝线划定等模拟实验，表明所制双通道磁锚定

荧光专用腹腔镜能够通过 10mm 置入腹腔并稳定锚定于腹壁并移动。同时，通过临床双通道磁锚定荧光专用腹腔镜辅助下成功实现肝癌病灶精准定位、划定切肝线，进而实现引导激光进行精准肝切除，证明荧光手术导航系统的实际有效性。

2、必要支撑条件²

项目组织单位和参与单位本着高质量完成项目，互利共赢的原则，在项目实施过程中为各阶段研究任务提供足够的资源保障，对合作研究中可能出现的权益问题进行协商与分配。项目组织单位和参与单位共同按照课题任务设置与研究内容合理进行经费预算编制，各课题组之间建立通畅的沟通机制，促进技术交流与项目推进，项目执行期间各类科研活动所需经费支出由各课题组具体承担。研究单位独立形成的科研成果在获得专利后所获得的经济利益由专利方独立享有；各方合作完成的科研成果在获得专利后所获得的经济利益由多方共同所有，并按协议约定对其进行比例分配。项目合作各方享有对各自独立所获得的研究成果进行后续开发、应用和推广等的权利，所需的资金投入及所获得的收益由其独立承担及享有；对于各方协作完成的研究成果的相关投入与收益，按协议约定对其进行比例分配。

3、项目负责人科研能力⁴

吴荣谦⁵

教授，博士生导师，曾任美国南佛罗里达大学助理教授，现任西安交通大学第一附属医院先进外科与工程技术研究所副所长、陕西省再生医学与外科工程研究中心副主任、西安交通大学精准外科与再生医学国家地方联合工程研究中心副主任、中国医学装备协会转化医学分会委员、陕西省医工融合产业技术创新战略联盟专家委员会副主任等。

主要研究方向为外科重症、医工结合外科技术创新。在美国期间（2001/10-2015/8），作为项目负责人（Principal Investigator, PI）主持过 5 项美国 NIH 基金项目、1 项美国心脏病协会基金项目和 1 项美国国防部基金项目，累计科研经费 > 750 万美元。回国后，已主持 4 项国家自然科学基金项目和多项陕西省医工交叉项目。

迄今为止，发表 SCI 论文 170 余篇，包括重症与外科领域的顶级期刊 American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine、Annals of Surgery 等，H 因子 39，被引频次 > 4800，ESI 高被引论文 1 篇。授权国家发明专利 15

项、软件著作权 1 项。获得中华医学科技奖一等奖 1 项（排名第 2）、华夏医学奖卫生管理奖 1 项（排名第 2）、陕西省科学技术进步二等奖 2 项（排名第 1 和第 6）、西安市科学技术进步二等奖 1 项（排名第 1）、陕西高等学校科学技术一等奖 2 项（排名第 1 和第 3）。

4、项目团队情况²

本项目研究团队是一支中青年为主的医工交叉研究队伍，通过产、学、研结合，汇聚了多领域专家的智慧 and 力量。团队由医学专家、生物医学工程师、软件开发人员等构成。以临床问题为导向，结合临床医师知识和手术经验，工程师和软件开发人员负责腔镜硬件设备与软件系统开发和优化，提升术中导航精度，法律顾问确保项目的顺利进行并符合临床标准。团队多学科交叉致力于将微创化手术智能导航平台从理念转化为现实，以提高手术安全性并提升手术效率。

吕毅：⁴

教授、主任医师、博士生导师，现任西安交通大学副校长、第一附属医院院长、精准外科与再生医学国家地方联合工程研究中心主任。教育部创新团队学科带头人，卫生部有特殊贡献的中青年专家，陕西省“三秦学者”特聘教授，美国外科医师协会 Fellow, 荣获“人民名医·卓越建树”、“健康卫士·医德风范”荣誉称号。

兼任教育部临床医学类专业教学指导委员会副主任委员、教育部科学技术委员会交叉科学与未来技术专门委员会委员、中国医师协会智慧医疗专委会副主任委员、中华医学会外科手术学组副组长，陕西省医工融合产业技术创新战略联盟理事长等。

以第一完成人获国家科技进步奖、中华医学科技奖、教育部技术发明奖、华夏医学奖卫生管理奖等国家及省部级奖励近 20 项，主持科技部重点研发计划、国自然国家重大科学仪器研制、重点项目、仪器专项等项目近 30 项。在 *Annals of Surgery, Hepatology* 等发表 SCI 论文 367 篇。授权国家发明专利 55 项，美国专利 1 项。

张谓丰：⁸

教授，研究员，副主任医师，博士生导师，现任西安交通大学第一附属医院副院长。国家高层次人才计划“青年学者”，西安交通大学青年拔尖人才（A 类），陕西省杰出青年基金获得者，陕西省重点科技创新团队负责人，美国匹兹堡大学

联合培养博士，俄亥俄州立大学访问学者。¹

美国外科学协会会员；美国肝病学会会员；国际/亚太肝胆胰学会会员；国际肝胆胰协会中国分会肝胆胰 MDT 学组常委；中国医师协会外科医师分会肝胆青年专家工作组委员；陕西省抗癌协会肝胆胰肿瘤专业委员会副主任委员兼秘书长；陕西省抗癌协会腹膜后肿瘤与复发转移性肝癌专业委员会常委；中国肿瘤防治联盟陕西省肝癌防治联盟常委兼秘书。

主持国家自然科学基金 3 项；主持陕西省杰出青年基金，重点科技创新团队等省部级课题 8 项。以第一/通讯作者在 *Gastroenterology*, *Hepatology*, *Annals of Surgery* (4 篇), *British Journal of Surgery* (3 篇) 等著名国际期刊发表论文 100 余篇。2016 年获得国家科技进步奖二等奖 1 项（排名第 9），2021 年陕西省科技进步奖一等奖（排名第 4）和 2017 年二等奖（排名第 1）各 1 项。

刘学民:⁴

教授，主任医师，肝脏外科专家。现任西安交大一附院腔镜中心主任、陕西省再生医学与外科工程研究中心副主任。

兼任中国研究型医院学会普通外科专业委员会委员、中国研究型医院学会肝胆胰专业委员会肝癌学组委员、陕西省抗癌协会肝胆胰专业委员会肝癌学组组长、陕西省抗癌协会肝胆胰专业委员会常委、陕西肿瘤防治联盟肝癌专业委员会副主任委员、西北腔镜肝联盟理事长、丝路肝癌防治联盟副理事长、中华医学会陕西省分会器官移植分会委员、中国医师协会器官移植分会活体移植学组委员、陕西省医师协会器官移植医师分会常委等。

主持和参与各级项目 20 项。获批发明专利 10 余项。发表文章 208 篇，其中 SCI 56 篇。获中华医学科技、教育部技术发明、陕西省科学技术进步、陕西省高校科技一等奖 5 项。

杨健:⁸

教授，博士生导师，西安交通大学第一附属医院医学影像科主任/系主任。西安交通大学医学部教学名师，陕西省放射专业优秀规培基地主任。

陕西省抗癌协会影像诊断分会主委；中国阿尔茨海默病防治协会理事&影像专委会副主委；中国医学影像技术研究会放射分会副主委；中国优生优育协会婴幼儿发育专业委员会副主委；中国抗癌协会肿瘤影像专业委员会常委中国康复医学会影像康复专委会常委；中国医师协会放射医师分会委员；中华医学会放射学

分会儿科学组委员/对外交流工作组副组长。¹

国家十三五科技部重点研发项目和国自然天元数学基金重点项目首席负责人、陕西省创新团队带头人、主持国家自然科学基金 6 项。第一及通讯作者在《Radiology》和《NeuroImage》等医学影像国际刊物发表 SCI 收录论文 70 余篇。发明专利 7 项、实用新型专利 5 项，参编专家共识和指南 5 项。西安市科学技术一等奖 & 第十二届宋庆龄儿科医学奖。²

张云锋:³

主任医师，硕士生导师，西安交通大学第一附属医院胸外科副主任。⁴

兼任中华医学会西安胸外科分会常委，中华全科医师学会全国贲门癌专业委员会委员，中国胸外科肺癌联盟青年委员，陕西省抗癌协会外科肿瘤专业委员会副主任委员、肺癌专业委员会主任委员、乳腺癌专业委员会常委等。⁵

参与国家自然科学基金 2 项，主持省、市级科研课题各 1 项；在国内外学术期刊发表论文 30 余篇，其中 SCI 收录 10 余篇，参编专著教材 3 部；获陕西省自然科学优秀论文奖，河南省科学技术进步二等奖。作为负责人获医院新医疗新技术奖二项，并获“十佳医师”、“二线医生管理病人量前十名奖”、“优秀教师”等奖励。⁶

牛刚:⁷

副主任医师，硕士生导师，西安交通大学第一附属医院影像科副主任。⁸

主要致力于胸部和脊柱疾病的影像学诊断，2011 年或院十佳医师称号。2014 年入选中华放射学会和欧洲放射学会联合举办的“放射精英培训计划”赴荷兰伊拉斯姆斯医学中心学习 3 个月，期间学习了介入、分子影像和心血管影像诊断等先进技术和管理理念。⁹

在国内核心专业杂志 20 余篇，参编发表学术论文医学专著 3 部，其中副主编 1 部；发表 SCI 论文 3 篇，其中第一作者 1 篇。在中华医学会主办的全国会议上大会发言 3 次。主持省级科研课题 1 项，参与国家自然科学基金 3 项，其中第二申请人一项。¹⁰

樊林:¹¹

主任医师，硕士生导师，西安交通大学第一附属医院普通外科副主任。西安交大名医，美国印第安纳大学访问学者。¹²

兼任国家自然科学基金评审专家、中华医学会数字医学分会青年委员、中国¹³

医师协会微无创分会委员、肿瘤外科医师委员会青年委员、机器人委员会青年委员、肛肠专业委员会青年委员、内镜医师分会腹腔镜专业委员会委员。中国抗癌协会胃癌专业委员会青年委员、胃癌专业委员会微创外科学组委员、大肠癌专委会腹腔镜学组委员、腔镜与机器人外科分会委员，中国研究型医院学会机器人与腹腔镜学会委员，陕西省医学会腔镜外科学会胃肠学组副组长，陕西省抗癌协会胃癌专委会常务委员等学术职务。

主持完成国家自然科学基金项目 1 项、陕西省科技公关科研基金及国际合作项目 3 项。发表论文 30 余篇，其中 SCI 收录 10 余篇，参编专著、教材 2 部，多本期刊审稿专家。获得“东亚腹腔镜胃癌 POWER SHOW 一等奖”并先后获得多项全国微创手术竞赛荣誉，多次受邀国际、国内大会发言。

张勇：³

教授，主任医师，博士研究生导师，西安交通大学第一附属医院肿瘤外科主任。兼任西安交通大学机械学院硕士研究生导师。

兼任国家自然科学基金评审专家、中华医学会肿瘤学分会全国青年委员、中国抗癌协会大肠癌专业委员会全国委员、中国抗癌协会肿瘤热疗专业委员会全国委员、中国医师协会结直肠肿瘤专业委员会全国委员、中国医师协会腹膜后疾病专业委员会全国委员、中国中西医结合学会普外专业委员会全国委员、中国研究型医院协会腹膜后疾病专业委员会委员、陕西省医师协会结直肠肿瘤专业委员会候任主任委员、陕西省抗癌协会胃部肿瘤专业委员会常委、陕西省抗癌协会食管癌专业委员会常委、陕西省抗癌协会肿瘤精准治疗专业委员会常委、陕西省抗癌协会肿瘤热疗专业委员会常委、《中国医学伦理》杂志青年编委、Cancer Informatics 编委、World Journal of Hepatology 编委等。

主持国家自然科学基金 2 项，教育部博士点基金，教育部人文社科基金及陕西省自然科学基金 8 项，参编专著 1 部，主译专著 2 部，在国际期刊发表研究论著 31 篇（SCI）。拥有多项发明专利，主持多项跨学科肿瘤临床试验研究，担任多本国际期刊审稿专家。研成果获得陕西省教委科技进步一等奖(排名第一)，陕西省科技进步三等奖(排名第一)。

李宇：⁷

副主任医师，外科学博士，从事肝胆外科、肝移植相关的基础及临床研究。⁸

中国医疗交流促进会腔镜内镜外科普外科委员会委员，中国研究型医院协会普⁹

外科分会青年委员，陕西省医师协会器官移植分会委员、陕西省抗癌协会肝胆胰
1
肿瘤专业委员会委员。

发表论文 40 余篇，SCI 9 篇，主持省、市级基金共 3 项，参与多项国自然基
2
金。作为参与人荣获 2018 年中华医学科技进步一等奖、2019 年陕西省高校科学
技术奖励一等奖及 2021 年陕西省科技进步一等奖。

(五) 申请单位³

1、单位一般情况⁴

(1) 单位名称：西安交通大学第一附属医院⁵

(2) 注册地址：陕西省西安市雁塔区雁塔西路 277 号

(3) 成立日期：1956 年

(4) 所有制性质：国家事业单位

(5) 主营业务：

医院是集医疗、教学、科研、康复、预防保健为一体国家卫生健康委员会委
6
管的大型综合性三级甲等医院。医院有医疗医技科室 57 个，其中医疗 46 个，医
技科室 11 个。科研平台有国家联合地方工程研究中心、教育部重点实验室和 2
个陕西省重点实验室，8 个陕西省临床医学研究中心，2 个陕西省工程研究中心
等。秉承“厚德、博爱、精医、卓越”之院训，为人民身体健康提供医疗与护理
保健服务。

2、承担单位情况简介⁷

(1) 承担单位名称⁸

精准外科与再生医学国家地方联合工程研究中心⁹

(2) 中心概况¹⁰

“精准外科与再生医学国家地方联合工程研究中心”于 2018 年 1 月经国家
11
发展和改革委员会批准建设，其前身是“陕西省再生医学与外科工程研究中心”。
是在 2010 年 6 月组建的西安交通大学“外科梦工场”及 2011 年 11 月批准成立
的“西安交通大学先进外科技术与工程研究所”基础上逐渐建设和发展而来。目
前中心获批“陕西省高等学校学科创新引智基地-西安交通大学智能物理医学”、
中国医师服务平台磁外科灯塔学院创新思维教育基地；陕西省医工融合产业技术

创新战略联盟”、“中国医学装备协会转化医学分会磁外科创新专家委员会”、“全¹
国卫生产业企业管理协会医疗科技创新发展分会”等主委（理事长）单位。下设
茵络医疗器械西部研发中心、教授工作室、西安交通大学医学大学生创新创业竞
赛工作室等。

目前专、兼职科研人员近 100 人，有中国科学院院士、美国科学院院士、美²
国工程院院士、英国科学院院士，其中外籍专家 9 人，高级职称 48 人、中级 20
人。分为雁塔校区（外科梦工场）、创新港（MED-X 研究院）两个区域，有大、
小动物手术室、医疗器械 GMP 车间、激光实验室、磁外科研究室、分子生物学
实验室、医用生物材料与组织工程等单元。

（3）建设初心：³

以临床问题为导向，以创新思维为灵魂，以理工医学科交叉外科技术创新为⁴
特色，以服务患者为宗旨。

（4）发展理念：⁵

秉持着“理工医协同创新”的学科发展理念，坚持“临床问题——实验研究⁶
——临床应用”的医工结合外科创新之路；培养创新性复合型人才。

（5）主要研究方向：⁷

①基于声、光、电、磁物理要素的外科技术创新与器械、设备研发；⁸

②新型功能材料临床应用研究；

③组织工程修复重建与肝脏移植；

④外科重症与加速康复外科技术。

（6）科研成果：⁹

主持科技部重点研发计划、国家自然科学基金国家重大研究计划、重大科研¹⁰
仪器研制、教育部创新团队发展计划、国家卫健委重点专科建设项目及省部级项
目 30 多项；发表 SCI 论文 337 篇；授权国家发明专利 65 项，软件著作权 1 项；
获国家科技进步二等奖、教育部技术发明一等奖、中华医学科学技术一等奖、中
国抗癌协会科技二等奖各 1 项；陕西省科学技术一等奖 3 项、二等奖 4 项、教
学成果一等奖 2 项、陕西省职工优秀科技创新成果银奖 1 项、陕西省教委科技成
果一等奖 1 项、西安市科学技术二等奖 1 项等；中国“互联网+”大学生创新创业
大赛金奖（1 项）、银奖（2 项）、铜奖（1 项）、全国医疗器械创新创业大赛微
创类二等奖 1 项、“国创杯”全国医疗器械创新创业大赛暨中国医学装备创新大赛

初创组一等奖、中华医学会医学工程学分会首届 CCI 杯医疗器械科技创新奖一等奖 1 项、“中国医疗工业发展与创新大奖”最佳医学发明创造奖及发明家荣誉称号等、第五届全国临床创新与发明大赛一等奖；研究生获国际 Grassi 奖，其他各类创新创业大赛金奖若干。

磁外科系列创新技术在血管重建、消化道无缝线重建、胆管狭窄/截断再通、食管疏通重建、气管插管、单孔腹腔镜手术等方面及小儿外科、妇产科等学科拓展应用。自主研发 17 类磁性器械和 5 种医用设备，建立和应用了 27 项临床创新技术。牵头联合磁外科专家撰写国际磁外科系列共识 7 部，目前已发表 5 部。

在医疗机器人方面：肝移植术后随访机器人、胆道造影机器人、吸痰机器人、智能消毒机器人、磁导航气管插管技术、腹腔大出血磁阻断床、微小单孔可弯曲腹腔镜、激光荧光成像系统等已在临床试用。

语音图文手术记录系统、磁外科系列成果、高度仿真腹腔镜手术模拟训练器等多项科研成果顺利转化。

3、单位资产及经济状况⁵

近三年的销售收入、利润、固定资产、资产负债率、银行信用等级列表如下：⁶

	2019 年	2020 年	2021 年
企业总资产（万元）	561011	592004	745137
固定资产净值（万元）	153783	154210	221363
资产负债率	42.17%	44.81%	43.61%
银行信用等级	四级		

（六）项目实施计划⁸

1、项目实施年限⁹

2024 年 1 月 1 日至 2025 年 12 月 31 日¹⁰

2、年度计划安排与阶段目标¹¹

第 1 阶段（2024.01.01 - 2024.05.31）¹²

购置必要的软硬件设备，包括高性能计算机、专业医疗设备等，确保研发工作的顺利进行。建立高效的运行管理体制机制，制定项目进度计划和质量控制流程，确保项目按时进展。完成基础研究，包括数据收集、分析方法研究等，确保平台的可靠性和有效性。进行平台测试，包括软硬件的集成测试、性能测试、稳

定性测试等，确保软件和硬件的兼容性和性能。完善伦理申报等前期准备工作，¹包括伦理审查、参与者同意书准备等，确保项目合法合规。

第 2 阶段（2024.06.01 - 2024.12.31）²

在外科手术中应用智能导航平台，进行实际手术中的应用测试，收集实际使用数据。根据临床反馈对硬件进行迭代更新，包括设备升级、功能增强等，提升设备性能。优化算法，包括提高数据处理效率、增强算法的鲁棒性等，扩大临床应用场景，提高平台的通用性和准确性。实现标志性成果，并申报相关专利，如新的导航技术、独特的算法优化方法等，保护知识产权。³

第 3 阶段（2025.01.01 - 2025.03.31）⁴

解决关键技术难题，如提高导航系统的精确度，增强系统的适应性和灵活性，⁵确保技术的先进性和实用性。参与国内外学术交流活动，包括会议、研讨会等，以提高项目知名度和吸引更多的合作伙伴。在全国范围内举办成果转化推广会，展示项目成果，吸引行业内外的关注和支持。推动产学研融合，与高校和研究机构合作，发表高质量学术文章，进一步提升项目的科学价值和实际影响力。

第 4 阶段（2025.04.01 - 2025.12.31）⁶

推广智能导航相关产品，通过各种营销活动和合作方式，提升产品的市场占有率。⁷建立行业标准，参与行业规范的制定，引领产业发展方向，确保产品和服务的领先地位。完成项目考核指标，包括技术指标、市场指标等，确保项目各方面目标的实现。准备结题验收材料，包括项目报告、成果展示、用户反馈等，为项目的成功结题提供充分的证明材料。

3、具体考核指标：⁸

3.1 临床前基础研究完成度：评估研究的深度和广度，包括数据收集的完整性、分析方法的创新性，以及研究成果的实用性。平台在临床应用的进展和反馈：衡量平台在实际临床应用中的表现，包括其在手术中的使用效果、医护人员的使用体验反馈，以及对手术效果的改善程度。⁹

3.2 硬件迭代和算法优化的有效性：评价硬件升级和算法改进对于整体系统性能的提升，重点关注系统的准确性、稳定性和用户友好性。

3.3 成果转化和推广的范围与影响：考察项目成果在行业内的应用广度，以及这些成果对医疗行业的影响力，包括改善患者护理质量、提高手术安全性等方面。

3.4 专利申请数量和质量：衡量项目产生的知识产权数量和质量，包括专利的创新程度、实用价值和市场潜力。

3.5 产学研融合程度和质量：评估项目与高校、研究机构的合作深度和成效，包括共同研发的项目、共同发表的论文数量和质量，以及合作带来的创新成果。

3.6 行业标准的建立和影响：考查项目在制定行业标准方面的贡献，以及这些标准对行业发展的推动作用，特别是在促进技术标准化和提高行业整体水平方面的影响。

4、项目实施管理措施²

设立专门的项目管理团队，由经验丰富的项目经理领导。团队成员包括不同领域的专家，如技术、临床、财务等，以确保各方面都能得到专业管理。负责项目的日常管理和协调，包括资源分配、进度监控、团队沟通和协作。

4.1 定期评审：定期进行项目进度和成果评审，包括每月的进度报告和季度的综合评审会议。评审中不仅关注进度，还要重视成果的质量和项目目标的达成情况。通过评审及时发现问题，调整项目计划，确保项目按计划推进。

4.2 风险管理：实施风险管理计划，包括风险的识别、评估、监控和应对策略。定期进行风险评估会议，确保团队对潜在风险有充分的认识。建立应急预案，包括技术故障、资金不足、市场变化等各种可能的风险情况。

4.3 质量管理：实施严格的质量管理体系，确保项目各阶段的输出符合预定的标准。定期进行质量审计，以确保项目实施符合行业标准和法规要求。

4.4 沟通与协调：建立高效的内外沟通机制，确保项目信息的透明度和团队成员之间的有效沟通。定期举行团队会议和利益相关方会议，及时分享项目进展，收集反馈意见。

4.5 人力资源管理：对团队成员进行定期培训，提升其专业技能和项目管理能力。根据项目进展情况，合理调配人力资源，确保项目的高效执行。

5、产学研联合机制：⁵

5.1 联合模式：建立紧密的产学研合作模式，以促进技术创新和知识转移。通过共享资源，如共用实验室、设备和数据库，促进研究成果的快速迭代。定期举办联合研究和技术交流会议，包括研讨会、工作坊和学术会议，以便分享最新进展和探讨未来方向。实现互利共赢，通过合作提升所有参与方的研发能力和市场竞争力。

5.2 具体参与企业：与国内外知名的医疗设备制造商、软件开发公司等建立¹合作关系。选择在相关领域具有强大研发实力和市场影响力的企业作为合作伙伴。与企业共同开发适用于不同市场和应用场景的产品。

5.3 企业参与方式：企业将参与项目研发，提供关键技术和专业知识。

提供技术支持，包括软硬件开发、系统集成等方面的专业指导。与学术机构²共同申报专利，确保研发成果的知识产权保护。

5.4 投入方式：企业将投入资金，用于研发、市场推广、人才培养等方面。³提供技术资源，如软件工具、硬件设备、数据集等。投入人力资源，包括研发工程师、市场专家、管理人员等，以加速项目进展和市场推广。

5.5 成果共享机制：建立明确的成果共享机制，确保所有参与方都能从合作中获得公平的回报。包括共享专利收益、技术成果的应用权等。

5.6 长期合作规划：制定长期合作规划，包括未来的研发方向、市场拓展计划等，以保持合作关系的持续性和稳定性。通过这一联合机制，可以有效地促进产业技术进步，加快新产品的研发和上市，最终实现产学研在技术创新和应用推广方面的深度融合。

6、其他必要的支撑和配套条件：⁴

6.1 资金支持：确保项目有足够的资金支持，包括政府资助、企业投资等。⁵

6.2 政策环境：利用政策优势，如税收优惠、科研补贴等。

6.3 技术支持：确保项目能够获取最新的技术信息和支持。

(七) 其它说明⁶

无其他说明。⁷

科研诚信承诺书¹

本人承诺在科研项目（课题）实施（包括项目（课题）²申请、评估评审、检查、项目（课题）执行、资源汇交、验收等过程）中，遵守科学道德和诚信要求，严格执行项目（课题）管理规定和《项目（课题）任务合同书》中的约定，不发生下列科研不端行为：

1. 在职称、简历以及研究基础等方面提供虚假信息；³
2. 抄袭、剽窃他人科研成果；
3. 捏造和篡改科研数据；
4. 违反科研伦理，在涉及基因、人体等研究中严格遵守有关规定和科研共识；
5. 不按时完成科研项目，违反科研经费管理相关规定；
6. 其他科研不端行为。

项目（课题）负责人签字：⁴

日期：⁵

九、审核意见¹

申请单位意见:²

项目负责人签字:³

单位负责人签字:⁴

(单位盖章)⁵

年 月 日⁶