

上海市卫生健康委员会 智慧医疗专项研究项目 计划任务书

研究方向： 智能手术辅助研究

项目编号： 2025ZHYL020

项目名称： 基于多模态特征自适应融合与增强现实的冠心病介入手术智能辅助平台构建及应用

项目单位（盖章）： 上海市第十人民医院

联合单位（盖章）： 同济大学；万达信息股份有限公司；空岛信息科技(上海)有限公司

项目年限： 2026年1月1日至2028年12月31日

填报日期： 2025年8月28日

上海市卫生健康委员会

二〇二五年

一、项目基本信息

项目名称	基于多模态特征自适应融合与增强现实的冠心病介入手术智能辅助平台构建及应用								
项目研究类型	<input type="checkbox"/> 基础研究 <input checked="" type="checkbox"/> 应用基础开发 <input type="checkbox"/> 应用研究 <input type="checkbox"/> 其他								
项目人数	34人	高级	10人	中级	5人	初级	0人	其他	19人
预期成果	<input checked="" type="checkbox"/> 论文论著 <input checked="" type="checkbox"/> 研究报告 <input checked="" type="checkbox"/> 专利 <input checked="" type="checkbox"/> 临床路径 <input type="checkbox"/> 技术指南/标准 <input checked="" type="checkbox"/> 技术平台 <input type="checkbox"/> 数据库 <input type="checkbox"/> 生物样本库 <input type="checkbox"/> 其他_____								
研究方向	智能手术辅助研究								
所属学科	放射学、介入心脏病学、计算机科学与技术								
项目单位信息	单位名称	上海市第十人民医院				单位性质	事业单位		
	通讯地址	上海市延长中路 301 号				邮政编码	200072		
	所在地区	上海市静安区		单位主管部门		科研处			
	联系人	杨雪		电子信箱		sykyc@188.com			
	联系电话	13701820815		组织机构代码		42500853-4			
	传真号码	66301362		单位成立时间		1910 年			
项目负责人信息	姓名	牡丹		性别		女			
	出生日期	1981-01		职称		主任医师			
	最高学位	博士		从事专业		影像医学与核医学			
	硕博导	硕导, 博导		移动电话		13305143131			
	传真号码	66306242		电子信箱		mudan118@126.com			
	证件类型	身份证		证件号码		152323198101180023			
联合单位信息	单位名称	单位性质	负责人	职称	从事专业	联系电话			
	同济大学	事业单位	殷俊锋	长聘教授	计算数学	13524722246			
	万达信息股份有限公司	股份有限公司 (上市)	陈诚	教授级高工	计算机科学	15801776176			
	空岛信息科技(上海)有限公司	私营企业	闵世豪	其他	医学计算机工程	13818718611			
项目经费来源 (万元)	总经费			400					
	本次申请经费			200					
	企业配套经费			200					
	单位配套经费			0					
	其他			0					

二、项目目标与主要研究内容

2.1 项目研究目标：项目预期研究的主要结果以及所达到效果、预期解决的重大问题，基线状态（当前水平）及预期状态。

2.1.1 总体目标

本项目旨在攻克冠心病介入诊疗流程中的核心技术瓶颈，研发一套从术前精准诊断、个性化规划到术中实时导航的全流程智能辅助平台。为实现此总体目标，项目将分解为四个递进式目标：首先，通过构建一体化的深度学习模型，解决多模态心脏影像高精度动态配准与自适应融合的难题，为所有下游应用奠定坚实的数据基座；其次，基于融合特征开发智能诊断与量化分析系统，提升诊断的精准度与可解释性；再次，创建患者特异性的三维数字心脏，并通过增强现实技术实现术中沉浸式导航；最后，攻克大模型向边缘端部署的性能与安全挑战，确保系统在临床环境下的实时、可靠应用。

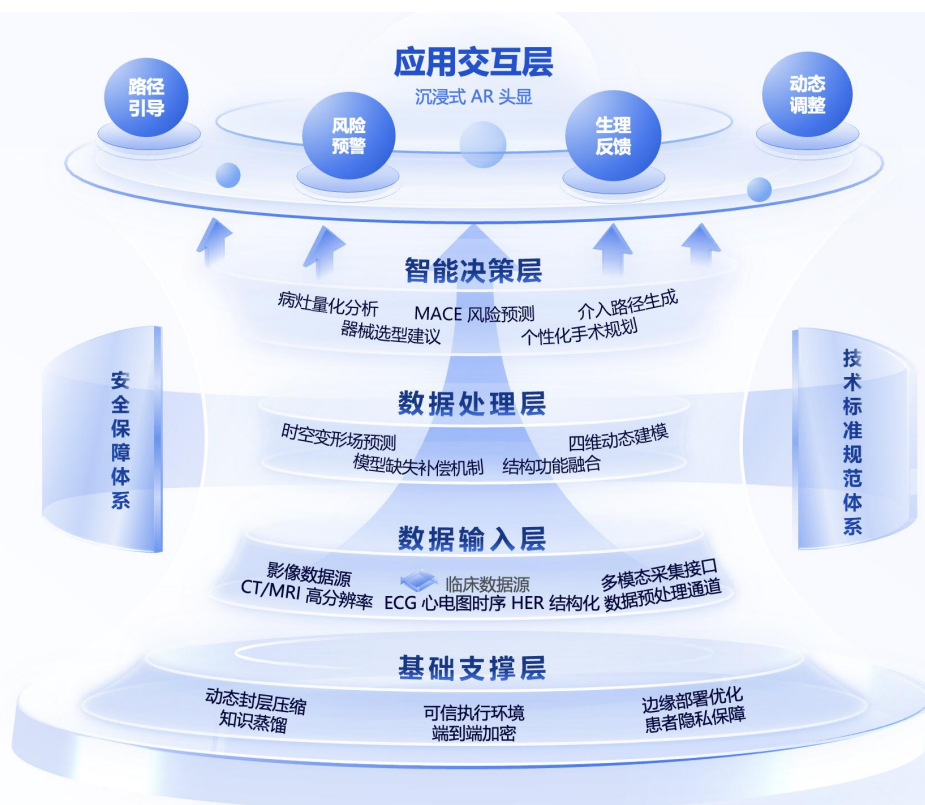


图 2-1 总体架构图

2.1.2 主要结果以及所达到效果

(1) 构建多模态心脏影像高精度动态配准与术前特征自适应融合引擎

围绕心脏搏动与呼吸运动造成的多模态影像时空错位这一临床痛点，本项目提出端到端深度学习配准-融合一体化网络：利用时序变形场预测精准刻画心脏形变轨迹，引入共享权重解耦与模态缺失补偿机制削弱成像域差异，并在同一框架内同步完成特征级与语义级双重自适应融合，根本上消除传统先配准后融合方案的级联误差。由此可在毫秒级速度下将 CT、MRI、超声、PET 等多模态数据精准映射到统一心脏坐标系，为后续诊断与手术辅助模块持续提供高一致性、高时效性的影像特征，奠定实时临床应用的技术底座。

(2) 研发基于多模态融合的智能冠心病精准诊断与术前量化分析模块

针对冠心病病灶类型多样、尺度跨度大且跨模态表型复杂的难题，本项目依托融合引擎输出的高一致性特征，构建病灶检测-分割-量化一体化多任务模型：通过注意力机制在共享语义空间内动态聚焦不同病理信号，结合对比学习提升多模态与多任务的信息互补效率，并融合电子病历、既往史和实验室指标，建立可解释的冠心病分型、严重程度评估与 MACE 预测网络。系统在单次推理中即可同步输出冠状动脉狭窄率、心肌缺血梗死及纤维化范围、心室功能等关键量化指标及风险评分，并以标准化报告形式自动推送个体化路径规划要素，实现平台内部诊断到规划的数据闭环。

(3) 开发面向精准治疗规划与手术辅助的多模态融合辅助决策模块

为解决术前规划、术中辅助与实时生理反馈相互割裂的瓶颈，本项目在诊断结果基础上构建融合结构-功能信息的三维数字心脏，借助图优化与生物力学模拟自动生成介入路径、支架尺寸及器械选型方案；术中结合视觉-惯性 SLAM 与深度感知技术，实现术前模型与实时 X 线或腔内超声影像的秒级对位，并对导丝、球囊和支架轨迹进行亚像素级跟踪；随后利用光波导 AR 头显或混合现实显示屏，将增强后的三维导航信息无缝叠加至术者视野，实时呈现介入路径、风险区域与动态生理参数。该模块与配准-融合引擎及诊断模型共享统一数据接口和时钟基准，形成诊断-规划-导航全流程闭环，显著

提升手术安全性、效率与疗效。

(4) 实现面向实时交互的轻量化模型构建与边缘端安全部署

面对手术室等资源受限环境中的高延迟、功耗与数据安全挑战，本项目提出轻量化模型高效集成与安全部署框架：采用动态门控分层压缩联合知识蒸馏，对配准、诊断和导航子模型执行自适应剪枝与精度保持，在不损失冠状动脉等关键解剖结构解析度的前提下大幅精简参数；研发硬件感知型神经网络架构（Hardware-Aware NAS），针对 AR 头显、移动工作站等异构终端自动重组计算图，优化并行度与带宽利用；结合模型加密、可信执行环境和安全启动机制构建端到端防护体系，确保模型权重与患者数据的完整性、机密性与可追溯性。通过上述措施，可在异构硬件上实现毫秒级低延迟推理和高稳定运行，真正打通从边缘端算法到床旁应用的最后一公里。

2.1.3 预期解决的重大问题及预期状态

本项目旨在系统性地攻克当前冠心病介入诊疗中的核心瓶颈，预期将取得一系列具有变革性意义的理论、技术与应用成果。

首先，本项目将着力解决诊疗全流程中的“信息壁垒与数据鸿沟”问题。当前，术前多模态影像、功能学评估与术中实时影像相互割裂，形成“数据孤岛”。本项目通过构建一个统一的高维信息融合框架，将突破心脏动态环境下的时空配准与语义鸿沟，实现从分散的解剖、功能与实时动态信息到统一、完整、高维度的患者知识视图的根本性转变，为真正的个体化精准诊疗奠定坚实的数据基石。

其次，本项目将致力于破解临床决策的“经验依赖与精准度瓶颈”难题。面对复杂病变，传统诊疗高度依赖术者个人经验，缺乏客观、量化的决策依据。本项目通过研发可解释的智能模型与患者特异性数字心脏，将推动临床决策范式从“经验驱动”向“数据智能协同驱动”的深刻转型，从而突破现有诊疗模式的精准度天花板，显著提升复杂手术的规划水平与成功率。

最后，本项目将打通前沿技术临床转化的“最后一公里”通路。先进的 AI 与 AR

技术因性能、安全与可靠性挑战，难以在手术室等高要求环境中稳定应用。本项目通过构建兼顾高性能与高安全性的边缘计算与部署框架，将有效弥合前沿算法与临床应用之间的鸿沟，催生出一套真正稳定、可靠、高效的智能化手术辅助平台，推动我国在高端介入诊疗装备领域的自主创新与产业化进程，最终以技术革新全面提升国民心血管健康水平。

2.2 项目主要研究内容：项目要解决的主要技术问题和难点，实施的技术路线和创新点等，需紧密围绕研究目标设置研究内容。

2.2.1 拟解决的关键科学问题

本项目旨在系统性地攻克冠心病介入诊疗全流程中的关键科学问题，以构建一个从数据到决策、从规划到执行的闭环智能诊疗体系。这些科学问题是解决前述临床瓶颈的理论基石，具体如下：

（1）异构物理场下的时空信息统一表征理论

如何在心脏高动态形变与多模态成像物理原理（CT 衰减、MR 自旋、PET 代谢）完全异构的条件下，建立一个能统一描述解剖、功能与血流的四维时空信息场理论模型？这超越了简单的图像对齐，旨在解决异质数据在物理与语义层面不可公度的根本科学难题，是构建高保真数字心脏的理论基础。

（2）病理演化的影像生物学因果推断机制

如何从多模态影像特征中，建立从局部冠脉病变（形态、成分）到全局心功能损伤（应变、灌注、代谢）的病理生理级联效应的因果模型？这需从传统的“特征关联”分析，深入到揭示“A 如何导致 B”的深层病理耦合规律，是实现从精准诊断到预后预测的认知跨越。

（3）动态高风险场景下的人机融合与认知一致性原理

如何在术中高压、动态环境下，构建一个能实现医生认知空间与 AR 信息空间无缝对齐的人机交互模型？关键科学问题在于，如何设计信息呈现与交互方式，以最小化认知负荷、最大化决策效率，解决虚拟信息与真实操作间的“感知-决策”鸿沟。

(4) 资源受限环境下的模型安全-精度帕累托最优：

如何在边缘计算设备（如 AR 头显）资源极端受限的条件下，找到复杂 AI 模型在临床精度、推理速度和安全可信度这三个相互制约维度上的理论最优平衡点（帕累托前沿）？这需要建立一套全新的模型设计与部署理论，以解决高性能 AI 在真实世界临床环境中“不可能三角”的根本矛盾。

2.2.2 拟采取的研究方法和技术路线



图 2-2 技术路线图

(1) “四阶段递进式”的数据底座构建路线：多模态心脏影像高精度动态配准与术前特征自适应融合

本研究依循“数字心脏建模—时空联合配准—自适应融合—端到端优化”四阶段路线，为介入手术智能辅助平台奠定数据底座。首先，利用 Physics-Informed Neural Network 将 CT、MRI、超声、PET 等解剖-功能信息与心电信号动态对齐，生成可持续更新的四维数字心脏，并以解耦表示学习分离成像特性与真实结构。其次，构建含多尺度卷积与图神经网络的形态-拓扑特征提取器，引入序列分析模型描述心脏搏动，采用组配

准策略实现多模态时空一致性。第三，开发兼顾早期与晚期策略的自适应融合模块，借助多头注意力动态分配模态权重，并嵌入模态缺失补偿机制以确保临床场景下的不间断输入。最后，以渐进式多任务训练联合配准损失、融合损失与诊断损失，借梯度共享与特征传递实现深度耦合，在公开数据集与多中心临床数据（2000 例以上配对影像数据）上以 Dice、Hausdorff、SSIM、PSNR 等指标完成验证，保证配准-融合结果可直接服务后续诊断与手术辅助。

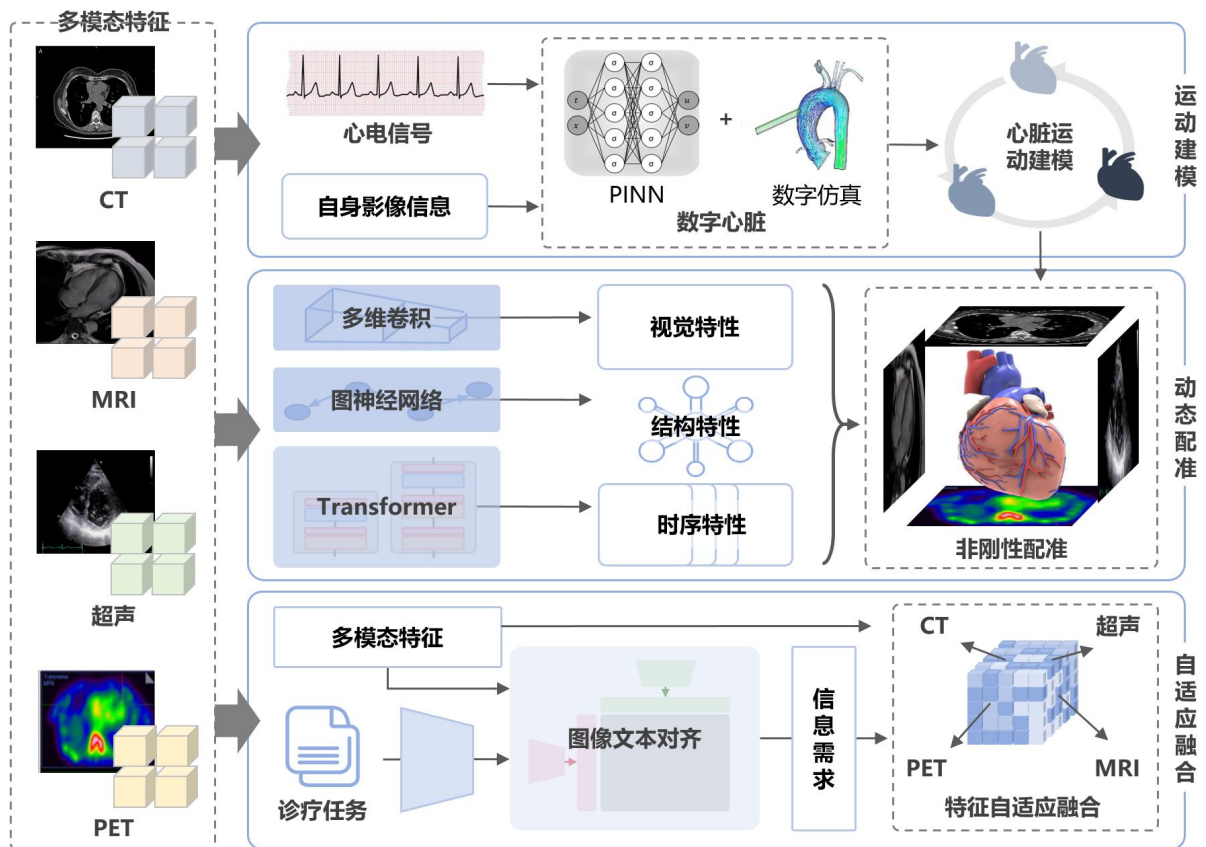


图 2-3 多模态心脏影像高精度动态配准与术前特征自适应融合

(2) “三模块驱动”的智能诊断与风险评估流程：基于多模态融合的智能冠心脏病精准诊断与术前量化分析

依托第一部分的统一特征张量，本研究聚焦“检测-分割-量化分析-风险预测”三大模块，构建平台的决策大脑。首先，在医学影像分割框架中注入空间-时序先验，精准识别心肌、心腔、冠脉及斑块，并以注意力融合 CT、MRI、超声特征，提升检测鲁棒性。

其次，基于分割结果自动计算 LVEF、GLS、狭窄率及斑块成分，采用标准化流程保障量化一致性与可重复性。第三，融合影像特征与临床数据，采用机器学习与深度学习结合的方法实现缺血性心肌病分型及 MACE 预测，通过大规模数据交叉验证增强泛化能力。最终，以准确率、召回率、F1 值、ROC-AUC 等指标综合评估，并在真实工作流中（500 例以上）验证诊断有效性，将个体化路径与器械选型要素实时推送至手术辅助模块，形成数据闭环。

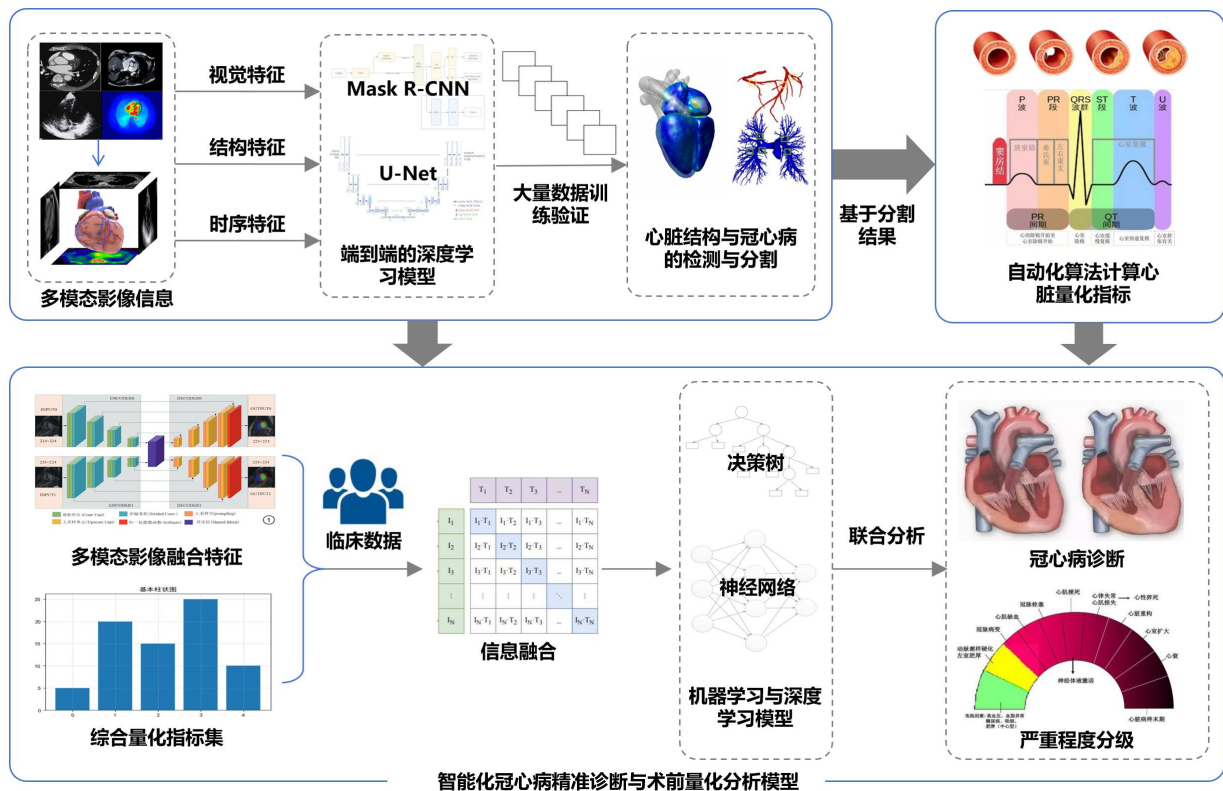


图 2-4 基于多模态融合的智能冠脉精准诊断与术前量化分析

（3）“三层递进”的增强现实手术辅助系统研发路径：面向精准治疗规划与手术辅助的多模态融合辅助决策系统

本研究面向心血管介入手术的术前规划与术中辅助关键环节，提出融合多模态影像与增强现实的辅助决策系统。首先，基于 CT、MRI、超声等影像数据构建个性化心脏与血管三维模型，融合静态结构与瓣膜动力学特征，精准建模病灶区域与血管走向，支撑术前路规划与器械选型设计。其次，研究高精度快速影像配准与器械轨迹跟踪方法，提

出结合结构-纹理双特征的多尺度匹配算法，实现术中X线/超声影像与术前模型的实时配准，将误差控制在毫米级；结合视觉 SLAM 与惯性测量实现器械轨道的稳定估计与连续追踪。第三，开发基于 HoloLens 等混合现实设备的增强现实手术辅助方法，实现多模态影像、个性化模型与器械轨道的实时叠加显示，设计自然交互机制提升术者操作直觉性与空间感知能力。最后，建立系统性能评估与集成方案，开展配准精度、轨道追踪稳定性、显示延迟与交互响应等关键指标测试，融合 PACS、HIS 等医院信息系统设计标准化接口，构建可用于临床的辅助决策平台，推动精准治疗从影像分析走向术中应用的闭环转化。

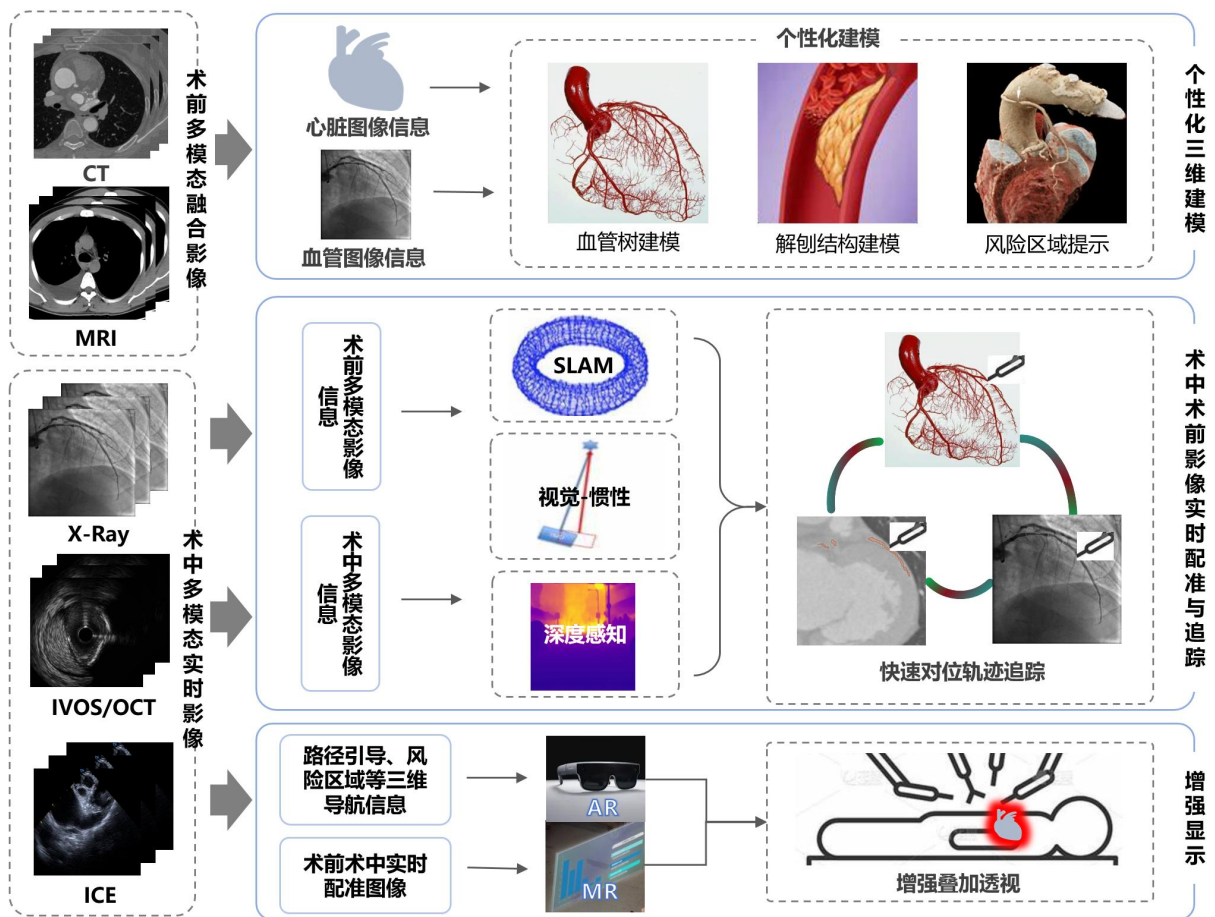


图 2-5 面向精准治疗规划与手术辅助的多模态融合辅助决策系统

(4) “四环相扣”的轻量化模型边缘端部署机制：面向临床实时交互的轻量化模型构建与边缘端安全部署

为实现整个智能辅助平台在临床场景下的高效、稳定与安全运行，本研究将遵循“模型压缩-硬件适配-安全加固-集成验证”的技术路线。首先，在模型压缩层面，将综合运用通道剪枝、量化感知训练与知识蒸馏技术。具体而言，将以一个预训练的全尺寸多模态模型作为“教师网络”，指导一个结构更紧凑的“学生网络”进行学习，并引入动态剪枝策略，在保留核心功能层的基础上剔除冗余参数，实现模型体积的数量级压缩。其次，在硬件适配层面，将开发一种基于神经网络架构搜索的硬件感知型算子优化器，该优化器能够根据目标边缘设备的硬件特性，自动调整网络层结构与计算图，生成最优化的推理引擎，从而最大限度地减少信息在异构硬件上传输与计算时的损失。第三，在安全部署层面，将构建一个基于联邦学习与可信执行环境的混合框架。通过联邦学习机制，允许多中心数据在本地完成模型训练，仅交换加密后的模型参数，保护数据隐私；同时，利用 TEE 技术为模型在边缘端的运行提供一个硬件级别的隔离安全区，防止恶意篡改与攻击。最后，通过在模拟手术室环境和真实临床网络中进行压力测试，以推理延迟、吞吐量、模型保真度和安全渗透测试等指标对整个部署框架进行综合评估，确保其满足临床应用的严苛标准。

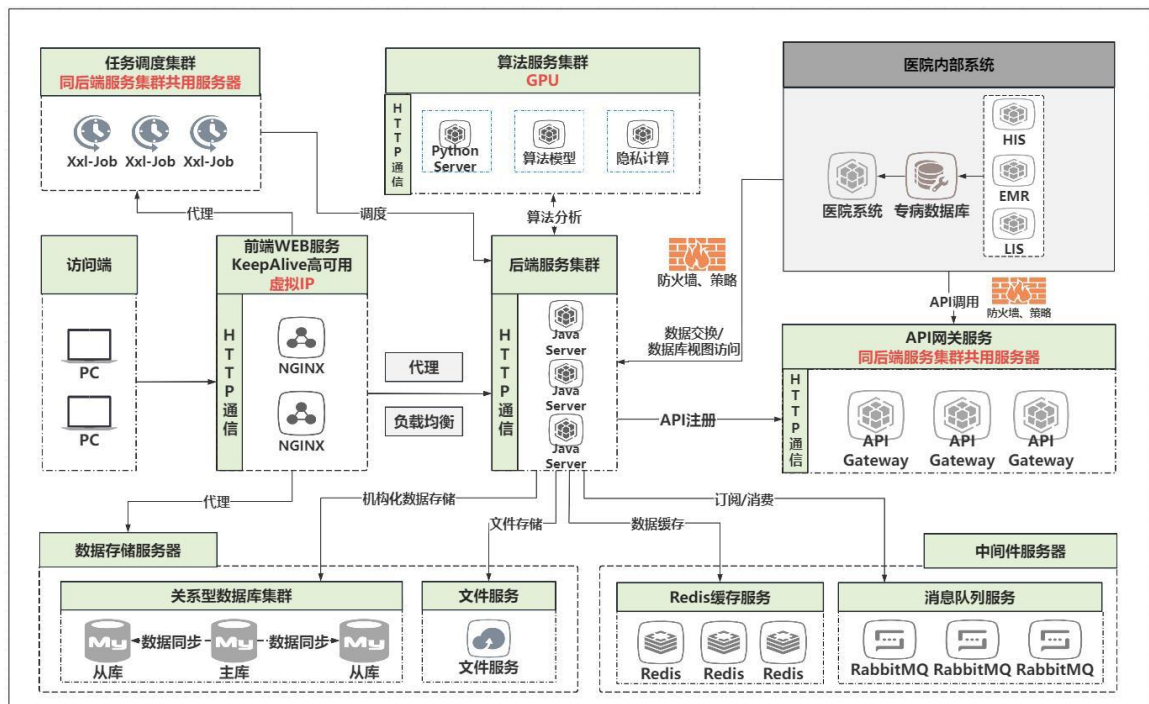


图 2-6 轻量化模型构建与边缘端可信安全部署

2.2.3 关键技术

（1）基于多模态融合的智能化冠心病精准诊断与量化分析技术

构建高保真数字心脏模型，并利用基于多头注意力机制的自适应融合技术，驱动多模态融合神经网络架构实现对心脏结构及病灶的精准分割。准确计算左室射血分数（LVEF）、全局纵向应变（GLS）、心肌透壁指数、冠状动脉狭窄程度、斑块负荷与成分构成（钙化、脂质、纤维）等核心临床参数。完成对冠心病类型识别、分级评估、MACE发生风险的精准预测。

（2）面向精准治疗规划与手术辅助的增强现实导航与人机交互技术

整合术前CT、MRI、超声等多源图像信息，构建个体化心脏与血管系统的三维数字模型，并结合视觉/电磁跟踪技术，准确捕捉手术器械的空间位置与运动轨迹。构建融合虚实增强现实显示平台，将融合模型、病灶信息与器械轨迹实时投影至手术视野，实现精准定位、动态引导与交互操作，提升临床操作的安全性与效率。

（3）面向临床实时交互的模型轻量化与可信部署技术

通过模型压缩与加速技术，大幅降低内存占用和计算量；同时，利用结构化剪枝移除整个卷积核或网络层，而非零散的权重，实现高效推理。开发一种能感知目标边缘设备计算特性和内存限制的自动化模型设计技术，将推理延迟、能耗等硬件性能指标直接纳入搜索算法的优化目标，自动生成在特定硬件上性能最优的轻量化网络结构。构建一个结合联邦学习与可信执行环境的安全框架，从根本上保护患者数据隐私，确保其完整性和机密性。

2.2.4 创新点

（1）模型构建创新：构建物理信息驱动的四维心脏功能-结构统一模型，并创新性地提出了配准-融合-分割任务的联合优化深度学习框架。

本项目的核心突破在于将以物理规律约束数据驱动模型，从根本上解决了传统方法

中误差累积与语义鸿沟的难题。在模型层面利用物理信息神经网络，将心肌生物力学、血流动力学等先验知识编码进网络，构建了一个四维高保真数字心脏。该模型保证了多模态数据在融合前即具有内在的物理一致性。

(2)临床决策创新：提出基于多模态因果推断的血管-心肌损伤级联效应量化方法，实现了从“影像关联”到“病理预测”的认知跨越。

本项目超越了传统的影像特征关联性分析，致力于揭示冠心病演化的因果机制。在机理层面我们构建了包含冠脉几何、斑块成分、心肌应变、血流储备分数等多维度特征的时空关联图谱。在方法层面应用因果推断模型，它不仅能精准评估当前风险，更能预测不同介入策略（如植入支架在何处、何种尺寸）对远期心功能改善的因果效应，为个体化治疗规划提供了前所未有的科学依据。

(3)系统架构创新：创建面向临床边缘端的硬件感知与可信联邦AI部署架构，攻克了高性能模型在真实世界中“实时、安全、可信”部署的核心工程难题。

本项目在系统工程层面将实现关键创新。在性能与效率上：我们将研发一套硬件感知的神经网络架构搜索机制。该机制将AR头显等边缘设备的算力、功耗、内存带宽等物理约束作为优化目标之一，实现毫秒级的实时响应。在安全与可信上：我们深度融合了联邦学习与可信执行环境。该混合架构允许模型在多中心数据不出域的前提下安全地迭代进化，同时利用TEE硬件级加密隔离技术，确保模型在终端设备上运行时既无法被窃取，也无法被恶意篡改。

2.3 项目年度任务和考核指标

年度	年度任务	年度考核指标	重要任务的时间节点
2026 年	1.构建多模态数字心脏建模框架，完成结构-功能先验融合方法设计； 2.开发基于 PINN 与 Transformer 的时空	1.完成至少 1000 例多模态心脏影像数据建模与标注； 2.建成融合 PINN 与图神经网络的数字心脏模型；	2026.06：完成临床数据收集和标注； 2026.08：完成配准网络与联合分割模型初版； 2026.12：完成功能参数量化验证。

	<p>联合配准网络，实现多模态影像时序一致性建模；</p> <p>3.开展多模态量化指标算法原型设计，完成部分指标(如 LVEF、GLS)的提取验证。</p>	<p>3.完成 1 篇论文，申请 1 项发明专利。</p>	
2027 年	<p>1.建立全面的量化指标体系，实现狭窄率、斑块成分等参数的自动分析；</p> <p>2.构建融合结构特征与量化结果的冠心病诊断与 MACE 风险预测模型。</p> <p>3.开发术中影像配准模块，完成毫米级实时导航算法设计与增强现实原型系统搭建。</p>	<p>1.建成冠心病诊断与 MACE 风险预测模型；</p> <p>2.制定系统集成接口规范文档 1 份，完成至少 1 个子模块的无缝集成示范；</p> <p>3.论文 2 篇，申请专利 2 项，申请软件著作权 2 项。</p>	<p>2027.04: 实现量化功能与 MACE 模型训练；</p> <p>2027.08: 部署术中导航原型；</p> <p>2027.12: 完成轻量化部署与接口协议草案。</p>
2028 年	<p>1.构建端到端智能心脏辅助诊疗系统，实现多模态配准、分割、量化、预测与导航全流程整合。</p> <p>2.建成无缝集成平台，完成与 PACS、HIS、RIS 等临床信息系统对接。</p> <p>3.输出知识产权成果、转化产品与研究报告，形成系统成果闭环。</p>	<p>1.平台集成五大功能模块，接口与数据流闭环可用；</p> <p>2.完成系统部署包+软件接口+集成文档 1 套，支持 HIS/PACS 无缝接入；</p> <p>3.软件系统 1 套，申请专利 2 项，申请软件著作权 2 项。</p>	<p>2028.04: 完成全流程系统组装与部署；</p> <p>2028.08: 完成集成接口测试与稳定性评估；</p> <p>2028.12: 完成结题评估、系统交付及转化输出。</p>

三、预期成果和考核指标

3.1 预期成果（含标志性成果或核心成果）：是指通过完成项目任务直接获得成果（包括产品、专利转化等）。

本项目的成果呈现形式为软件系统、新型算法模型、科技评估报告、科研论文、软件著作权及专利申请等。

（1）软件系统：设计具备术前规划与术中引导能力的智能化辅助诊疗决策支持系统，结合配准与识别模块实现病变靶点的自动定位与介入路径建议。系统将具备术前方案模拟、风险分析与术中实时引导功能，提升治疗精度与安全性。预计该模块在试点医院中配合医生制定干预方案的准确率不低于 90%，并获得临床团队正面反馈。

（2）新型算法模型：

多模态心脏影像融合配准与特征提取模型：研发适用于 CT、MRI 和超声等多种模态间的高精度心脏影像配准算法，通过深度神经网络引入时序建模与形变场约束，解决空间和时间维度的对齐问题。同步构建自适应特征融合模型，实现结构层级与语义层级的信息统一表达，显著提升病灶区域的识别准确性。

多模态智能诊断与量化分析模型：构建冠心病智能诊断模型，集成病变自动识别、狭窄程度测量与斑块定量评估等关键功能，实现从多模态影像输入到定量指标输出的端到端建模。该模型将具备良好的泛化能力和临床适配性，能够为医生提供高效、准确的辅助诊断信息，并支持结果的可视化分析，提升诊断一致性和效率。

（3）论文发表、软件著作权及专利申请：本项目原创性成果主要以完成学术论文、申请软件著作权及发明专利形式呈现。拟完成高水平论文 5 篇，申请软件著作权 4 项，申请/授权发明专利 5 项。

（4）科技评估报告：项目将完成多模态融合影像系统的设计方案、功能评估及临床验证。各阶段设定明确里程碑，按计划提交年度报告、中期总结与最终科技报告，全面展示系统的先进性、实用性与可交付性。

（5）人才培养：依托项目平台将培养博士研究生 4 人、硕士研究生 8 人，涵盖图像计算、人工智能与临床交叉应用等方向，为我国智慧医疗产业提供人才和技术储备。

3.2 考核指标：有且不限于招标指南上的要求。

（1）开发多模态心脏影像融合智能辅助诊疗系统 1 套，实现配准、融合、诊断及辅助决策等核心功能；

（2）构建 5 个关键算法模型，涵盖高精度动态配准、自适应特征融合及冠心病精准诊断等；

（3）完成高水平论文 5 篇，申请软件著作权 4 项，申请发明专利 5 项；

（4）完成系统先进性及实用性的设计报告、临床验证分析报告、查新报告及由第三方权威机构出具的评测报告；

（5）本项目同时计划培养博士研究生 4 名、硕士研究生 8 名，支撑智慧医疗人才队伍建设及技术储备。

3.3 预期效果：应体现应用预期成果后，将引起所在研究领域、产业或社会产生的直接变化，以及间接带来的影响。

本项目依托多模态影像融合与人工智能技术，针对冠心病智能诊疗的关键技术瓶颈，构建高精度、多模态融合的诊断与辅助决策模型。预期成果将推动相关领域技术进步，促进产业升级，助力实现国家健康战略目标，产生深远的社会效益。

（1）理论与范式创新价值

项目聚焦冠心病多模态心脏影像的高精度动态配准与自适应特征融合，其核心科研价值不仅在于解决具体的技术难题，更在于对“动态器官多模态信息学”这一基础科学问题的深度探索。预期成果将：

构建新的理论框架：系统性地提出适配高动态、异质性生物特征的联合优化理论，突破传统“先配准、后融合”串行模式的根本局限，为其他动态器官（如肺部、腹部脏器）的影像智能分析提供关键的理论借鉴与方法论指导。

建立新的研究范式：通过将“高保真数字心脏—精准诊断—智能规划—实时导航”进行闭环整合，首次构建并验证一个可推广的复杂疾病“诊疗一体化”研究新范式，推

动医学影像人工智能从“辅助诊断”的单一功能，向覆盖“诊、疗、控”全流程的体系化研究演进，提升我国在该领域的原始创新能力。

（2）临床决策范式变革价值

通过多模态智能诊断与量化分析模型的构建，项目将推动临床决策范式从“经验驱动”向“数据智能协同驱动”的深刻转型，其核心临床价值在于：

突破诊疗精度瓶颈：通过揭示血管病变与心肌损伤的深层因果关联，模型将大幅提升冠心病隐匿性病灶的识别能力与复杂病变的量化精准度，有望突破现有单模态影像诊疗 18.7%误诊率的瓶颈，显著降低诊疗风险。

重塑个体化治疗路径：辅助决策模型将为临床医生提供科学、精准的治疗规划与手术辅助支持，这不仅是提供参考，更是通过患者特异性数字心脏进行术前推演与预后预测，真正实现“一人一策”的个体化精准医疗，全面提升复杂高危手术的安全与疗效。

（3）产业生态与核心竞争力重塑价值

项目成果具备良好的工程集成和产业化潜力，其目标不止于技术转化，而在于重塑国产高端医疗装备的产业生态，核心价值体现在：

构筑自主可控的技术壁垒：预期形成的自主知识产权核心算法库与模型库，将打破国外厂商在高端心脏影像分析软件领域的技术垄断与专利壁垒，为国产医疗设备植入“中国芯”与“智能脑”，从根本上提升我国智能医疗产业的核心竞争力。

催生新一代产业链条：本平台作为系统性解决方案，将催生覆盖“核心算法-软件系统-硬件设备”的新一代国产智能诊疗产品，并带动上游（传感器、芯片）和下游（临床服务、数据运营）产业链的协同发展，形成具有国际竞争力的高端医疗装备产业集群。

（4）社会效益

项目紧密契合《“健康中国 2030”规划纲要》与《新一代人工智能发展规划》等国家战略，聚焦冠心病这一重大公共健康问题，提升早期诊断准确率和个性化治疗水平，将产生巨大的社会效益，集中体现在：

精准赋能国家健康战略：深度契合《“健康中国 2030”规划纲要》，通过高灵敏度

的早筛技术将冠心病检出窗口期提前数年；同时，研发的轻量化分析工具可下沉至基层，有力支撑分级诊疗体系的实施，预计降低不必要转诊，推动优质医疗资源的普惠与均等化。

提升全球健康领域话语权：项目的成功不仅能显著降低我国冠心病患者超千亿的直接医疗负担与死亡率，更将以技术标准和创新产品的形式，向世界展示中国在应对重大慢病挑战中的科技解决方案，提升我国在全球心血管精准医疗领域的技术话语权与国际影响力。

四、现有的工作条件与基础

4.1 研究基础：项目承担单位及主要参与单位研究基础，包括相关领域研究经历及近年牵头、参与的相关领域项目/课题情况，已有的相关研究成果。

4.1.1 项目申请单位研究基础

（1）相关领域研究经历

项目申请单位上海市第十人民医院在心血管疾病诊疗、医学影像分析、人工智能辅助手术等领域具有深厚的研究基础，尤其在冠心病介入治疗与多模态技术融合方面积累了丰富的临床与科研经验。十院心内科为国家临床重点专科，年冠心病介入手术量超5000例，具备大规模临床数据资源。在复杂冠脉病变（如CTO、分叉病变）的介入治疗中开展多项技术创新，积累了丰富的术中影像（IVUS、OCT、FFR）及术后随访数据。放射科已建立医学影像AI分析平台，擅长冠状动脉CTA、血管内超声（IVUS）、光学相干断层成像（OCT）等多模态影像的自动分割、斑块识别及功能学评估（如FFR-CT）。在深度学习辅助诊断领域发表多篇论文（如《European Radiology》《JACC: Cardiovascular Imaging》）及多篇多模态融合相关论文（如《IEEE TMI》2023年《Multimodal Fusion for Coronary Plaque Characterization》）。开发了基于U-Net、Transformer等病变检测算法，并开发了冠脉造影自动分割软件（已获CFDA二类证）。

（2）近年牵头、参与的相关领域项目/课题情况

项目申请单位承担多项相关国家自然科学基金、上海市科委重点项目，研究方向涵盖手术导航、预后预测模型等。如，上海市科委项目“基于深度学习的冠脉OCT易损斑块智能诊断系统”（2020-2022）。国家自然科学基金“多模态影像引导的冠脉介入手术机器人精准导航研究”（2023-2026）。

（3）已有的相关研究成果

1) 本项目相关的预实验基础

数据集及已开展的工作

项目组目前已联合9个影像中心构建8665例冠心病CTA、心脏MR及超声配对数据，

其中 2019 例含核医学 PET 或 SPECT 结果，共涵盖 6 种不同分类的精准标注。具体如下：

预训练数据：CT-RATE dataset (n=48,000 例，带影像诊断报告)

测试数据：通过两名 5 年以上心内科医生，根据指南冠心病分类最新指南进行标注，如下：

数据类型	标注样本数 (n)
1.冠状动脉疾病	8,665
1.1 稳定型心绞痛	2,006
1.2 隐匿型冠心病	512
1.3 缺血性心肌病	645
1.4 不稳定型心绞痛	2,210
1.5 非 ST 段抬高型心肌梗死 (NSTEMI)	558
1.6 ST 段抬高型心肌梗死 (STEMI)	2,734

已开展的工作：为了实现胸部 CT 平扫对常见心脏疾病进行分类，项目组在上述数据集上，利用改进的 3dUnet 算法，进行冠心病分类诊断模型的训练及验证，结果显示冠心病诊断 AUC 均大于 0.9，如图所示。项目组已经实现冠状动脉 CTA 上混合型斑块、软斑块、钙化斑块类斑块的自动分割，为本项目的研究奠定了基础，如下图所示。

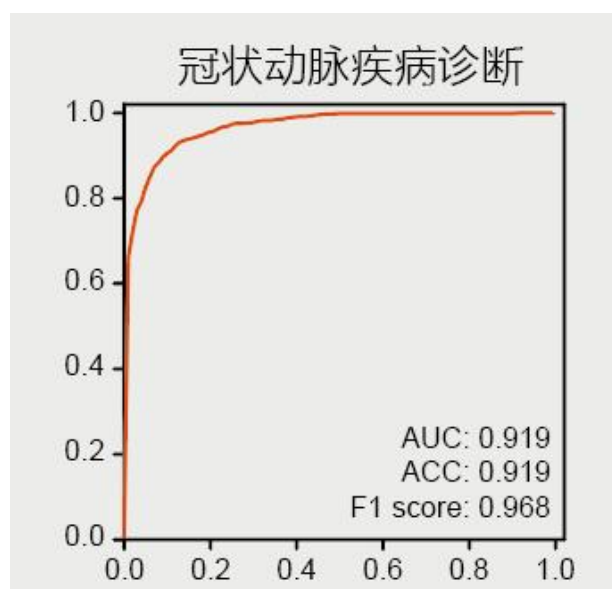


图 4-1 分类结果准确性评价

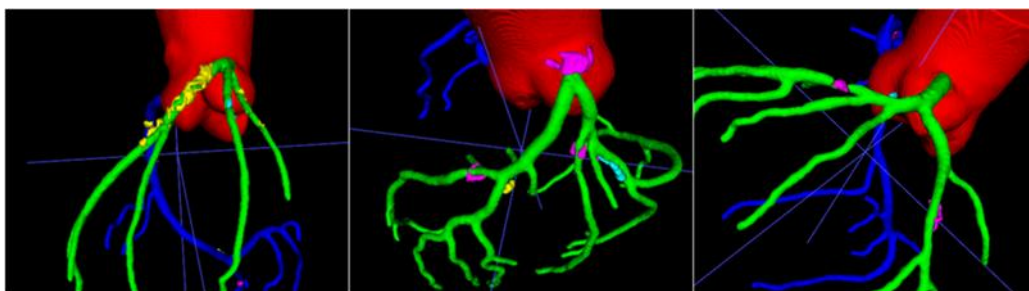


图 4-2 已完成 CTA 中冠脉斑块分割(图中粉色、黄色、浅蓝色部分为不同类型冠脉斑块)

2) 项目负责人牡丹团队前期研究基础

1、建立 AI 辅助冠心病诊断系统

团队较早建立 AI 辅助冠心病诊断系统，检测敏感性、特异性、PPV、NPV 和准确率分别为 92%、87%、79%、95%和 89%；对不同斑块的分类敏感性、特异性、PPV、NPV 和准确率分别达到为 94%、90%、70%、98%和 90%。相关研究获得南京市科技发展重点项目资助，获得南京市新技术一等奖。

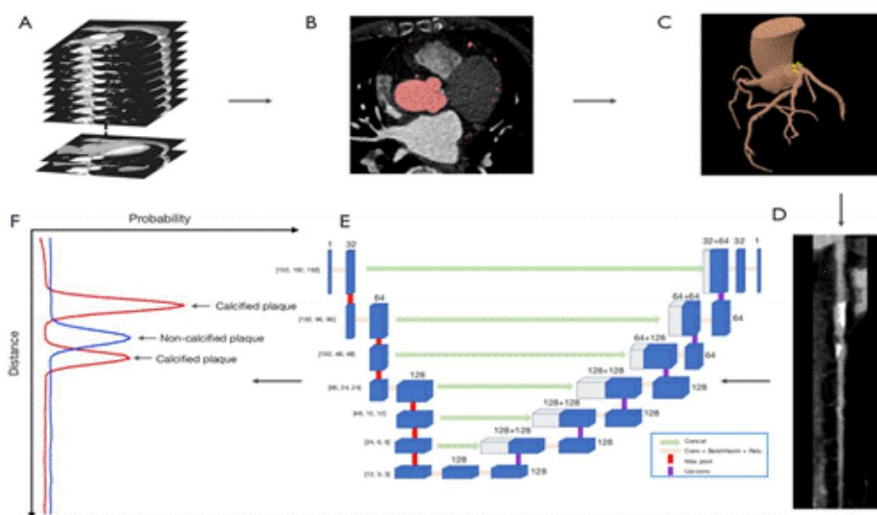


图 4-3 基于深度学习的斑块检测算法工作流程示意图。(A)横断面图像叠加；主动脉和冠脉(B)分割（红色区域）；主动脉和冠状动脉(C)体积渲染图像；(D)矫正左前降支渲染图像；(E)三维 U-Net2 模型架构者；(F)分别对应钙化和非钙化斑块的两条概率曲线。成果 Automated detection and classification of coronary atherosclerotic plaques on coronary CT angiography using deep learning algorithm 发表在 Quant Imaging Med Surg（中科院 2 区）上，申请者为通讯作者。

2、基于虚拟 CT 平扫的冠心病危险分层的 AI 研究

项目组与国际顶尖研究团队合作,通过冠脉CTA的虚拟平扫中进行RCNN半监督标注,建立了冠心病 AI 多任务风险分层模型,其分层准确性近 93%,其效能在不同层厚、不同扫描机型及不同性别患者之间无明显差异。相关研究获得江苏省新技术引进二等奖、江苏省青年科技奖及《SCCT 年度最佳论文奖》,目前申请一项国家发明专利在实审阶段。

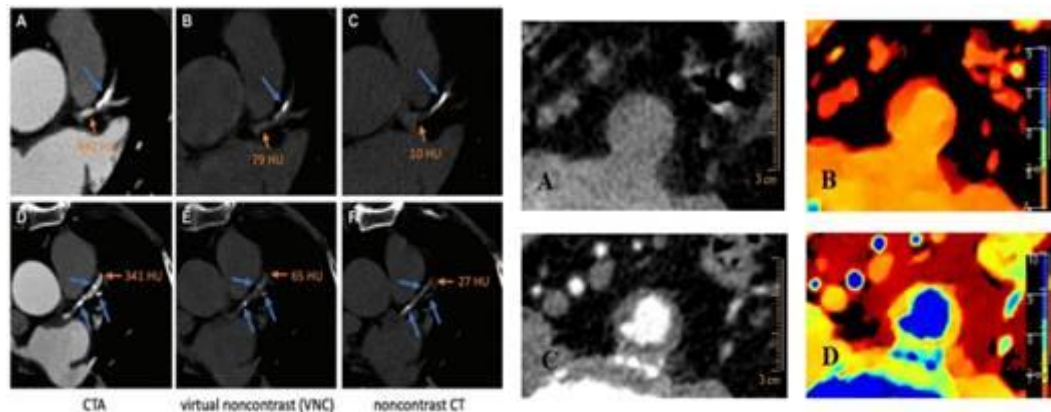


图 4-4 左图:训练集、验证集和独立测试集的流程图。右图:(A-F)在训练组中的两名患者的 CT 血管造影(CTA)、VNCCT 和非对比 CT 扫描上显示钙化(蓝色箭头)。成果 Calcium Scoring at Coronary CT Angiography Using Deep Learning 发表在放射学顶级期刊 Radiology (中科院 1 区, IF 19.70) 上,申请者为第一作者。

3、基于胸部 CT 平扫的非钙化斑块筛查的 AI 研究

项目组前期研究用 CTA 图像作为金标准,在光谱 CT 平扫上进行非钙化斑块的评估, AI 算法开发的效原子序数图能够在平扫图像中检测到 54.7% 的非钙化的斑块,敏感性约普通平扫的 7 倍,可以早期发现非钙化斑块并及时干预,有助于筛查无症状的高危患者,为心血管病的普查提供了依据。依托相关研究申请者获得江苏省优秀青年放射学医师荣誉。

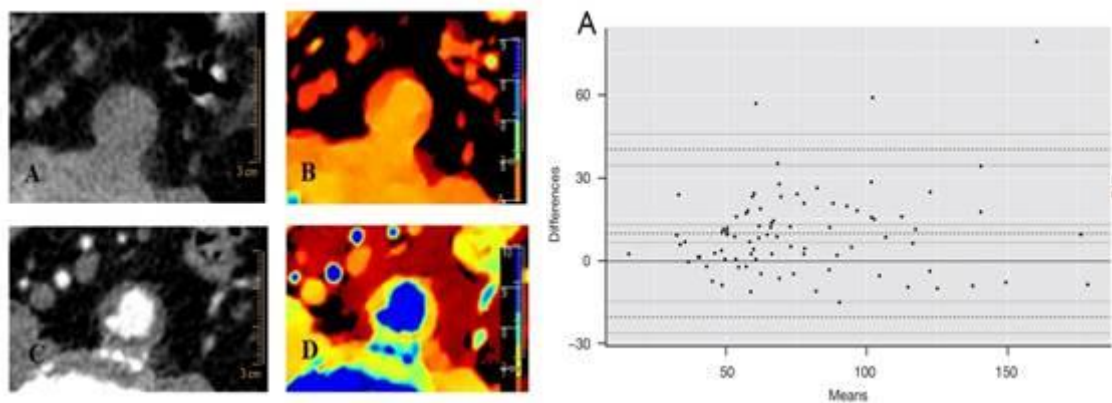


图 4-5 左图：常规 CT 平扫图像不用于非钙化斑块的检出（图 A），但 IQon 有效原子序数图反映的是物质成分，具有高敏感性，可以看到非钙化斑块（图 B），并且斑块在增强 CT 中得到证实（图 C、D），一致性高。右图：B-A 图显示斑块面积在常规 CTA 中测量和原子序数图上测量的一致性较高。成果 Clinical feasibility of using effective atomic number maps derived from non-contrast spectral computed tomography to identify non-calcified atherosclerotic plaques: a preliminary study 发表在 Quant Imaging Med Surg（中科院 2 区）上，申请者为通讯作者。

4、基于胸部 CT 平扫的钙化斑块检测的 AI 研究

项目组自主开发不同层厚胸部 CT 平扫中智能计算钙化积分的代码，攻克了运动伪影影响钙化积分值的瓶颈，在重建层厚为 1mm 的胸部 CT 平扫图像中获得了与门控 CT 平扫一致的积分值，为体检患者胸部 CT 平扫预测冠心病风险提供了方法。相关在 ECR 上获得专题报告机会。

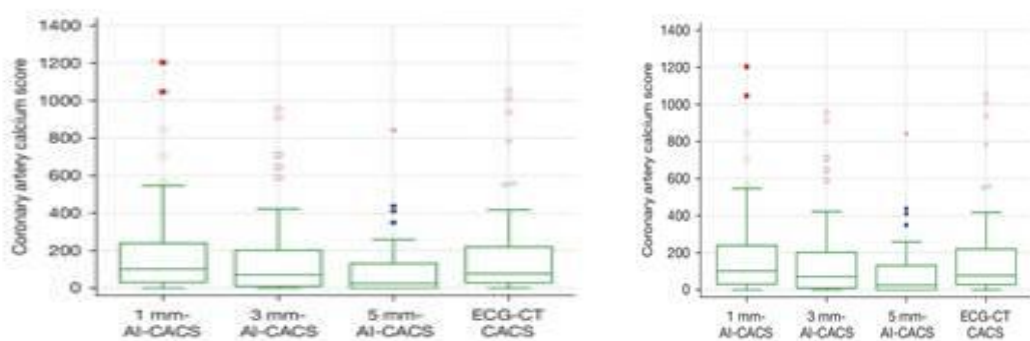


图 4-6 左图显示研究的算法工艺流程图.使用了 3D-unet 神经网络来分割冠状动脉区域的钙化病变。采用 ThNexten、检测分支和分割分支作为整个监督功能。右图显示胸部 CT 平扫重建层厚为 1mm 时钙化积分值与门控 CT 平扫的钙化积分值一致性较高。成果 Performance assessment of an artificial intelligence-based coronary artery calcium scoring algorithm in non-gated chest CT scans of different slice thickness 发表在 Quant Imaging Med Surg（中科院 2 区）上，申请者为通讯作者。

5、冠心病检查流程优化方面的 AI 研究

项目组通过 AI 算法开发的虚拟平扫 VNC 技术从冠脉 CTA 中直接生成 CT 平扫图像计算钙化积分，与常规冠脉平扫获得的钙化积分进行比较，发现有良好的一致性。因此可以省去 CTA 前的平扫流程，减少 10.6% 的总辐射剂量，省下 39% 的检查时间，开创性改变了冠心病 CT 检查流程。相关研究获得江苏省卫健委科技发展面上项目，并获得《领跑者 5000 中国精品科技期刊顶尖学术论文奖》。

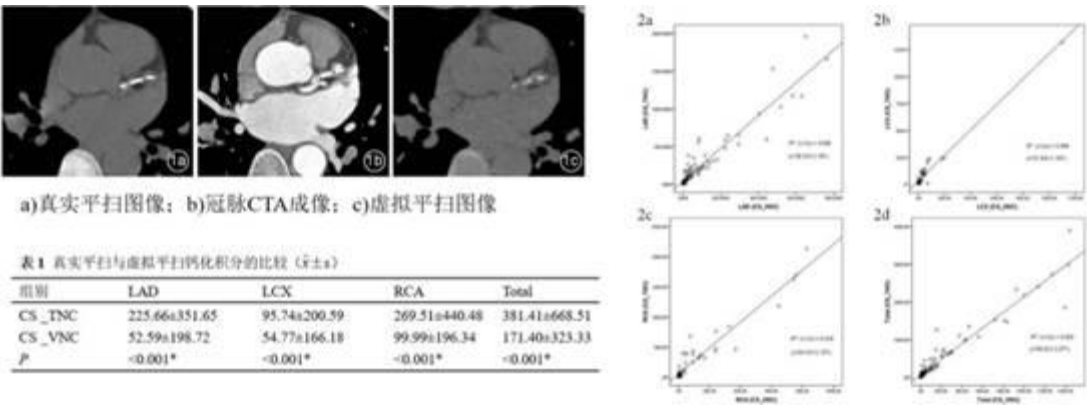


图 4-7 光谱 CT 可基于冠脉 CTA 得到虚拟平扫图像用于钙化积分计算。虚拟平扫与真实平扫得到的钙化积分有统计学差异，但是高度相关 $r^2>0.9$ 。成果《利用虚拟平扫降低冠状动脉 CT 血管造影辐射剂量的可行性研究》发表在中国卓越期刊《中华放射医学与防护杂志》上，申请者为通讯作者。

6、冠心病治疗预后评估方面的 AI 研究

团队在 CT 延迟增强心肌成像中利用 AI 算法得到的细胞外容积值，与金标准 MRI 相应指标对比一致性较高，在 PCI 术后患者三个月常规复查中，可以利用此技术进行一站式评估心肌及血管情况。相关研究获得江苏省瑞华基金会临床研究创新奖一等奖。

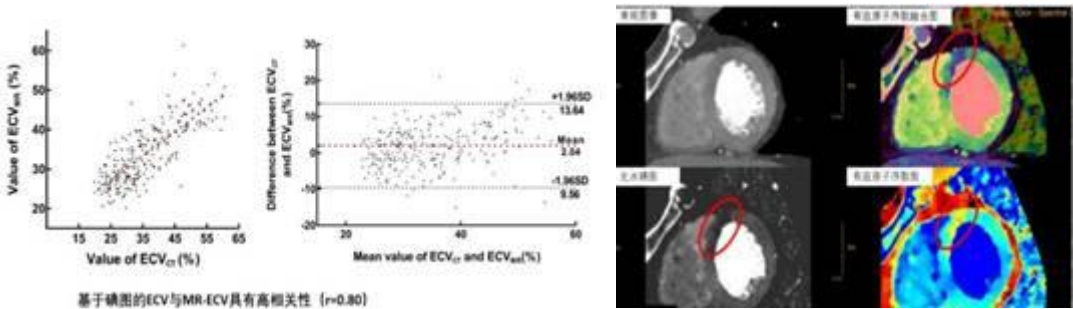


图 4-8 左图显示 CT-ECV 与金标准 MR-ECV 的一致性较高，右图显示碘图及有效原子序数图上

缺血区呈灌注缺损区。成果 Iodine-based Extracellular Volume for Evaluating Myocardial Status in Patients Who Received Percutaneous Coronary Intervention Using Dual-layer Spectral Detector CT: a Comparison Study with MR 发表在 Quant Imaging Med Surg (中科院 2 区), 申请人为通讯作者。

上述 CT 平扫心脏疾病初筛、AI 辅助冠心病诊断、基于虚拟 CT 平扫的冠心病危险分层、基于胸部 CT 平扫的非钙化斑块筛查/钙化斑块检测、冠心病检查流程优化、冠心病治疗预后评估的 AI 研究, 这些理论方法和软硬件技术基础可为本项目顺利开展奠定有效支撑。

3) 兼职 PI 骆功宁团队前期研究基础

1、Transformer 架构在冠状动脉狭窄自动检测中的应用研究

研究提出了一种用于显著性狭窄自动检测的 Transformer 网络 TR-Net, 以实现冠心病的智能辅助诊断。TR-Net 融合了卷积神经网络与 Transformer 编码器的结构优势, 能够同时建模局部细节与全局依赖, 充分提取多平面重建图像中关键的解剖语义特征。通过对图像中冠状动脉更加全面的特征信息分析, TR-Net 在复杂病灶识别任务中表现出优越的检测能力, 有望为冠心病的智能诊断提供有效技术支撑。

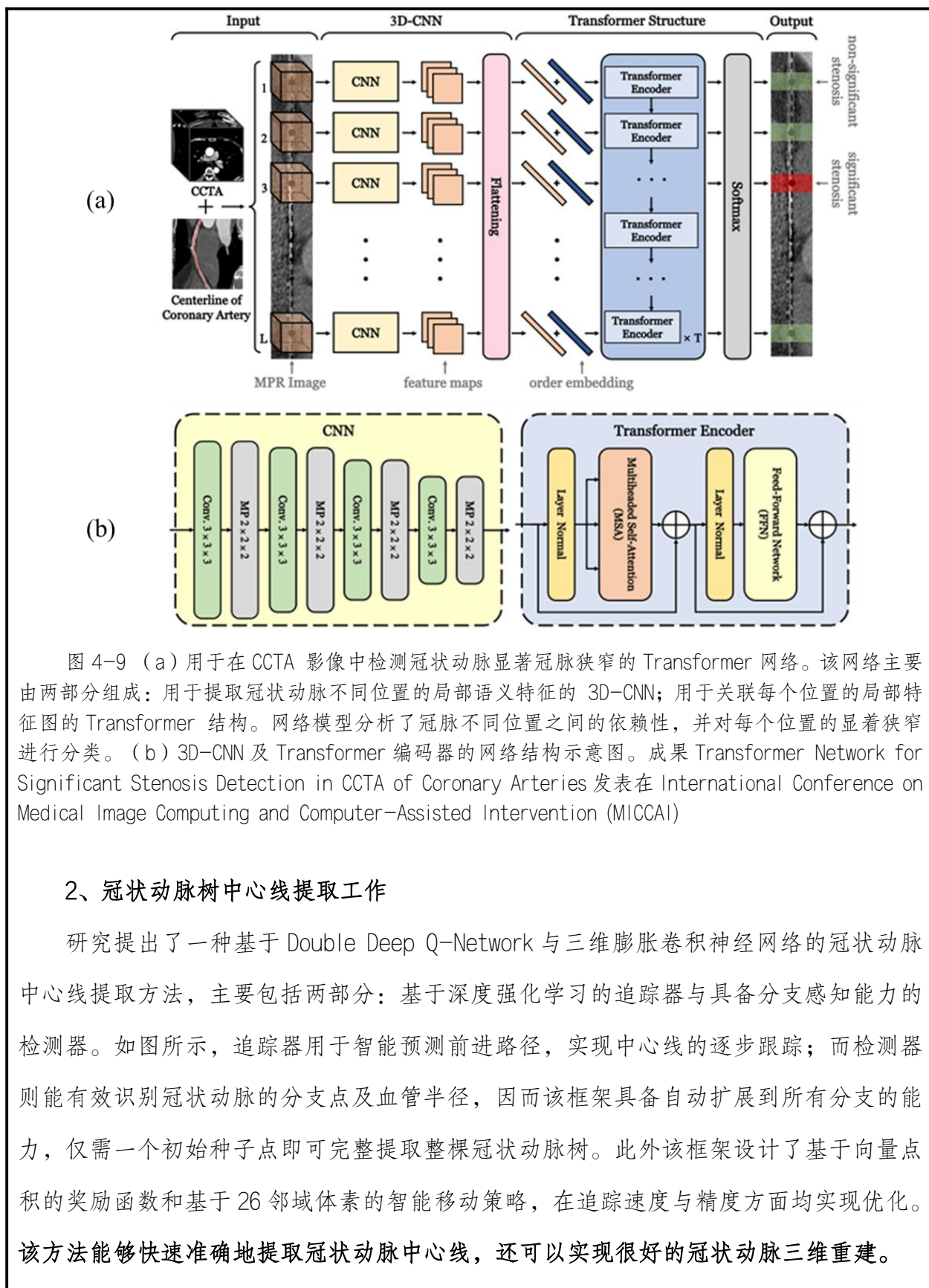
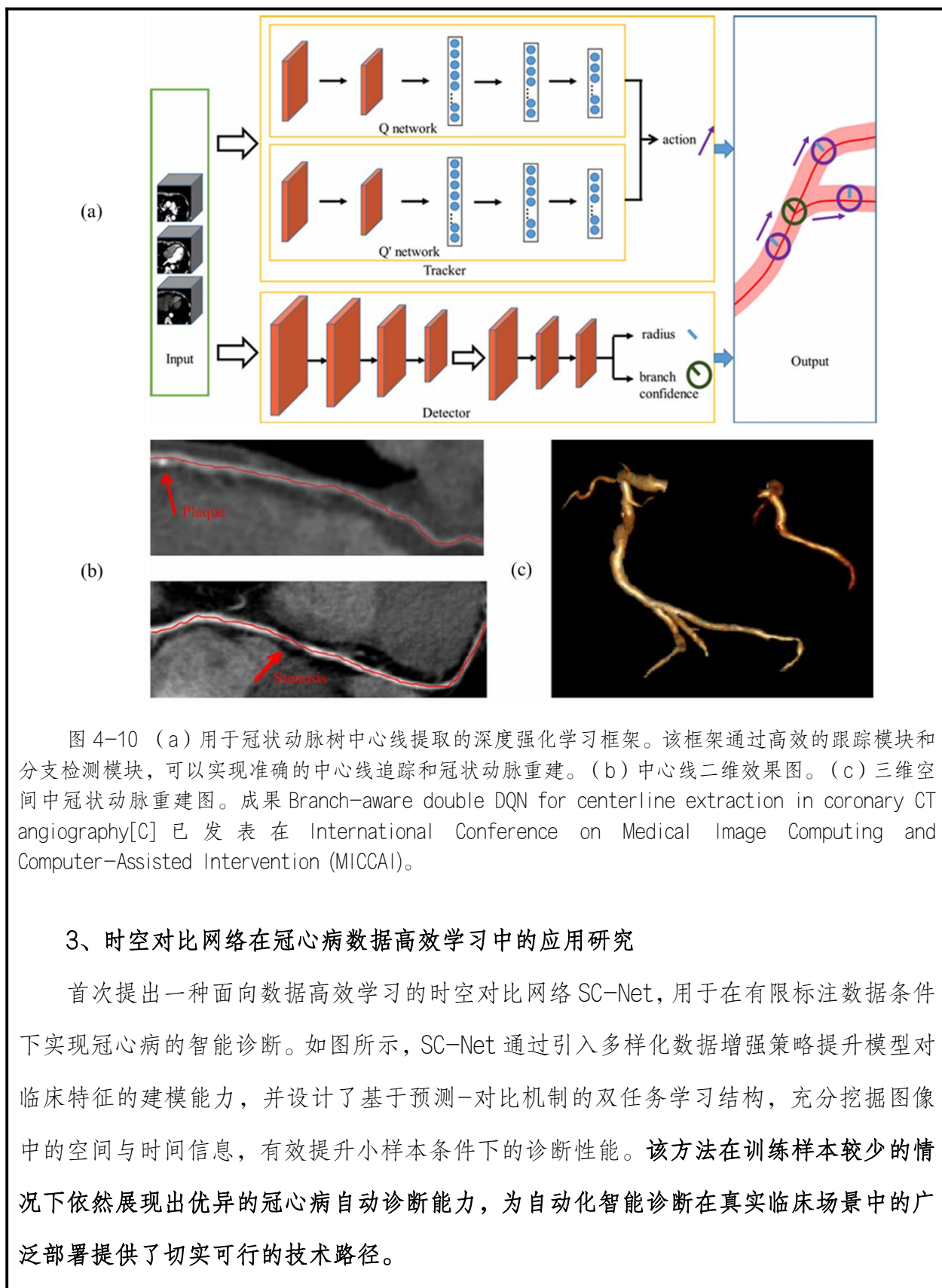
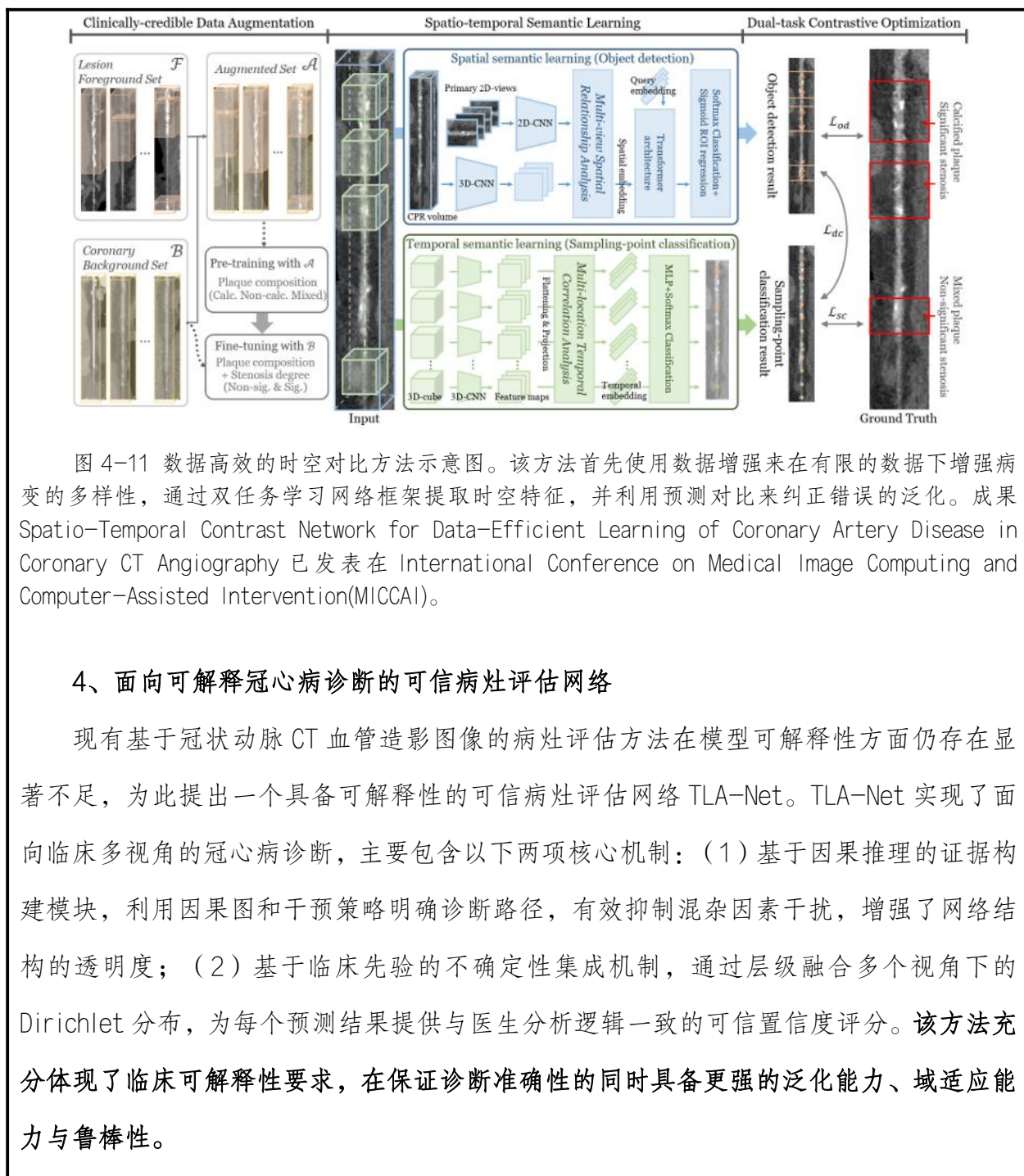


图 4-9 (a) 用于在 CCTA 影像中检测冠状动脉显著冠脉狭窄的 Transformer 网络。该网络主要由两部分组成：用于提取冠状动脉不同位置的局部语义特征的 3D-CNN；用于关联每个位置的局部特征图的 Transformer 结构。网络模型分析了冠脉不同位置之间的依赖性，并对每个位置的显著狭窄进行分类。(b) 3D-CNN 及 Transformer 编码器的网络结构示意图。成果 Transformer Network for Significant Stenosis Detection in CCTA of Coronary Arteries 发表在 International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI)

2、冠状动脉树中心线提取工作

研究提出了一种基于 Double Deep Q-Network 与三维膨胀卷积神经网络的冠状动脉中心线提取方法，主要包括两部分：基于深度强化学习的追踪器与具备分支感知能力的检测器。如图所示，追踪器用于智能预测前进路径，实现中心线的逐步跟踪；而检测器则能有效识别冠状动脉的分支点及血管半径，因而该框架具备自动扩展到所有分支的能力，仅需一个初始种子点即可完整提取整棵冠状动脉树。此外该框架设计了基于向量点积的奖励函数和基于 26 邻域体素的智能移动策略，在追踪速度与精度方面均实现优化。该方法能够快速准确地提取冠状动脉中心线，还可以实现很好的冠状动脉三维重建。





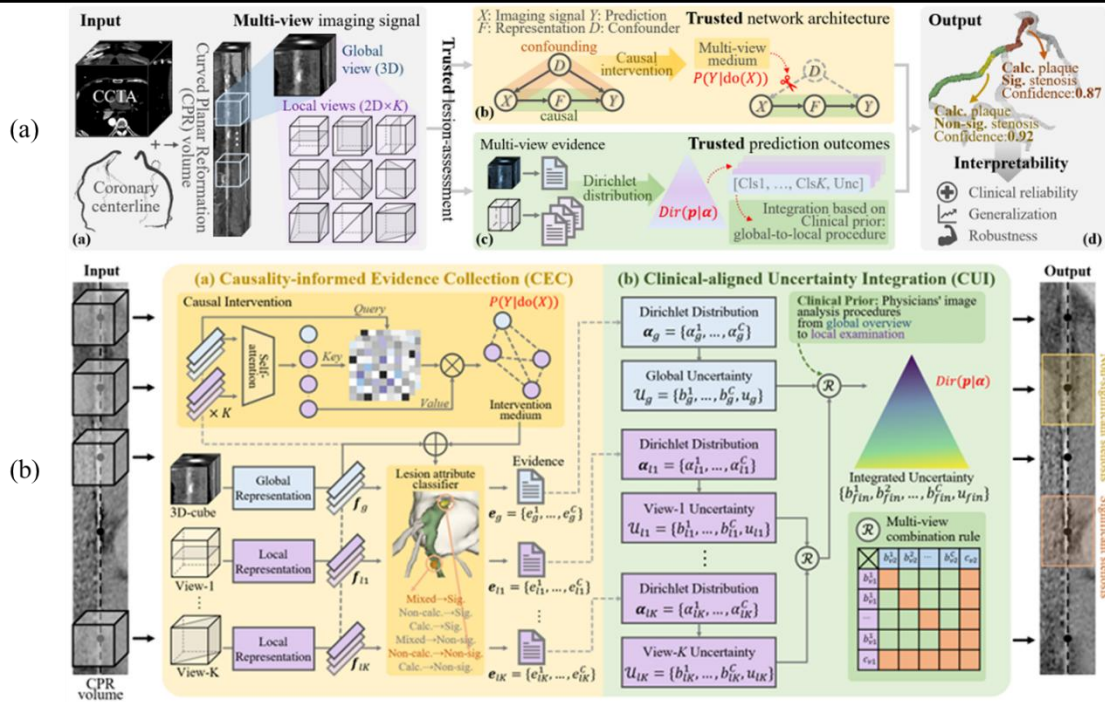
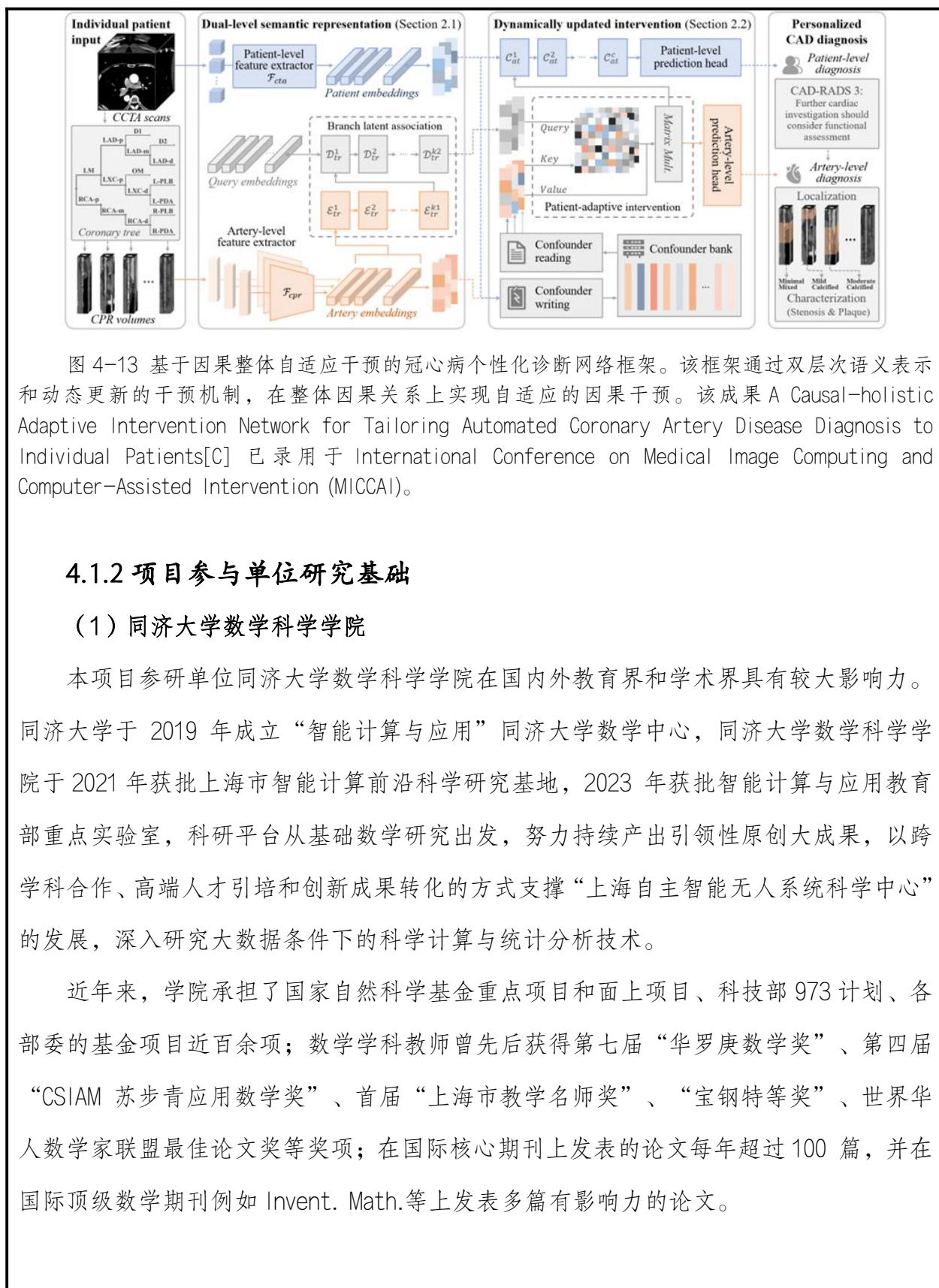


图 4-12 (a) 可信的 CAD 诊断方法设计我们具有可解释性的方法设计：基于网络架构内诊断过程的因果干预以及结合基于临床先验的不确定性预测结果，有效提升了自动化诊断的临床可靠性、泛化能力和鲁棒性。(b) 面向可解释冠心病诊断的可信病灶评估网络框架。CEC 模块依赖于多视角媒介进行因果干预，从而获得可信网络架构下的期望输出 $P(Y|do(X))$ ；CUI 模块通过整合多视角分布，使其与临床先验知识保持一致，以实现可信的预测结果。该成果已发表 A Trusted Lesion-assessment Network for Interpretable Diagnosis of Coronary Artery Disease in Coronary CT Angiography[J]. 2025.]

5、基于因果整体自适应干预的个性化冠心病诊断工作

现有的冠心病自动化诊断技术多停留在血管层面预测，缺乏患者个体的因果建模。因而，研究首次提出一种基于因果整体视角的自适应干预网络 CAIN，用于为每位患者量身定制冠心病诊断方案。如图 F 所示，CAIN 通过构建患者与血管的双重语义表示，搭建个体化的整体因果图，精准捕获患者特异性信息。随后，基于患者具体状况，网络动态更新并区分干预变量，实现个性化的因果干预策略。实验结果表明：该方法在多中心冠状动脉 CTA 数据上的表现优于现有先进方法，具备卓越的个性化诊断能力和临床指导潜力。



(2) 万达信息股份有限公司

以下简称“万达信息”，万达信息是国家级企业技术中心、国家技术创新示范企业，在智慧城市、智慧政务、智慧医卫、健康管理等行业领域，人工智能、区块链、大数据、云计算、物联网等关键技术方向取得了突出的成绩。万达信息凭借行业内深耕多年所积累的丰富经验，形成了突出的行业软件与服务优势，并拥有多项领域内的专业资质，为公司业务的发展提供了技术支撑。是首家整体通过 CMMI5 认证的企业，拥有 ISO9001：2015 质量管理体系认证、ISO20000 IT 服务管理体系认证、ISO27001 信息安全管理体系认证，是国家规划布局内重点软件企业、国家发改委高新技术产业化示范工程企业，2011 年起连续多年被评为中国十大创新软件企业、国家第四批创新型试点企业、中国软件和信息服务十大领军企业、中国软件业务收入前百家企业等。

万达信息拥有 2800 余项自主知识产权的软件产品和技术，主导和参与了 70 余项国家信息技术服务、数字化转型、企业综合能力评估、软件工程、大数据、人工智能、大模型、区块链、云计算、智慧城市、智慧医卫、健康管理等国家、行业、地方及团体标准规范的研制，如《智能体技术要求与评估方法》、《人工智能研发运营一体化 (Model/MLOps) 能力成熟度模型》、《面向行业的大规模预训练模型技术和应用评估方法》、《大规模预训练模型技术和应用评估方法》等。

在医疗健康行业，万达信息在医疗健康人工智能领域深耕细作，万达信息是国家医疗大数据实验室和卫生工程技术中心的承建单位，同时作为“2018 上海市大数据联合实验室-医疗领域”的联合共建单位，聚焦在疾病筛查、智能风控、医药管理、慢病管理、临床医疗、专病库建设、医保报销等方面的前沿人工智能技术成果。将人工智能技术与我国近 6 亿人口的医疗健康业务场景进行深度融合。围绕“连接、融合、智能”助力健康中国的战略思路，基于自然语言处理、图像识别、知识图谱、区块链、物联网等技术，以全民人口健康信息平台为核心，提供分级诊疗（家庭医生签约、转诊、随访等）、传染病全流程管控、慢性病一体化管理、智慧卫监等服务。全面赋能诊前、诊中、诊后全流程，深入探索智能问诊/导诊、疾控态势感知、跨机构数据共享、医疗数据安全、药品

信息溯源等场景应用，在实现智能化同时保证数据公开透明和真实可信。

(3) 空岛信息科技（上海）有限公司

完成三维 VR 引擎开发、三维体数据建模算法等技术方向的研究，同时医学和 VR 结合上独立开发了多个系统平台，其中包括、基于 AHA 的现场急救模拟教学系统、基于超声病理学的 VR/MR 模拟平台、妇产科模拟系统等。实现具有关键技术知识产权的自主化医学模拟产品。打破国外相关 VR 医学模拟软件主导国内市场的局面，构建具有自主知识产权的医学模拟教学平台，提升我国模拟医学的应用基础研发能力及国际竞争力。

1) 基于 VR 的沉浸式仿真血管介入 TAVR 手术模拟系统

基于 VR 虚拟现实技术实现技术还原 TAVR 手术模拟，可让学员进入沉浸式临床手术环境，模拟临床环境下进行医护协作，在系统的引导提示下，完成一整套完整的 TAVR 手术流程。将临床 TAVR 手术的场景、人物、环境、器械进行三维建模。然后根据 TAVR 手术的流程在 3D 人物、器械等模型上，进行动画制作。再进入程序开发，针对移动端，按照 TAVR 手术流程，进行交互操作开发。

2) 基于电磁微定位技术的术中导航系统

采用电磁定位技术，实时追踪介入手术过程中的器械运动轨迹，实现术中导航。利用电磁(EM)定位系统，提供实时无遮挡的微型定位线圈的跟踪定位，这些定位线圈可以嵌入到外科手术工具、探针、穿刺针、导丝和导管中。无论在体内或体外，每一个被识别的定位线圈的位置和方向以五个或六个自由度(5DOF/6DOF)的信息提供。在不可视的情况下提供亚毫米和亚角度的定位精度。

4.2 研究团队：项目负责人、主要研究人员的研究经历与成果，研究团队结构、研究优势。

4.2.1 项目负责人研究经历与成果

牡丹：为上海市高层次人才，上海市第十人民医院任职科室行政主任，医学博士，

博士后，美国华盛顿大学访问学者，博士生导师，教授，近年来以第一作者/通讯作者在 Radiology（专业顶刊，IF 19.70）、Journal of Controlled Release（一区，IF10.8）、J Nanobiotechnology（一区，IF 10.435）、Cardiovascular Diabetology（一区，IF 8.5）、ACS Appl. Mater. Interfaces（二区，IF 10.383）、中华放射医学与防护杂志（中国卓越期刊）等权威期刊发表 SCI 及核心期刊论文近 30 篇，曾前往美国华盛顿大学医学院影像实验室访问学习，主持过国家自然科学基金面上项目、青年科学基金等 14 项国家级、省市级课题，参与 2 项国家重点研发项目，入选江苏省 333 医学重点人才、江苏省优秀青年放射学医师（全省共 2 名）、南京市十三五第二层次医学青年人才，主编及参编著作及教材 9 部，授权国家发明专利 3 项，获得江苏省青年科技奖（全省共 5 名）、江苏省瑞华基金会临床研究创新奖一等奖（全省共 3 名）、江苏省新技术引进二等奖、南京市新技术引进一等奖，SCCT 年度最佳论文奖（全国 5 名）等多个奖项，任英文期刊 Radiology Science, Infectious Disease of Radiology 的编委。

申请人项目组多年来围绕心血管疾病早诊的重大需求，针对冠心病诊疗中的瓶颈问题，以“冠心病的早期诊断、风险预警及其机制探索”为研究主题，基于纳米技术、人工智能算法及再生医学技术，融合高分辨分子影像及功能影像手段，分别在诊断前的早期筛查预警、诊断中的风险评估预测及诊断后的治疗优选评价等方面进行了一系列基础及临床递进式的研究，搭建了全病程诊断平台，为实现冠心病的预防、早期筛查和综合干预提供了新方法（如下图所示）。项目组熟练掌握 AI 及心血管疾病相关研究技术与方法，积累了丰富的技术经验与实验数据。预实验结果也取得了明显进展，为本项目的研究奠定了坚实的工作基础。

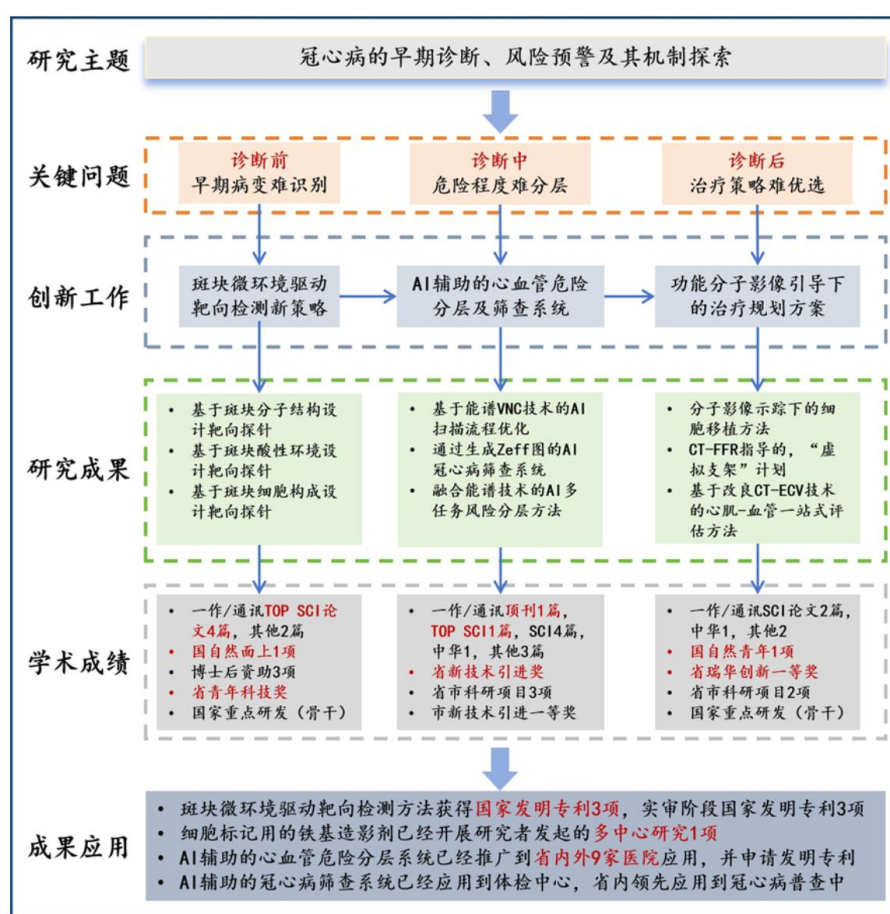


图 4-14 近五年申请人围绕心血管病影像研究工作积累概况

项目负责人牡丹前期发表相关的 SCI 文章、专著、奖励、专利及知识产权登记
发表论文：

1. Mu D, Bai J, Chen W, Yu H, Liang J, Yin K, Li H, Qing Z, He K, Yang HY, Zhang J, Yin Y, McLellan HW, Schoepf UJ, Zhang B. Calcium Scoring at Coronary CT Angiography Using Deep Learning. *Radiology*. 2022 Feb;302(2):309–316. (一作)
2. Chen W, Li R, Yin K, Liang J, Li H, Chen X, Sheng Z, Yu H, Mu D. Clinical feasibility of using effective atomic number maps derived from non-contrast spectral computed tomography to identify non-calcified atherosclerotic plaques: a preliminary study. *Quant Imaging Med Surg* 2022;12(4):2280–2287. (通讯)
3. Yin K, Chen W, Qin G, Liang J, Bao X, Yu H, Li H, Xu J, Chen X, Wang Y, Savage RH,

- Schoepf UJ, **Mu D**, Zhang B. Performance assessment of an artificial intelligence-based coronary artery calcium scoring algorithm in non-gated chest CT scans of different slice thickness. Quant Imaging Med Surg. 2024 Aug 1;14(8):5708–5720. (通讯)
4. Liang J, Zhou K, Chu MP, Wang Y, Yang G, Li H, Chen W, Yin K, Xue Q, Zheng C, Gu R, Li Q, Chen X, Sheng Z, Chu B, **Mu D**, Yu H, Zhang B. Automated detection and classification of coronary atherosclerotic plaques on coronary CT angiography using deep learning algorithm. Quant Imaging Med Surg. 2024 Jun 1;14(6):3837–3850. (通讯)
5. 陈文萍, 尹克杰, 李茗, 康丽娜, 余鸿鸣, 梁静, 吴敏, Dar Kashif, 陈杏彪, 盛志洪, **牡丹**.利用虚拟平扫降低冠状动脉 CT 血管造影辐射剂量的可行性研究. 中华放射医学与防护杂志,2022,42(1):61–66. (通讯)
6. Liang J, Li H, Xie J, Yu H, Chen W, Yin K, Chen X, Sheng Z, Zhang X, **Mu D**. Iodine-based extracellular volume for evaluating myocardial status in patients undergoing percutaneous coronary intervention for acute myocardial infarction by using dual-layer spectral detector computed tomography: a comparison study with magnetic resonance. Quantitative Imaging in Medicine and Surgery. 2022 Sep;12(9):4502–4511. (通讯)
7. Yang P, Zhao R, Deng W, An S, Li Y, Sheng M, Chen X, Qian Y, Yu Y, **Mu D**, Wang Y, Li X. Feasibility and accuracy of coronary artery calcium score on virtual non-contrast images derived from a dual-layer spectral detector CT: A retrospective multicenter study. Front Cardiovasc Med. 2023 Mar 2;10:1114058. (通讯)
8. Wang Y,Zhou Q,Xu J,Yang G,Sun X,Bao X,Kang L,Lv P,Liu R, Xu B, Yang Q, **Mu D**,Zhang B.Combination of oxygen carrying and oxygen generation for targeted therapy of

atherosclerosis. *Journal of Controlled Release*. 2025. (通讯)

9. **Mu D**, Wang W, Li J, Lv P, Liu R, Tan Y, Zhong C, Qi Y, Sun X, Liu Y, Shen S, Li Y, Xu B, Zhang B. Ultrasmall Fe(III)–Tannic Acid Nanoparticles To Prevent Progression of Atherosclerotic Plaques. *ACS Appl Mater Interfaces*. 2021 Jul 28;13(29):33915–33925. (一作)

10. **Mu D**, Li J, Qi Y, Sun X, Liu Y, Shen S, Li Y, Xu B, Zhang B. Hyaluronic acid-coated polymeric micelles with hydrogen peroxide scavenging to encapsulate statins for alleviating atherosclerosis. *J Nanobiotechnology*. 2020 Dec 7;18(1):179. (一作)

11. **Mu D**, Wang X, Wang H, et al. Chemiexcited Photodynamic Therapy Integrated in Polymeric Nanoparticles Capable of MRI Against Atherosclerosis. *Int J Nanomedicine*. 2022;17:2353–2366. (一作)

12. Li Y, Wang Y, Xia Z, Xie Y, Ke D, Song B, **Mu D**, Yu R, Xie J. Noninvasive platelet membrane-coated Fe₃O₄ nanoparticles identify vulnerable atherosclerotic plaques. *Smart Med*. 2024 Jun 4;3(2):e20240006. (通讯)

13. Zhou Q, Wang Y, Si G, Chen X, **Mu D**, Zhang Bing. Application of Nanomaterials in Early Imaging and Advanced Treatment of Atherosclerosis. *Chem. Biomed. Imaging* 2025. (通讯)

14. Wang X, **Mu D**, Liang J, Xin R, Zhang Y, Liu R, Yao M, Zhang B. Emerging nanoprobes for the features visualization of vulnerable atherosclerotic plaques. *Smart Med*. 2024 Dec 3;3(4):e20240033. (共一)

15. Zhao J, Cheng W, Dai Y, Li Y, Feng Y, Tan Y, Xue Q, Bao X, Sun X, Kang L, **Mu D**, Xu B. Excessive accumulation of epicardial adipose tissue promotes microvascular obstruction formation after myocardial ischemia/reperfusion through modulating macrophages polarization. *Cardiovasc Diabetol*. 2024 Jul 5;23(1):236. (通讯)

16. **Mu D**, Li D, Li J, Yu H, Chen W, Liang J, Wang D, Li A, Zhao Q, Zhang B. Long non-coding

RNA HULC protects against via inhibition of PI3K/AKT signaling pathway. IUBMB Life.

2021;73:202–212.1.(一作)

17. Li D, Tang X, Zhu Y, Wei Y, **Mu D**. Pulmonary Artery Size Measurements: A Comparison Study Between Electrocardiogram–Gated and Nonelectrocardiogram–Gated Computed Tomography. J Comput Assist Tomogr. 2021 May–Jun 01;45(3):415–420. (通讯)

课题情况：

1. 国家自然青年科学基金，81601539，干细胞整合报告基因动态影像学精准方法的建立及其在猪心肌梗死干细胞治疗中的应用研究，2017/01–2019/12。
2. 江苏省卫生健康委医学科技面上项目，M2022066，基于光谱 CT 的智能冠状动脉斑块分析深度学习模型的构建，2023/01–2026/12。
3. 第 15 批中国博士后科学基金特别资助项目，2022T150317，基于 ROS 响应的 ¹⁹F MRI 对小鼠活体动脉粥样硬化斑块定量检测的研究，2022/07–2025/07。
4. 南京市医学重点科技发展项目，ZKX23019，基于 Transformer 算法的冠状动脉高危斑块智能识别模型的建立和应用，2023/01–2026/12。
5. 2024 年南京鼓楼医院临床研究专项面上项目，2024-LCYJ-MS-12，深度学习 MR 影像组学模型研究炎性心肌病的早期诊断，2024/07–2027/07。
6. 南京市医学重点科技发展项目，ZKX109018，人工智能辅助的冠状动脉狭窄解读系统在冠心病诊断中的应用研究，2020/01–2022/12。

获奖情况：

1. 江苏省新技术引进二等奖，2024，排名第一
2. 江苏省青年科技奖，2023，排名第一，全省共 5 名
3. 江苏省医师协会优秀青年放射学医师奖，2022，排名第一，全省共 2 名
4. 江苏省瑞华基金会临床研究创新奖一等奖，2023，排名第二
5. 南京市新技术引进一等奖，2022，排名第一

6. 《SCCT 年度最佳论文奖》，2022，排名第一

7. 《领跑者 5000 中国精品科技期刊顶尖学术论文奖》，2023，排名第一（通讯）

8. 南京市第十二届自然科学优秀学术论文三等奖，2018，排名第一

专利情况：

1. 牡丹，王玉洁，张冰，康丽娜，徐标，田传帅，周倩茹.一种用于抗动脉粥样硬化的谷胱甘肽响应的铁基纳米酶及其制备方法和应用，ZL 202410671488.4，国家发明专利，中国

2. 牡丹，张冰.一种靶向 CD44 的金属有机络合物及其制备方法，ZL 202011073342.8，国家发明专利，中国

3. 牡丹，张冰，徐标，谢峻.一种 MRI 和化学激发光动力治疗动脉粥样硬化的纳米颗粒，ZL 202111163702.8，国家发明专利，中国

4.2.2 项目主要参与人研究经历与成果

骆功宁（高级参与人）：上海市第十人民医院兼职PI，哈尔滨工业大学人工智能学院博士生导师、启航学者，现任哈工大智慧医疗研究团队负责人、感知计算研究中心主任，是黑龙江省专业技术领军人才梯队第一后备带头人。入选哈尔滨工业大学青年拔尖人才支持计划，担任黑龙江省“春雁”团队负责人，曾任阿卜杜拉国王科技大学特聘科学家。骆功宁教授在计算心脏学领域具有14年研究积累，研究方向聚焦心室多节段运动建模、心肺耦合机制分析、多模态影像智能诊疗建模等。以第一或通讯作者身份在Nature Communications、Medical Image Analysis、IEEE Transactions on Medical Imaging等国际顶级期刊和会议上发表论文30余篇，总被引超过1600次。曾主持国家自然科学基金面上项目、青年科学基金项目、中国博士后科学基金特别资助、黑龙江省博士后专项、“春雁计划”等10余项，涵盖心血管系统建模、双心室运动分析与全心脏分割系统研发等方向，研究成果已部分实现临床落地转化，具备扎实的技术基础与良好的项目执行能力。

殷俊峰：同济大学数学科学学院教授，博士生导师，一直从事数值代数和科学计算方面的应用基础性研究工作。目前从事计算流体力学、计算金融、人工智能和图像处理等学科交叉领域的探索性研究。在求解线性方程组和最小二乘问题的预处理 Krylov 子空间迭代方法、随机迭代算法及其收敛理论方面取得了一系列创新性研究成果。在计算数学权威学术刊物《SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications》等发表高质量论文 60 余篇，相关成果被引用 600 余次。主持并完成国家自然科学基金面上项目 3 项和青年基金 1 项，曾获得上海市浦江人才资助和中国数学会计算数学分会应用数值代数奖及青年创新奖提名，担任《计算数学》《数值计算与计算机应用》等杂志的编委。

陈诚：教授级高级工程师，博士，无党派人士。现任万达信息股份有限公司副总裁，是享受国务院特殊津贴专家，上海市领军人才，担任国家科技专家库专家、中国人工智能产业发展联盟工作组副组长、上海市浦江人才评审专家、上海高评委专家、上海知联会会员、上海物联网行业协会副会长等职务。参与的“医联工程-区域医疗信息共享及协同服务系统研发与规模应用”项目于 2013 年获国家科技进步二等奖（第六完成人），此外还获得上海市青年五四奖章、2012 年上海市 IT 十大新锐、2011 年上海市科技进步一等奖等多项荣誉。主持了包括国家核高基、863、发改委、工信部等国家和省部级科研项目 10 余项，项目成果覆盖智慧医疗健康领域和智慧城市多个行业，成功应用于上海医联工程、上海一网通办、市民云等关乎民生的重大工程。

闵世豪：北京大学生物医学工程博士，上海交通大学软件工程硕士。医学虚拟现实和计算机图形学研究方向行业从业十年从事 VR/AR/AI 行业领域十年以上经验。曾经从业于水晶石数字科技上海有限公司医疗项目总监。世界 500 强企业法国达索集团高级产品经理。上海嘉会国际医院 移动端高级产品经理/NEJM 医学前沿 高级产品经理。于 2016 年创办 空岛信息科技(上海)有限公司 任职 CEO，专注于专科医学教学领域和虚拟现实技

术开发，与全国三十余家三甲医院展开合作。同时合作世界 500 强医疗企业美敦力、西门子、波士顿科学、雅培、GE、强生。团队专注于医学专科临床模拟领域、数字孪生人体力学电学模拟和术前规划导航，如心血管、神经外科、超声科、泌尿科和手术机器人等。2019-2020 年度联合撰写 工信部和卫计委《虚拟现实医疗应用白皮书》联合撰稿人。作为外聘教师任教于上海健康医学院、上海交通大学医学院、南通大学医学院、香港恒生大学，教授课程为智慧医学和元宇宙医疗。

4.2.3 研究团队结构

本项目负责人及研究人员均在医学虚拟现实和计算机图形学研究方向行业 5-8 年从业经验。团队专注于医学专科临床模拟领域、数字孪生人体力学电学模拟和术前规划导航，如心血管、神经外科、超声科、泌尿科和手术机器人等。已发表的近百篇论文、拥有 10 项专利、50 余个软著等成果。

我们的团队由一支经验丰富、高度跨学科的专业人士组成，核心成员在医疗健康、软件工程、人工智能、临床医学、数据科学和法规事务领域的深厚积累。我们拟构建一支深度融合医疗专业性与前沿技术的精英团队，确保产品开发始终以临床需求和合规性为核心。

软件工程与产品开发成员：软件架构师、全栈开发工程师、前端/后端工程师、测试工程师、产品经理、UI/UX 设计师。职责：系统架构设计、核心平台与模块开发、API 集成、用户界面(UI)/用户体验(UX)设计、敏捷项目管理、质量保证与测试、产品迭代优化。

人工智能与数据科学成员：机器工程师、数据专家、算法研究员等职责：医疗数据分析与挖掘、算法研究与开发（如医学影像分析、自然语言处理预测模型）、模型训练、验证与部署、数据治理。

4.2.4 研究优势

本项目联合了医疗机构（上海市第十人民医院）、高校（同济大学数学科学学院）、

医疗信息化企业（万达信息）、AR 技术企业（空岛信息科技），形成了一个覆盖“临床需求-算法研发-工程落地-产业化”全链条的跨学科、跨领域研究团队。各单位的优势互补性极强，能够高效推动项目从理论到应用的转化。以下是详细分析：

（1）上海市第十人民医院：临床需求与数据支撑

临床问题是项目的出发点，十院的参与直接保证研发方向贴近实际需求，避免“技术悬浮”。上海十院心内科是上海市重点学科，年 PCI 手术量超 5000 例，居上海前列。心内科可提供真实的临床场景需求（如术中导航精度、多模态影像融合的痛点）。提供多模态医疗数据资源：包括冠脉造影（DSA）、血管内超声（IVUS）、光学相干断层扫描（OCT）等影像数据，以及患者生理参数（ECG、血压等），为算法训练和验证提供基础。提供临床试验与伦理支持：可快速开展 AR 手术辅助系统的临床试点，确保技术符合医疗规范。放射科拥有结构化心血管病临床队列数据库，涵盖影像、生理信号、电子病历等多维度数据，支持多模态融合研究。

（2）同济大学数学科学学院：算法与理论创新

数学学院为项目提供底层算法突破的能力，这是医疗 AI 从“可用”到“精准可靠”的关键。数科院具有多模态数据融合的数学建模能力：在张量分解、流形学习、拓扑数据分析（TDA）等领域有深厚积累，可解决异构医学数据（影像+信号）的融合难题。实现 AR 算法优化：如基于 SLAM 技术的术中实时渲染、几何形变校正等，提升导航精度。此外，通过图神经网络、概率模型等可解释 AI 技术增强医生对 AI 决策的信任。

（3）万达信息：医疗信息化与工程化落地

解决医疗 AI “最后一公里”问题，避免技术因无法嵌入现有系统而被弃用。万达信息具有医疗系统集成经验，熟悉医院信息系统（HIS、PACS）接口，可确保智能辅助平台与现有医疗流程无缝对接。可帮助实施数据治理与隐私保护，使项目所涉及的数据符合国家医疗数据安全标准（如等保 2.0），解决数据脱敏、存储和共享的合规性问题。此外，

作为国内领先的智慧医疗企业，可推动成果在更多医院推广。

（4）空岛信息科技（上海）：AR 技术与硬件适配

AR 技术的落地需要工程细节打磨（如灭菌处理、设备轻量化），空岛信息可提供专业支持。空岛信息具有丰富的 AR 医疗场景经验，在手术导航、医学可视化方面有技术积累（如 Hololens/Magic Leap 的医疗适配）。可优化 AR 头显在手术室环境下的稳定性（如抗干扰、高帧率渲染）。可根据术者需求调整 AR 设备的人机交互设计（如手势控制、语音指令）。

综上所述，团队协同优势总结如下：

维度	上海十院	同济数学	万达信息	空岛信息
临床需求	提供真实场景	理论验证	需求标准化	交互设计反馈
数据来源	多模态医疗数据	数据建模	数据治理	AR 数据可视化
技术贡献	医学知识	核心算法	系统集成	AR 硬件与渲染
落地路径	临床试验	论文/专利	产品化	设备量产

4.3 科研条件：项目承担单位与参与单位的优势科研条件，包括单位拥有的重点实验室、重点学科基地、临床重点专科等情况。

4.3.1 项目承担单位的优势科研条件

项目承担单位**上海市第十人民医院**拥有国家临床重点专科、教育部重点实验室、工信部产业技术基础公共服务平台、“一带一路”国际联合实验室等国家级研究平台，拥有上海市工程中心、上海市技术创新中心、上海市技术服务中心、上海市医学研究中心、上海市重中之重 B 类研究中心等市级平台 15 个。拥有国家“杰青”3 名，国家“优青”

7 名，国家级主委 2 人，科技部首席科学家、国家百千万人才、长江学者共 5 名，上海市领军人才、上海市医务工匠等各级各类人才 240 余名。上海市第十人民医院拥有占地 20 亩、建筑面积达 2.7 万平方米的科创园区，进驻包括肿瘤纳米医学研究团队、肿瘤微环境团队、心脏研究团队、感染与免疫研究团队等 10 个科研团队。



图 4-15 上海市第十人民医院重点国家级及上海科研平台概览

目前放射科拥有 MR 6 台，CT 9 台，DSA 1 台，X 线 8 台等高端设备系统及人工智能平台。新技术种类繁多，诊断实力雄厚，提供全天 24 小时，全年无休的影像服务。另外，放射科在科创园拥有 300 平米的实验室，设立人工智能平台及分子影像实验室，有专职研究员 7 名，博士硕士研究生 5 人。



图 4-16 上海市第十人民医院放射科高端设备与人工智能平台建设概览

近年来，放射科共发表 SCI 论文 100 余篇，中文论文 60 篇；获得国家自然科学基金国际合作/面上/青年项目 6 项，上海市科委等各级别课题 20 余项，授权各种专利 6 项，连续 10 余年承办国家继续教育项目《影像学新技术在代谢性疾病中的应用及其新进展》，培训学员达 1000 余人。

心内科是上海市重点学科，配备杂交手术室、DSA 导管室、心脏监护中心（CCU）、无创心功能检测设备。年 PCI 手术量超 5000 例，居上海前列，并可开展精准介入技术，包括 IVUS（血管内超声）、OCT（光学相干断层扫描）、FFR（血流储备分数）指导的优化 PCI，为本项目的开展提供重要的临床数据资源。

4.3.2 项目参与单位的优势科研条件

（1）同济大学数学科学学院

本项目参研单位**同济大学数学科学学院**的计算数学方向有一支专业基础扎实、学科结构合理、科研水平优秀的科研和教学团队，现有教师十余人，都具有博士学位，其中正教授 8 人，国家杰出青年基金获得者 1 人，其它国家高层次人才 4 人。主要从事有限元方法、多尺度问题、数值代数、金融数学和计算流体等方向的研究，在多重网格和区域分解法、多尺度分析与模拟、金融数学建模等方面取得了一系列重要研究成果，多篇论文发表在国际著名数学期刊上，目前正在承担多项国家自然科学基金。

近年来，学院承担了国家自然科学基金重点项目和面上项目、科技部 973 计划、各部委的基金项目近百余项；数学学科教师曾先后获得第七届“华罗庚数学奖”、第四届“CSIAM 苏步青应用数学奖”、首届“上海市教学名师奖”、“宝钢特等奖”、世界华人数学家联盟最佳论文奖等奖项；在国际核心期刊上发表的论文每年超过 100 篇，并在国际顶级数学期刊例如 Invent. Math.等上发表多篇有影响力的论文。

（2）万达信息股份有限公司

万达信息主持和参与了 3 项国家工信部核高基科技重大专项计划，10 余项国家重点研发计划，包括智慧城市、慢病防控、精准医学、主动健康、云计算和大数据等重点专项，2 项 863 计划生物学大数据项目，以及几十项省部级数字化转型、高质量发展、医疗大数据、医疗人工智能等重点项目的研发及推广。通过科研项目的实施，公司系列

产品和服务在功能、性能、兼容性和操作效率等方面得到了全方位提升，数据处理能力、数据建模能力、服务智能化水平、业务智能化效率等技术指标不断优化。将云计算、大数据、人工智能、区块链等新兴共性技术与智慧城市各行业深度融合与赋能，始终坚持方案设计和产品研发创新，研发的产品向国家和地方应用推广成为行业典型成果，累计已获得十多项国家及省部级科技奖励和百余项行业类成果荣誉，多次入选年度软件和信息技术服务竞争力百强企业、上海硬核科技企业 TOP100、“长三角地区安防百强企业”、“2023 长三角百家品牌软件企业”、上海软件和信息技术服务业百强企业等。

行业及技术荣誉方面，公司累计获得 300 余项行业类成果荣誉。先后获得 2 项国家科技进步二等奖、1 项教育部科技进步一等奖、7 项上海市科技进步一等奖等 20 余项国家及省部级科技进步奖成果荣誉。此外，万达信息在多个世界级的算法大赛中屡获殊荣，包括“2024 年世界人工智能大会算法大赛-BPAA 全球应用算法实践典范商业赛道冠军”、“2023 年世界人工智能大会算法大赛-BPAA 全球应用算法实践典范医疗赛道亚军”、2023 年“兴智杯”全国人工智能创新应用大赛可持续发展赛道冠军、“2021 年世界人工智能大会算法大赛-BPAA 全球应用算法实践典范金融赛道金奖”、“2020 年 CCF 大数据与人工智能隐私识别赛道冠军”“2019 年世界人工智能创新应用大赛医疗赛道冠军”等。

（3）空岛信息科技（上海）有限公司

空岛信息与国内顶尖的数十家三甲医院建立了长期战略合作关系，拥有优先、合规访问海量、高质量、多模态脱敏临床数据（如电子病历、医学影像、基因组数据、随访数据）的渠道，为算法训练和验证提供坚实基础。合作临床专家深度参与研究方案设计、数据标注（金标准）、算法验证和临床试验，确保研究方向的临床价值和方法学的严谨性。

持续投入基础研究与前沿技术探索（如：多模态融合、人工智能在医疗的应用、生成式 AI 辅助临床），保持技术领先性。持续投入基础研究与前沿技术探索，保持技术领

先性独特的团队构成（医、工、法、数）天然促进了以解决实际临床问题为导向的创新，避免了技术与需求的脱节。

4.4 项目支持保障：项目研究团队所在单位在人、财、物等方面对项目的支持。

4.4.1 上海市第十人民医院

上海市第十人民医院对本项目的支持，将在人、财、物等多个维度全面展开，具体可能包括以下方面：

（1）人力资源支持

协调跨学科团队组建，包括心血管内科、影像科、计算机科学（AI/AR 技术）、生物医学工程等领域的专家组成联合团队，提供临床数据解读、算法验证和手术场景适配支持。配备专职科研人员或博士后参与项目研发，确保项目进度；临床医生深度介入，提供手术流程优化建议。积极协助与同济大学、万达信息及的空岛信息科技有限公司的技术合作，推动多模态数据融合与 AR 技术落地。

（2）资金与资源配置

通过医院科研基金及上海市卫健委专项配套资金，覆盖设备采购、算法开发及临床试验费用。开放医院现有资源，如：影像设备：冠脉造影机（DSA）、CT/MRI 等用于多模态数据采集；提供本地高性能服务器或医院数据中心，支持深度学习模型训练；对部分手术室进行改造，以试点 AR 手术导航系统的硬件部署（如头显设备、术中实时渲染系统）。

（3）数据与技术支持

提供脱敏的冠心病患者影像学数据（如 OCT、IVUS、CTA）、手术视频及病理报告，用于算法训练与验证，确保数据合规性（通过伦理审查）。

4.4.2 同济大学数学科学学院

同济大学数学科学学院作为基础学科强院，在数学建模、算法开发、数据科学等领域具有显著优势，其对项目的支持将聚焦于核心技术攻关和跨学科协同创新，具体支持

方向如下：

(1) 算法研发团队

组建由计算数学、统计学、机器学习方向的教授、博士后、研究生组成的专项团队，负责多模态数据融合建模、增强现实（AR）算法优化、可解释性 AI 等核心工作，并提供强有力的数学理论支撑。

(2) 资金与设备支持

除了本项目申请的专项基金外，通过学院科研专项基金为项目提供充足的算法研发资金；开放学院高性能计算集群（如 GPU 服务器），支持大规模医学数据训练与仿真模拟。共享同济大学超算中心资源（如“同济曙光”集群），加速复杂模型运算。

(3) 数据与技术支持

提供开源算法库（如 Python/PyTorch 定制工具包），简化临床数据的特征提取与融合流程。针对手术实时性需求，设计低延迟的分布式计算框架。开发轻量化模型；与上海市第十人民医院合作，参与医学数据标注标准制定，确保数学建模与临床需求对齐。

4.4.3 万达信息股份有限公司

确保项目顺利开展并达到预期目标，项目团队将提供全面而系统的配套保障，包括但不限于业务保障、团队保障、经费保障、基础设施保障等等，具体如下：

(1) 跨学科团队保障

本项目团队由医学专家、医疗 AI 工程师、系统研发技术人员等共同组成跨学科团队，共同参与项目的设计、开发和验证过程。医学专家凭借深厚的医学知识和临床经验，确保项目紧密贴合实际医疗需求；医疗 AI 工程师则负责将这些需求转化为 AI 技术解决方案，通过创新的设计和严谨的工程实践推动项目前进；系统研发技术人员不仅承担着日常技术支持的任务，更是在开发过程中提供关键的实现手段，保障系统的稳定性和高效性。此外，还拥有法律和伦理顾问的支持，以确保项目符合所有适用的法律法规和伦理标准。

(2) 充足的经费保障

本项目除了申请的专项资金外，项目团队还配备了相应的建设资金，用于保障项目实施过程中所需的各类软硬件资源的采购、租赁以及人力资源支持，全力推动研究任务的顺利开展。

(3) 基础设施保障

项目将依托合作单位已有的云计算平台与数据中心，搭建高性能的数据处理与模型训练环境，配备 GPU 集群、服务器等硬件资源，支撑多模态数据融合分析与智能算法运算。此外，项目将整合积累的中医诊疗数据、体检数据和电子健康档案，建立结构化、高质量的数据库，并提供专用科研实验室和办公场地，保障项目团队高效开展研发工作。

4.4.4 空岛信息科技（上海）有限公司

单位已将本项目列为重点研发项目，组织一支经验丰富、高度跨学科的专业人士，并且提供充足的科研时间保障，明确在项目周期内减免其常规工作量，确保全身心投入项目研发。单位制定了专门的跨部门协作机制，确保来自临床医学、研发部门、工程部门等不同部门的成员能高效协同工作，其参与本项目的工作绩效将纳入年度考核。进行人才引进与团队建设，承诺为本项目开放人才引进绿色通道，支持团队根据研发需要招聘 1 名具有医学 AI 背景的博士，并提供相应的薪酬待遇和科研启动经费。整合了顶尖的临床专家、AI 科学家和法规顾问资源，成立项目专家顾问组，定期为项目提供战略指导和关键技术咨询。

五、项目组织管理

项目的组织管理和利益分享机制（包括组织方式、产学研结合、财政资金和自筹经费使用机制，知识产权分享机制等）及科研过程质量控制机制。

5.1 组织方式

本项目由上海市第十人民医院牵头，同济大学、万达信息股份有限公司、空岛信息科技（上海）有限公司参与完成项目任务的建设实施。本项目将严格按照项目建设内容开展研发实施工作，建立科学、合理的组织管理体系，加强规范化、科学化管理，各单位在项目建设过程中各行其责，保证项目的顺利完成。项目确立了项目组织实施小组和项目专家组的双轨制的组织模式，并成立由中国科学院院士顾宁教授及美国国家人工智能院院士高欣教授等组成的学术顾问团队。项目组织实施小组主要负责项目总体的运行及分阶段汇报；项目专家组负责本课题的“顶层设计”和重大问题做出决策；学术顾问团队负责实施过程中的技术咨询指导及质控，共同致力于工作。

5.2 产学研结合机制

双方构建技术转化生态链。上海市第十人民医院提供基层应用场景，同济大学、万达信息股份有限公司、空岛信息科技（上海）有限公司负责核心技术攻关与设备开发，实现新技术的快速迭代与实用性测试。

5.3 财政资金与自筹经费管理

项目组将安排一名研究骨干和一名财务助理，共同组成项目财务管理小组。该小组将依据上海市卫健委及各相关单位的科研专项经费管理规定和实施细则，负责编制详细的项目经费预算，审核并管理相关的财务合同，确保项目资金严格按照规定使用，做到专款专用。财务管理小组将按季度向项目管理小组汇报经费使用情况及存在的问题，保障项目的顺利推进，并积极配合市卫健委等相关部门开展的各项监督检查工作。

5.4 知识产权分享机制

项目承担单位与项目参与单位之间签署合作实施协议，明确各方的知识产权、成果管理及合作权益分配。明确各自贡献所产生的知识产权归属，独立完成的技术成果归该方所有，合作产生的成果则根据协议约定比例共享。各知识产权持有方可以向其他合作方授予一定期限内的非独占或独占使用权，并就许可费用、使用范围等内容达成一致意见。当项目成果产生经济效益时，依据前期协议中确定的利益分配原则进行收益分成，可能涉及销售收入提成、专利许可费分配等多种形式。此外，各方应共同承担起保护知识产权的责任，防止侵权行为发生，并积极寻求进一步开发和完善已有技术的机会，以提升整体竞争力。

六、项目参加人员

填表说明：1.固定研究人员需填写此表。 2.职称分类：A.正高级 B.副高级 C.中级 D.初级 E.其他； 3.是否有工资性收入：Y.是 N.否 4.人员分类代码：A.项目负责人 B.项目（课题）骨干 C.其他研究人员						
姓名	身份证号码	工作单位	技术职称	投入的全时工作时间（人月）	是否有工资性收入	人员分类
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
牡丹	152323198101180023	上海市第十人民医院	A	18	Y	A
骆功宁	370684198907224011	上海市第十人民医院	A	18	Y	B
彭文辉	360111197811042131	上海市第十人民医院	A	18	Y	B
殷俊峰	320623197901020775	同济大学	A	18	Y	B
陈诚	340104197801262053	万达信息股份有限公司	A	12	Y	B
闵世豪	310109198603052531	空岛信息科技（上海）有限公司	E	12	Y	B
马兴华	23010419981001141X	上海市第十人民医院	E	30	Y	B
邹铭烨	370902199911102419	上海市第十人民医院	E	30	Y	B
万丽娣	320681199301152021	上海市第十人民医院	C	30	Y	B
王舒超	320525199201212529	上海市第十人民医院	C	30	Y	B
姚建华	320681198011205610	上海市第十人民医院	A	18	Y	B
郑宁	35032219900216155X	同济大学	B	18	Y	B
张彬	310115198107112213	万达信息股份有限公司	B	12	Y	B
胡晓峰	310109197305	上海市第十人民医院	C	12	Y	C

	274414					
陈纯	31011219910524391X	万达信息股份有限公司	B	12	Y	C
杨丹	210782198909130447	万达信息股份有限公司	B	12	Y	C
张喆	13040319900815062X	万达信息股份有限公司	C	12	Y	C
杜菡	320103198805270020	万达信息股份有限公司	C	16	Y	C
孔子祥	321281199210245838	万达信息股份有限公司	E	12	Y	C
张健	321281199303235591	万达信息股份有限公司	E	12	Y	C
柴达宁	371487798112194249	空岛信息科技（上海）有限公司	E	12	Y	C
曾伟	320211197802050031	空岛信息科技（上海）有限公司	E	12	Y	C
固定研究人员合计				22	/	/
流动人员或临时聘用人员合计				0	/	/
总计				22	/	/

七、项目预算

单位：万元

账户名	上海市第十人民医院				
开户银行	建行虹口支行				
银行账号	31001507000050015304				
预算支出科目	市财政资助 经费	企业配套经 费	单位配套 经费	其他	合计
总 计	200	200	0	0	400
(一) 直接费用	190	200	0	0	390
1.设备费	30	13	0	0	43
(1) 设备购置费	30	13	0	0	43
(2) 试制改造费	0	0	0	0	0
(3) 租赁使用费	0	0	0	0	0
2.材料费	10	6	0	0	16
3.测试化验加工费	70	16	0	0	86
4.燃料动力费	0	0	0	0	0
5.出版/文献/信息传播/ 知识产权事务费	10	68	0	0	78
6.数据采集费	18	64	0	0	82
7.差旅/会议/国际合作 与交流费	11	9	0	0	20
8.劳务费	41	0	0	0	41
9.专家咨询费	0	4	0	0	4
10.临床研究受试者费用	0	0	0	0	0
11.其他费用	0	20	0	0	20
(二) 间接费用	10	0	0	0	10

预算说明：对各支出项目主要用途、与项目的相关性及测算方法、测算依据进行详细分析说明。

（一）直接费用（总金额 390 万元：市财政资助 190 万元，企业配套 200 万元）

1. 设备费（43 万元）

拟支出设备购置费 43 万元，市财政资助支出 30 万，用于购买心血管介入智能模拟器；企业配套支出 13 万元，用于购买 AI 计算与影像处理工作站、AR 开发与演示套件、嵌入式边缘计算开发平台、高性能 NAS 网络存储系统及其他外设构成的设备群。

心血管介入智能模拟器是项目操作执行端与物理验证平台，负责手术手感模拟、力反馈传递及 X 光成像仿真，其实现个性化高保真运行，需依赖项目预算购置的设备群，设备群为模拟器注入创新内核，模拟器验证设备群成果临床适用性，二者形成“数据研发-执行验证”闭环，共同支撑项目全流程。

1) 心血管介入智能模拟器（30 万）

模拟心血管介入手术的全过程，为项目提供高度仿真的实验环境。本项目旨在开展冠心病介入手术相关的研究，心血管介入智能模拟器能够模拟真实的手术场景和患者病情，使研究人员可以在虚拟环境中进行各种实验和研究，验证新的手术方法、技术或器械的可行性和有效性，为项目的临床研究提供有力支撑。此外，对于参与项目的医生、技术人员等，通过在模拟器上进行操作训练，可以提高他们的手术技能和应对不同病情的能力，确保在实际临床应用中能够更好地实施项目成果，提高项目的实施质量。借助模拟器的教学和辅助功能，更便捷的向其他相关人员展示项目成果，促进项目成果的推广和转化。

根据报价，单价 30 万元，拟购买 1 台。

2) 三维重建和软硬件联调（13 万元）

主要用于三维重建和软硬件联调所需的硬件配置，包括 GPU 工作站、存储服务器以及 NDI 定位采集模块等。GPU 工作站与存储服务器为三维建模、血管物理模拟和病例数据管理提供算力与存储支持；NDI 定位设备用于实现空间定位和软硬件数据融合。通过设备的合理配置，保障项目的三维重建开发和定位精度。

设备购置费的测算依据为市场询价：

设备名称	推荐型号/配置	预估单价	数量	总价	技术解释与用途

AI 计算与影像处理工作站	CPU: Intel i7-13700K (16 核 24 线程, 最高睿频 5.4GHz) GPU: NVIDIA RTX 4080 16G (9728 个 CUDA 核心, 支持 FP32 运算) 内存: 64GB DDR5 4800MHz (双通道) 存储: 1TB Samsung 980 Pro NVMe PCIe 4.0 SSD (读速 7000MB/s) + 4TB Seagate IronWolf 7200RPM HDD	40,000	1	40,000	用于三维重建、血管物理模拟计算, 工作站需要全时段运行
存储服务器	存储容量 100TB, 支持 RAID5/6, 万兆网络接口	20,000	1	20,000	用于病例库、大量的原始医学影像数据和处理后的三维模型的存储与管理。
红外光学追踪器	精度 $\leq 0.25\text{mm}$, 帧频 $\geq 20\text{Hz}$, 平均延时 $< 16\text{ms}$	70,000	1	70,000	用于采集三维空间定位数据

设备购置费的测算依据为设备供应商提供的报价单进行计算, 报价详情见附件《心血管介入智能模拟器报价单》。

2. 材料费 (16 万元)

拟支出材料费 16 万元, 其中市财政资助支出 10 万元, 企业自筹支出 6 万元。主要用于项目研究过程中不可或缺的消耗性材料购置及实验支撑, 包括:

- 1) 医学影像耗材: 包括冠脉 CTA/MRI/超声/PET 等多模态影像实验所需对比剂、一次性导管耗材、3D 打印模型材料等 (约 5 万元)。
- 2) 计算与存储耗材: 包括深度学习服务器运行所需的存储介质 (SSD 硬盘、磁盘阵列)、高速数据接口线材等 (约 3 万元)。
- 3) 实验室与数据管理耗材: 如数据标注打印、文献记录、U 盘/移动硬盘等信息管理材料 (约

2 万元)。

4) 三维打印 (约 1.5 万元)：用于打印高精度心血管及心脏模型进行测试验证，打印需要消耗 PLA/ABS 树脂、硅胶等耗材。5000 元/组 × 3 组=1.5 万元。

5) 传感器及光学定位设备接口线缆 (约 1.5 万元)：用于传感器对接、定位设备与工作站之间的数据传输和接口调试，需要包括连接线缆、光学定位设备连接所需的透镜反光球等，确保定位信息与三维重建软件的同步。光纤接口及高速数据线缆 200 元/米 × 10 米 + 反光球标记套装 6500 元/套 × 2 套=1.5 万元

6) 电子元器件 (约 3 万元)：用于在实验过程中调试硬件所需的线路板电机、线缆、电缸等电子元器件以及需要安装、调试所用的定制小型支架与固定件。定制支架及夹具 3500 元 × 2 套 + 线路板电机模块 450 元 × 10 套 + 线缆套组 2500 元/套 × 2 套 + 电缸 5000 元/台 × 3 台=3 万元。

测算依据：参考近三年同类科研项目实际采购消耗量及供应商报价，并结合本项目三年周期所需实验次数和数据规模，综合测算。

3. 测试化验加工费 (86 万元)

拟支出测试化验加工费 86 万元，市财政资助支出 70 万元，企业自筹资金支出 16 万元。

市财政资助支出 70 万用于对本课题的研究成果的数据集加工及清洗、第三方测试核心功能、性能测试以及安全测试，以验证课题所研制的内容符合课题各项指标要求；企业配套的 16 万元用于用于委托外部公司完成关键算法模型专项测试、医疗影像进阶优化服务和定制化高精度 3D 模型打印服务。

1) 第三方测试费 (14.5 万元)

1、市财政资助支出 7.5 万元，用于：功能测试覆盖所有核心功能，以确保所有预定功能按照设计要求正常运行；安全测试，包括但不限于漏洞扫描、渗透测试等，以识别并修复潜在的安全风险；性能测试验证多模态影像配准速度、术中导航延迟等关键指标。

支出标准参照上海市软件测评中心收费标准、标准化测试行业收费统计数据：

内容	单价 (万元)	次数	总费用 (万元)
功能测试	2.5	1	2.5

性能测试	2.5	1	2.5
安全测试	2.5	1	2.5
合计			7.5

2、企业自筹支出 7 万元，用于关键算法模型专项测试，基于 1500 例独立临床数据（含 500 例 IVUS/OCT 金标准数据），对 5 个关键算法模型开展全维度测试。

2）化验加工费（66.5 万元）

1、市财政资助支出 62.5 万元，用于化验加工部分主要包含数据集的加工及清洗，预计共涵盖 2500 份冠心病相关的 CT、MRI、超声及 PET 数据。所有数据将统一进行清洗处理，包括影像格式转换、跨模态配准预处理、异常样本剔除及隐私脱敏，以确保数据的一致性和合规性。在此基础上，不同研究任务对同一批数据提出差异化标注需求：(A)多模态配准与融合任务侧重 CT、MRI、PET 的关键解剖结构与时序对齐点标注；(B)智能诊断与量化分析任务侧重 CTA、CT、MRI 的冠脉狭窄、心肌损伤/纤维化及功能学参数标注；(C)三维数字心脏与术中导航任务则侧重 CTA 与超声的心腔结构、瓣膜及流出道标注。

支出标准参照数据标注及清洗行业收费统计数据：

内容	数据类型	单价（元）	数量(份)	总费用（万元）
A	CTA/MRI/PET	60	2500	15
B	CTA/MRI	50	2500	12.5
C	CTA/超声	50	2500	12.5
数据清洗		30	7500	22.5
合计				62.5

3、企业配套经费支出 4 万元，用于医疗影像进阶优化服务，包含：跨模态时序对齐，按心电图周期同步 CT/MRI/PET 帧；PET 代谢信号增强，提升缺血区域对比度 20%；标注质量质控，审核 2300 例影像标注结果，修正误差标注 150 例）

3）加工服务费（企业自筹支出 5 万元）

加工服务费依据市场询价计算：

类别	单价（元）	数量(份)	总费用（万元）
心脏模型	6000	3	1.8
血管模型	6000	3	1.8
定制硬质外壳	3000	3	0.9
定制底座	1000	5	0.5

4. 出版/文献/信息传播/知识产权事务费（78 万元）

拟支出出版/文献/信息传播/知识产权事务费 78 万元，其中由**市财政资助支出 10 万元，企业配套支出 68 万元。**

主要用于国内/国际查新、必需的打印装订及课题研究过程中必要书籍、文献资料的购买、宣传推广手册打印、成品软件购买以及知识产权申请费。

本次知识产权费的测算依据国家知识产权局关于软件著作权和国家发明专利申请的相关规定和收费标准，结合本项目的实际需求，对各项费用进行详细核算，

- 1) 预计发表收取版面费的 SCI 期刊论文 5 篇，论文版面费（国外）约 1 万元/篇，共计：1 万元/篇×5 篇=5 万元。（市财政资助支出 5 万元）
- 2) 软件著作权申请费：申请 4 个软件著作权，申请费 0.1 万元/个，共计：0.1 万元×4 个=0.4 万元。（市财政资助支出 0.4 万元）
- 3) 专利权申请费：申报 5 项国家发明专利权，委托代理机构申请，代理费加官费 0.5 万元/个，共计：0.5 万元/项×5 项=2.50 万元。（市财政资助支出 2.5 万元）
- 4) 文献资料费：文献查新、文献打印复印等，每年预计 0.70 万元，共计：0.70 万元/年×3 年=2.1 万元。（市财政资助支出 2.1 万元）
- 5) 推广费用：为了项目宣传及产品推广，印刷相应的宣传推广手册费用预估为 8 万元。（企业配套支出 8 万元）
- 6) 成品软件购买：60 万元，全部由企业配套支出，包括：
 - 1、三维建模、重建及影像处理所需的正版软件订阅授权购买费用 3 万元 × 3 年=9 万元；
 - 2、多模态医学影像三维重建与可视化分析软件 (13 万元)：采购用于冠脉 CTA、PET、MRI 等多源影像数据的高精度三维重建、配准及融合的专业软件授权，为术中病灶定位与手术

路径规划提供核心可视化与交互分析支持。

3、AI 模型轻量化与边缘计算部署软件模块 (8 万元): 采购用于 AI 模型压缩、加速及在手术室边缘设备上高效推理的专用软件授权, 以实现手术辅助算法的低延迟、本地化运行。

4、多模态影像预处理与质量增强算法库授权 (6 万元): 采购包含运动伪影去除、低剂量降噪、跨模态归一化等功能的医学影像处理算法库授权, 作为插件集成到本平台的数据预处理模块中。

5、科研医疗数据安全传输与加密软件模块 (4 万元): 采购符合医疗数据安全与隐私保护规范的加密软件授权, 用于保障平台中患者敏感数据在存储、处理及传输全链路中的安全。

6、异构医疗信息系统 (PACS/HIS) 接口适配与联调技术服务 (10 万元): 采购第三方专业技术服务, 用于开发和调试本研究平台与医院现有 PACS、HIS 等信息系统的数据接口, 实现多源数据的自动化、标准化集成。

7、多源异构数据集成与治理服务 (10 万元): 负责将院内 PACS/HIS 系统中的影像、病历、检验等多源异构数据进行抽取、清洗与融合, 构建与项目平台联通的、统一标准的研究型数据库 (Research Database)。

总费用=5 万元+0.4 万元+2.5 万元+2.1 万元+8 万元+60 万元=78 万元

5. 数据采集费 (82 万元)

拟支出数据采集费 82 万元, 市财政资助支出 18 万元, 企业自筹支出 64 万元。数据采集费 57 万元涵盖了冠心病介入诊疗智能辅助平台所需的全方位数据服务, 从原始医学影像获取到高质量训练数据集构建的完整技术链条。该服务面向 2500 例多模态心脏影像数据 (CT、MRI、超声、PET), 通过专业化的数据工程团队, 构建支撑 AI 模型训练与临床应用的核心数据底座。

其中包含多模态影像数据采集服务 (18 万元 - 市财政资助)、数据建模与融合服务 (36 万元 - 企业配套)、数据治理与质控服务 (28 万元 - 企业配套) 详见《数据采集费报价单》。

6. 差旅/会议/国际合作与交流费 (20 万元)

拟支出差旅/会议/国际合作与交流费 20 万元, 其中由市财政资助支出 11 万元, 企业自筹支出

9 万元。

用于项目进行组织必要的课题组成员进行外出调研以及参加学术会议，期间将产生的交通费、住宿费、差旅补助等费用；以及举办课题交流会议和国际学术会议；为课题组成员提供出国及港澳台交流，明细如下：

1) 差旅费（医院、高校）：市财政资助支出 6.5 万元用于项目组医院、高校成员参加国内举办的学术会议、技术培训、项目调研产生的往返交通、食宿等费用，平均 0.65 万元/人次，共计预计 10 人次，共计： $10 \times \text{人次} \times 0.65 \text{ 万元/人次} = 6.50 \text{ 万元}$ ；

1) 差旅费（企业）：企业自筹支出 9 万元，用于项目组企业成员参加国内举办的学术会议、技术培训、项目调研产生的往返交通、食宿等费用，平均 0.5 万元/人次，共计预计 18 人次，共计： $18 \text{ 人次} \times 0.5 \text{ 万元/人次} = 9 \text{ 万元}$ ；

2) 国际合作交流费：市财政资助支出 4.5 万元，用于项目执行期内成员参加国际会议或赴国外进行学术交流 3 人次，费用约 1.50 万元/人次，共计： $3 \text{ 人/次} \times 1.50 \text{ 万元/人次} = 4.50 \text{ 万元}$ 。

7. 劳务费（41 万元）

拟支出劳务费 41 万元，其中由市财政资助支出 41 万元。

在推进本项目平台研发工作进程中，确保研发任务的高效执行与核心技术的顺利突破，规划聘用研究生，用于项目平台的研发工作，覆盖数据处理、算法优化、模型测试、系统搭建等关键技术环节，具体计算措施如下：

数据调研与预算优化：我们深入研究了本市人力资源和社会保障部门发布的科学研究和技术服务业从业人员平均工资数据，并结合公司过往类似项目的劳务费支出情况，充分考虑本项目的独特性与实际需求，对劳务费预算进行了细致的调整与优化，确保预算的合理性与准确性；

人员分类与工作量核算：根据项目的研发任务与总体进度计划，我们将参与项目的人员细分为算法开发人员、软件开发人员、测试人员等类别，并精确估算各岗位在项目实施期间的工作量，3 年项目周期，以人月为单位进行统计，共计 82 人月；

薪酬标准：参照本市行业平均工资水平，结合人员的技能要求及学历背景等因素，制定了合理的人员薪酬标准，明细如下：

上海市第十人民医院研究生团队和同济大学研究生团队：82 人月 × 0.50 万元/人月 = 41.00 万元。

8. 专家咨询费（4 万元）

拟支出专家咨询费 4 万元，全部由企业配套经费支出。

本项目融合多领域知识，需要专业领域的专家提供指导和支持。计划聘请行业内资深专家，就平台建设方案、技术难题以及项目实施中的关键问题，提供咨询与指导服务。

参考国家和地方发布的关于专家咨询费的管理办法和支付标准，行业内其他项目在专家咨询方面的费用支出情况，确保预算合理合规。专家费的支出标准参照高级专业技术职称人员的专家咨询费标准为 1500–2400 元 / 人天（税后）；其他专业人员的专家咨询费标准为 900–1500 元 / 人天，明细如下：

项目拟邀请 4 名正高级专家提供项目咨询与指导，计划召开 4 次会议（包括启动、中期、验收），按天 2500/人天为标准估算，费用 = 0.25 万元/人天 × 4 人 × 4 次 = 4 万元；专家咨询费总费用 4 万元。

9. 其他费用（20 万元）

拟支出其他费用 20 万元，全部由企业配套支出。用于项目“多模态融合 AR 手术导航系统”的多中心临床推广活动。

1) 多中心临床推广活动 6 万元，拟在 3 家试点医院，举办“AR 手术导航系统临床应用启动会”，邀请心内科专家、手术团队参与，讲解系统临床价值与应用流程。费用 = 3 场 × 2 万元/场 = 6 万元；

2) 临床实操专项培训 9 万元，拟开展 4 期，覆盖 100 名心内科医护人员，采用“一对一设备实操 + 模拟手术场景演练”模式，重点培训术中 AR 导航精准对位、多模态影像实时解读、突发设备断连应急处理等核心技能。费用 = 4 期 × 2.25 万元/期 = 9 万元；

3) 跨医院临床应用效果跟踪服务 5 万元，组织技术团队定期走访 3 家试点医院，收集系统使用反馈并优化算法参数（如针对肥胖患者优化配准模型），助力达成“系统在 3 家

试点医院落地应用、辅助完成 100 例以上冠心病介入手术” 的项目指标。

（二）间接费用（总金额 10 万元，由市财政资助支出）

科研管理费（10 万元）

根据《经费管理办法》规定，科研管理费按直接费用扣除设备购置费后一定比例计提，用于保障项目实施和科研管理工作顺利开展。具体包括：

- 1) 科研组织与财务管理支出（4 万元）：用于科研处、财务处等在合同执行、财务核算、绩效考核中的组织协调与服务。
- 2) 间接运行费用补助（3 万元）：补助项目实施过程涉及的水、电、气、暖等无法单独计量的公共消耗。
- 3) 绩效支出（3 万元）：与科研人员实际贡献挂钩，向在影像采集、AI 算法研发、临床验证和成果转化中贡献突出的团队和个人倾斜。

测算依据：根据《上海市市级卫生健康领域财政科研类项目经费管理办法》规定，科研管理费按直接费用扣除设备费后的一定比例计提（本项目直接费用为 390 万元，其中设备费 43 万元，计提基数 347 万元，按比例提取科研管理费 10 万元，约占 3.0%，符合不超过 20%的规定范围）

八、绩效目标分解表

分解目标	指标内容	指标目标值	测算依据
产出目标	多模态心脏影像数据建模与标注	>1000 例	参考国内外同类研究成果
	融合 PINN 与图神经网络的数字心脏模型	完成 1 篇论文，申请 1 项发明专利	参考国内外同类研究成果
	冠心病诊断与 MACE 风险预测模型	完成论文 2 篇，申请专利 2 项，申请软件著作权 2 项	参考国内外同类研究成果
	建成无缝集成平台，完成与 PACS、HIS、RIS 等临床信息系统对接	软件系统 1 套，申请专利 2 项，申请软件著作权 2 项	参考国内外同类研究成果
	开发术中影像配准模块，完成毫米级实时导航算法设计与增强现实原型系统搭建	完成论文 2 篇	参考国内外同类研究成果
效果目标	构建冠心病智能诊断模型，集成病变自动识别	模型在外部验证集上的准确性 ≥ 0.85	参考国内外同类研究成果
	实现狭窄程度测量与斑块定量评估	模型在外部验证集上的准确性 ≥ 0.80	参考国内外同类研究成果
影响力目标	至少在一家三甲医院落地应用	服务患者数量 > 2000 例	参考国内外同水平医疗机构服务能力
需要说明的其他问题	无		

九、伦理委员会意见

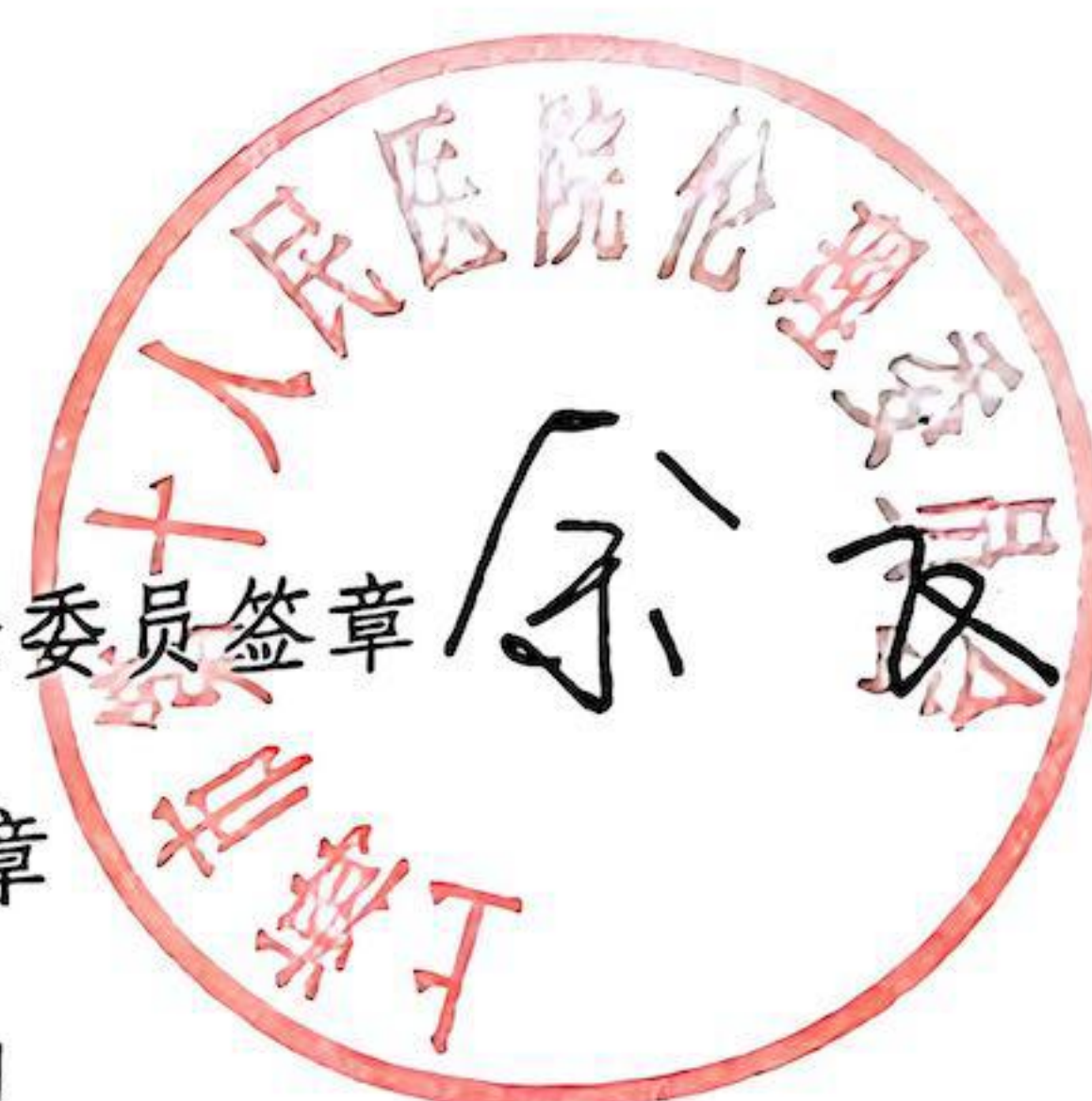
研究项目如涉及伦理，需经所在单位伦理委员会提出意见。

经审核，本项目符合医学科研伦理准则，同意申报。

伦理委员会主任委员签章

伦理委员会公章

2025 年 11 月 17 日



十、科研诚信承诺

本人承诺遵守科学道德和诚信要求，所提交材料均真实可信，符合科研诚信管理要求。

项目负责人（签字）

2025 年 11 月 17 日

Handwritten signature of the project leader.

本单位承诺对项目负责人的申请资格负责，并对项目材料的真实性和完整性进行审核，且无涉密内容。

依托单位（盖章）
2025 年 11 月 17 日



十一、审核意见

项目承担单位对项目的管理、经费预算及能否保证计划实施所需人、物、财力等的承诺，单位法人签名盖单位公章。

单位负责人签章：

江建

单位公章：

二〇二五年十一月十七日



市卫生健康委意见

单位公章：

二〇 年 月 日

十二、附件

- 1、自筹资金承诺函；
- 2、伦理审查批件（如项目涉及伦理问题，请伦理专家委员会出具相关证明）；
- 3、与项目参与单位签署的合作研究协议。

附表 1

自筹资金承诺函

万达信息股份有限公司 (单位全称), 承诺为 基于多模态特征自适应融合与增强现实的冠心病介入手术智能辅助平台构建及应用 项目, 提供 140 万元的配套资金 (专项与自筹比例不低于 1:1), 资金来源为 公司自有资金。

配套资金的管理和使用要求 (包括使用方向、用途、开支科目等): 主要用于劳务费、知识产权费、间接费用等开支。

特此证明。

出资单位 (公章):
2015年 11月 15日



附表 1

自筹资金承诺函

空岛信息科技(上海)有限公司 (单位全称), 承诺为 基于多模态特征自适应融合与增强现实的冠心病介入手术智能辅助平台构建及应用 项目, 提供 60 万元的配套资金 (专项与自筹比例不低于 1:1), 资金来源为 公司自有资金。

配套资金的管理和使用要求 (包括使用方向、用途、开支科目等): 主要用于劳务费、知识产权费、间接费用等开支。

特此证明。

出资单位 (公章):


2025 年 9 月 3 日



上海市第十人民医院伦理委员会审批件

声明：本伦理委员会按照国家卫计委和 NMPA 有关法规组成和工作，其审查和工作过程不受伦理委员会以外任何组织及个人的影响。

批件号：SHSY-IEC-6.0/25KY32/P01

审查日期：	2025. 9. 18	本院伦理号：25KY32
研究项目名称：	基于多模态特征自适应融合与增强现实的冠心病介入手术智能辅助平台构建及应用	
试验产品名称：	NA	
审查文件：	详见随附“上海市第十人民医院伦理委员会审查文件清单”	
合作公司：	NA	
主要研究者：	牡丹	组长单位名称：上海市第十人民医院
本院研究者：	牡丹	科室：上海市第十人民医院放射科
主审委员：	苏斌 庄育刚	
审查类别：	<input checked="" type="checkbox"/> 初始审查 <input type="checkbox"/> 复审 <input type="checkbox"/> 修正案审查 <input type="checkbox"/> 其他_____	
伦理审查方式：	<input type="checkbox"/> 会议审查 <input checked="" type="checkbox"/> 快速审查 <input type="checkbox"/> 紧急会议审查	
会议审查地点：	NA	
审查结果：	1. <input checked="" type="checkbox"/> 同意 <input type="checkbox"/> 修改后同意 <input type="checkbox"/> 修改后重审 <input type="checkbox"/> 不同意 2. 伦理委员会对该研究实施过程的年度/定期跟踪审查： <input checked="" type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否 审查频度为研究批准之日起： <input type="checkbox"/> 3 个月 <input type="checkbox"/> 6 个月 <input type="checkbox"/> 9 个月 <input checked="" type="checkbox"/> 12 个月 3. 伦理委员会有权根据实际进展情况改变年度/定期跟踪审查频度。 4. 自批准之日起一年内项目未启动，该批件自动失效。	
主任或副主任委员签字：		
日期：2025. 9. 19		
上海市第十人民医院伦理委员会（盖章）		
注意：（请仔细阅读）		
1. 本伦理委员会批准的项目为涉及人的生命科学和医学研究，必须严格按照所批最新版本的研究方案和知情同意书开展研究，并遵循国内相关法规指南要求。		
2. 凡是涉及人类遗传资源出口或者按照国家规定必须经有关部门专项审批的内容，均需在项目执行前向有关部门申报并获得批准。		
3. 本批件可能用于其他中心伦理委员会参考，如果对方案审查存在不同意见，请及时与本伦理委员会沟通。		
4. 对已批准的研究方案、知情同意书等材料的任何修改及主要研究者更换等，须及时通知本伦理委员会重新审查，获得批准后执行。		
5. 发生严重不良事件及影响研究风险受益比的非预期事件，须及时报告本伦理委员会。		
6. 根据伦理委员会对年度/定期跟踪审查频度的意见，无论研究开始与否，请在年度/定期跟踪审查日到期前 1 个月提出年度/定期跟踪审查的申请。		
7. 发现不依从/违反方案情况须及时报告伦理委员会审查。		
8. 暂停/提前终止临床研究，请通知伦理委员会；完成研究，须提交结题报告供伦理委员会审查。		
9. 研究者或申办方取得伦理批件后，在项目开展前，请到国家医学研究登记备案信息系统网站进行备案。体细胞临床研究参照《体细胞临床研究工作指引（试行）》管理，备案后开展。		

地址：上海市静安区延长中路 301 号，电话：021-66301604

上海市第十人民医院伦理委员会审查文件清单

批件号： SHSY-IEC-6.0/25KY32/P01

项目名称：基于多模态特征自适应融合与增强现实的冠心病介入手术智能辅助平台构建及应用

审查文件：

1. 初始审查申请表
2. 课题立项证明文件
3. 临床研究方案(版本号：1.0，版本号：2025.9.10)
4. 知情同意书(版本号：1.0，版本号：2025.9.10)
5. 主要研究者简历
6. 主要研究者声明
7. 多中心参加单位列表

上海市卫生健康委员会 2025 年智慧医疗专项研究项目- ‘基于多模态特征自适应融合与增强现实的冠心病介入手术智能辅助平台构建及应用’ 合作研究协议

甲方（承担单位）：上海市第十人民医院

乙方（参与单位）：同济大学

丙方（参与单位）：万达信息股份有限公司

丁方（参与单位）：空岛信息科技(上海)有限公司

鉴于甲乙丙丁各方各自在本领域所拥有的优势，经友好协商，本着精诚合作、互利共赢的原则，各方根据《中华人民共和国民法典》及上海市卫生健康委员会 2025 年智慧医疗专项研究项目立项要求，就合作实施“基于多模态特征自适应融合与增强现实的冠心病介入手术智能辅助平台构建及应用”（以下简称项目）进行了讨论，经充分协商，达成如下协议：

1、由上海市第十人民医院作为项目牵头单位，同济大学、万达信息股份有限公司、空岛信息科技(上海)有限公司作为项目协作单位，合作实施本项目。

2、承担单位责任与分工：

甲方作为牵头单位全面负责项目实施，组织项目总体管理，统筹经费使用。
甲方牵头负责关键技术研发任务，负责落实项目任务的关键指标和绩效成果；确保达到项目考核要求。甲方承诺将认真履行获批任务书中所述任务。

3、参与单位各方责任与分工：

乙方作为项目协作单位，配合甲方进行项目建设过程中的部分内容，具体包括：（1）参与项目关键技术研发过程中的技术指导；（2）配合承担单位进行应用筛查工作。乙方承诺在甲方组织下积极参与项目实施，认真履行获批任务书中所述任务。

丙方作为项目协作单位，配合甲方进行项目建设过程中的部分内容，具体包括：（1）参与项目技术研发过程中的系统集成及应用指导工作；（2）配合承担单位进行应用筛查工作。丙方承诺在甲方组织下积极参与项目实施，认真履行获

批任务书中所述任务。

丁方作为项目协作单位，配合甲方进行项目建设过程中的部分内容，具体包括：(1) 参与项目技术研发过程中的 AR 硬件研发及应用指导工作；(2) 配合承担单位进行应用筛查工作。丁方承诺在甲方组织下积极参与项目实施，认真履行获批任务书中所述任务。

4、关于本项目的经费与预算：

本项目总经费 400 万元，其中财政资助 200 万元，企业配套 200 万元。经费由甲方统一管理，专项用于项目研究，专款专用。各方经费分配根据任务书确定的研究任务与工作量，由甲方统筹拨付，确保研究任务顺利完成。各单位须按《上海市市级卫生健康领域财政科研类项目经费管理办法》提供预算说明和测算依据，接受主管部门和审计监督。

5、甲、乙、丙、丁方对所获得的财政资金应专款专用，在合作完成后，乙方、丙方和丁方需根据甲方需要对财政经费接受延伸审计或提供审计报告。

6、在项目实施过程中，各方应对项目实施过程中产生的科技成果按下列方式及时采取知识产权保护措施：

(1) 根据项目任务分工，在各方的工作范围内独立完成的科技成果及其形成的知识产权归各方独自所有。一方转让其专利申请权时，其他各方有以同等条件优先受让的权利。

(2) 在项目实施过程中，由各方共同完成的科技成果及其形成的知识产权归各方共有。一方转让其共有的专利申请权的，其他各方有以同等条件优先受让的权利。一方声明放弃其共有的专利申请权的，可以由其他各方单独申请。各方中有一方不同意申请专利的，其他各方不得申请专利。

(3) 由各方共同完成的技术秘密成果，各方均有独自使用的权利。未经各方同意，任何一方不得向第三方转让技术秘密。

(4) 共同完成的科技成果的精神权利，如身份权、依法取得荣誉称号、奖章、奖励证书和奖金等荣誉权归完成方共有。

(5) 各方对共有科技成果实施许可、转让专利技术、非专利技术而获得的经济收益由各方共享。收益共享方式应在行为实施前另行约定。

(6) 各方应严格按照任务书考核指标(包括论文发表、专利申请、软件著作权登记、系统开发与临床验证等)完成研究任务。

7、各方对项目实施过程中涉及的临床数据、科研资料和未公开成果负有保密义务,未经书面同意不得对外披露。

8、本协议不在协议各方之间建立任何商业上的代理、合作关系,如希望建立任何商业上的代理、合作关系,应另行签订协议。

9、协议未尽事宜,各方友好协商解决。

10、本协议一式五份,甲、乙、丙、丁各持一份,上交上海市卫生健康委一份,各份同等有效,经盖章后生效。



签字盖章页：

甲方：上海市第十人民医院

(单位盖章)

法定代表人/项目负责人：

日期：

乙方：同济大学

(单位盖章)

法定代表人/任务负责人：

日期：2025.9.23

松金龙

签字盖章页:

甲方: 上海市第十人民医院

(单位盖章)

法定代表人/项目负责人:

日期:

丙方: 万达信息股份有限公司

(单位盖章)

法定代表人/任务负责人:

日期:



签字盖章页

甲方：上海市第十人民医院

(单位盖章)

法定代表人/项目负责人：

日期：

丁方：空岛信息科技(上海)有限公司

(单位盖章)

法定代表人/任务负责人：

日期：

