

2026年度陕西省科学技术奖提名项目公示材料

一、项目名称

糖尿病脑损伤多模态评估与智能决策体系的构建及推广应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省卫生健康委员会

提名意见：

拟提名该项目为陕西省科学技术进步奖。

三、项目简介

2 型糖尿病（T2DM）是我国高发且危害严重的慢性代谢性疾病，其引发的脑损伤（包括脑血管病变和认知功能衰退）是导致患者致残、致死的重要诱因。流行病学显示，T2DM 患者的卒中风险为健康人群的 2-4 倍，认知障碍的发生率亦显著升高。然而，糖尿病脑损伤并非单一维度的疾病，而是高血糖通过糖基化终末产物蓄积、氧化应激等途径，同时影响脑实质与脑血管的多尺度复杂病理过程。这使得临床长期面临机制交织难辨、早期病变隐匿、评估手段单一、精准干预缺乏的困境。针对上述挑战，陕西省人民医院糖尿病脑损伤多学科团队历经多年系统攻关，围绕“糖尿病脑损伤如何发生、如何早期识别、如何实现智能化临床决策”这一核心问题，开展了从基础研究到影像转化的系列研究。最终构建了“糖尿病脑健康智能影像评估与决策支持系统”，实现了从基础研究到临床决策工具的全链条突破，为糖尿病脑损伤的早诊、分层与个体化管理提供了可落地的解决方案。

首先，针对 T2DM 患者脑血管事件高发的核心难题，团队从代谢紊乱角度切入，旨在阐明动脉粥样硬化斑块易损性的分子机制。基于大规模临床数据库和前瞻性队列，研究发现 T2DM 患者血清棕榈酸水平显著升高，是易损斑块的独立危险因素；进一步通过糖尿病小鼠模型和细胞共培养体系，证实棕榈酸通过激活巨噬细

胞 Dll4/Notch 信号级联反应，诱导血管平滑肌细胞衰老、胶原合成减少，最终导致纤维帽变薄和斑块易损。该研究首次完整揭示了棕榈酸-Dll4-Notch 轴在糖尿病斑块易损中的关键作用，不仅从分子源头解释了糖尿病相关脑梗死风险增高的内在机制，也为稳定斑块、降低脑血管不良事件提供了新型干预靶点，同时为后续多模态评估体系奠定了分子生物学基础。

在阐明斑块易损分子机制的基础上，团队进一步聚焦 T2DM 患者脑血管壁的非传统风险修饰因子及症状性颅内动脉粥样硬化性狭窄（sICAS）患者卒中复发风险的精准预测。借助高分辨磁共振血管壁成像技术，团队系统揭示了斑块负荷的年龄与性别差异——女性降糖治疗获益更显著，而糖尿病对年轻患者斑块的影响相对较弱，提示需分层评估脑损伤风险。在此基础上，团队整合糖尿病状态、斑块影像组学与传统影像参数，构建了 sICAS 患者卒中复发风险预测列线图（AUC 达 0.899），为临床提供了简便、个体化的风险评估工具，构成了多模态评估体系中脑血管事件风险预测的核心模块。

随后，团队针对 T2DM 脑损伤中更为隐匿的认知功能减退神经机制开展系列研究，采用多模态 MRI 数据，从白质微结构损伤、灰质体积萎缩、神经通路紊乱、静息态脑网络重塑等多个维度，系统刻画不同临床状态（无认知损伤、合并轻度认知功能障碍、合并糖尿病周围神经病变等）T2DM 患者的脑结构及功能特征改变模式，寻找能够早期预测认知功能损伤的影像学标记物。通过上述系列研究，团队建立糖尿病脑功能“代偿-失代偿”多尺度损伤演进理论框架，为阐明 T2DM 认知功能损伤的神经机制提供了全面的影像学证据，并且最终发现右侧额岛叶皮质的结构及功能改变可作为 T2DM 早期认知障碍的潜在影像标志物；海马区扩大的血管周围间隙（H-EPVS）可作为识别早期认知障碍的客观依据。这些发现为智能决策系统提供了关键的特征变量和诊断阈值。

最后，团队基于上述脑结构、功能及血管机制的系列研究成果，先后申请了《基于脑 MRI 图像的 T2DM 患者认知功能评估系统 V1.0》等 5 项软件著作权，自主研发了《糖尿病脑健康智能影像评估与决策支持系统》。该系统突破传统单一模态 MRI 检测局限，融合高分辨率结构 MRI（HR-MRI）、弥散加权成像（DWI）、磁敏感加权成像（SWI）、动脉自旋标记（ASL）及静息态功能磁共振成像（fMRI），构建全维度脑部信息采集与分析体系。系统搭载自主研发的深度学习算法模型，通过对多模态影像数据的协同处理，实现从像素级病灶识别到功能级代谢分析的一体化流程。该系统以普通许可方式授权陕西锐影医疗信息科技有限公司实施，完成 100 万元的科技成果转化，实现了从基础机制发现到智能软件开发、再到临床产品落地的全链条转化，为糖尿病脑损伤的早期筛查、精准评估与个体化干预提供了强有力的智能决策工具。

综上，本项目以“糖尿病脑损伤多模态评估与智能决策体系的构建及推广应用”为核心，通过机制研究阐明斑块易损根源，通过影像学研究揭示血管修饰因子与认知障碍标志物，最终通过人工智能技术实现多模态数据的整合与转化，形成了机制解析、影像评估、智能决策、临床推广于一体的完整体系，具有重大的科学价值与临床应用前景。

四、客观评价

该项目针对 T2DM 脑损伤病理机制复杂、早期病变隐匿、临床评估手段单一、缺少精准干预工具等突出临床难题，围绕血管斑块分子机制解析、卒中复发风险预测、认知损伤神经影像挖掘、智能系统研发开展系统性研究，破解糖尿病脑损伤早期识别能力不足、风险分层手段匮乏、缺少智能化临床决策工具等现实痛点。项目从基础机制发现到影像标志物筛选再到软件系统研发全链条进行突破，并实现了成果转化落地，最终将研究成果转化为对临床糖尿病脑损伤早筛、分层评估与个体化管理的技术支撑，具备良好的社会

效益与产业化经济效益。

1. 项目的创新性、科学性评价

该项目以“糖尿病脑损伤”为核心，突破既往研究将脑血管病变与认知功能衰退割裂研究的局限，首次将二者作为统一病理过程进行系统解析，形成了从分子机制、影像标志物到智能决策工具的完整研究体系。项目跳出传统仅聚焦高血糖直接血管损伤的研究范式，融合人群队列、动物细胞实验、多模态磁共振影像、影像组学与深度学习技术，从血管斑块病理、脑血管风险分层、脑网络认知损伤多个维度系统解析糖尿病脑损伤复杂病理特征，挖掘系列新型分子靶点与影像标志物，并将基础科研发现工程化落地，自主研发智能影像评估决策系统并完成科技成果转化，形成集机制阐释、风险评估、智能辅助诊疗于一体的综合解决方案，研究思路跨基础、影像、人工智能多学科，科学问题导向明确，技术路线完整可行，产出的模型、影像标志物与软件系统具备较强临床落地价值。

2. 项目基金支持、成果论文发表及引用评价

该项目系列研究先后获得国家自然科学基金 2 项、陕西省社会发展攻关项目 7 项、中国红十字会基金 1 项、秦创原中医药创新研发转化项目 1 项、陕西省人民医院人才与孵化基金 9 项，累计获批科研经费 287 万元。知识产权产出成效显著，获国家发明专利 1 项、实用新型专利 4 项、计算机软件著作权 5 项，形成了完整的知识产权保护体系。在成果发表方面，项目团队在 *Nature Communications* (IF= 16.6) 等国际知名 SCI 期刊发表论文 20 篇，累计影响因子 94.79，总他引 143 次，其中 5 篇 IF>5，1 篇 IF>10，在糖尿病脑损伤机制、影像评估及智能决策领域构建了系统的学术体系。

研究成果的学术影响力得到国际同行高度认可。核心论著“Palmitic acid in type 2 diabetes mellitus promotes atherosclerotic plaque vulnerability via macrophage Dll4 signaling”发表后，被

Nature Reviews Immunology (IF=47.1) 述评专门推介，认为该研究佐证了饱和脂肪酸不仅是代谢底物，还可通过调控巨噬细胞配体表达介导细胞间串扰，丰富了“营养物质通过非炎症途径加重代谢性心血管损伤”的理论；美国匹兹堡大学医学院 (Arterioscler Thromb Vasc Biol. , IF=8.8) 将其作为脂毒性致血管损伤的关键证据；此外，Journal of Translational Medicine (IF=9.7)、 International Journal of Molecular Sciences (IF=5.6) 等期刊也先后引用，认为该研究为饱和脂肪酸驱动斑块易损及大血管并发症提供了重要实验依据。

团队其他研究成果同样受到广泛关注：意大利内分泌学会官方期刊 (J Endocrinol Invest, IF=4.0) 在探讨神经影像学跨界价值时，将本团队发现的海马区血管周围间隙扩大 (H-EPVS) 作为“糖尿病改变血管周围间隙分布模式”的关键证据；复旦大学上海癌症中心 (Brain Behav , IF=3.3) 引用团队基于扩散峰度成像 (DKI) 揭示白质微结构异常与认知损害相关性的研究；上海科技大学 (MedScience , IF=4.1) 认为团队关于结构协变网络的工作丰富了躯体疾病继发脑损伤的影像学证据；俄罗斯科学院谢切诺夫研究所 (Int J Mol Sci, IF=5.6) 指出，团队岛叶亚区功能连接研究为鼻内胰岛素干预改善脑灌注提供了前期支撑；意大利雷焦艾米利亚地方卫生机构 (J Clin Med, IF=3.5) 则将团队构建的 sICAS 卒中复发列线图作为影像组学量化评估颅内粥样硬化复发风险的范例引用。上述广泛引用与积极评价，充分表明本项目在糖尿病脑损伤多模态评估与智能决策领域已形成重要的国际学术影响力。

3. 项目成果推广及应用评价

该研究的成果先后在国际磁共振年会 (ISMRM)、中华放射学年会等国内外知名学术会议上交流 20 余次，其中大会发言 5 次。团队骨干曾赴日本仙台、美国芝加哥参加第 35 届国际磁共振血管造影学会 (SMRA) 年度会议及第 31 届国际医学磁共振学会

（ISMRM）年会暨国际磁共振技师学会（ISMRT）年会，并作专题发言，系统汇报了基于多模态 MRI 探索糖尿病脑损伤神经机制的研究进展。自 2020 年起，团队连续每年举办国家级继续医学教育项目，迄今已 6 届，聚焦“磁共振新技术临床应用”，邀请国内知名专家授课，有效推进了多模态 MRI 技术在糖尿病脑损伤评估中的规范化普及与基层推广。2023 年，团队成员领衔成立陕西省研究型医院学会肿瘤影像诊断专业委员会，并每年举办公学学术年会，围绕神经与肿瘤影像前沿、多模态评估体系建设及人工智能临床转化等议题展开深入研讨，获得同行高度认可。目前，项目主要研究成果已在省内外多家医院推广应用，成为辅助诊断脑小血管病及 T2DM 认知功能损伤的重要工具，实现了从基础研究到临床应用的闭环转化。

五、应用情况

1. 应用情况

该项目前期开发的糖尿病患者脑小血管病精准评估系统和认知功能辅助评估体系，已在省内外多家医院实现临床推广应用，有效改善了传统人工阅片效率低、病灶易漏诊及认知评估主观性强等痛点，为糖尿病脑损伤的早期筛查与精准干预提供了实用的技术支撑。

糖尿病患者脑小血管病精准评估系统：该系统基于多模态 MRI 影像，结合深度学习算法，实现对脑小血管病变的精准量化评估。在微出血灶识别方面，通过 SWI 序列可自动检出直径 $\geq 0.5\text{mm}$ 的微出血灶，并区分陈旧性与新发出血，明确出血部位与数量，为血管损伤程度评估提供客观依据；在腔隙性梗死评估方面，借助 DWI 与 ASL 序列，系统可自动标注梗死灶位置、体积及信号强度，辅助临床评估病灶周边是否存在可挽救的“缺血半暗带”，为制定个体化治疗方案提供量化客观参考依据。

糖尿病患者认知功能辅助评估体系：该系统通过对 3D-T1WI

结构影像与 **BOLD** 功能影像的协同分析，从结构与功能两个维度评估认知损伤风险。结构层面，系统自动测量海马体积、前额叶皮质厚度等关键脑区参数，灵敏捕捉早期脑萎缩改变；功能层面，借助功能连接分析、独立成分分析及小世界网络属性等算法，识别认知相关脑区及脑网络内外的异常连接通路。同时，系统采用 **3D-CNN**、**Transformer** 等深度学习模型提取多尺度特征，实现认知损伤风险分级与量化评分，并结合可解释性算法生成可视化评估报告，为临床早期识别 **T2DM** 相关认知障碍、制定干预策略提供直观、便捷的辅助决策工具。

2. 经济及社会效益

（1）经济效益

该项目以糖尿病脑损伤的机制探索与临床转化为导向，逐步完成了从基础研究发现到智能软件研发的全链条工作。自主研发的《糖尿病脑健康智能影像评估与决策支持系统》成功以许可方式完成 100 万元科技成果转化，直接创造了技术转让收益。该系统搭载深度学习算法，可自动识别脑微出血灶、量化海马体积及前额叶皮质厚度、评估脑网络异常连接，为糖尿病脑损伤提供了智能化、标准化的评估工具。该系统通过早期发现脑损伤高危人群并及时干预，可显著降低卒中及认知功能障碍的发生率，从而减少因认知障碍导致的生产力损失与社会照护成本，以及因急性脑血管事件产生的住院费用、长期护理及康复支出。此外，该系统具备广阔的市场推广前景，随着在更多医疗机构的部署应用，将有效带动医学影像人工智能产业链的发展，未来有望通过软件授权、技术升级与维护服务等模式产生持续的经济回报。

（2）社会效益

提升诊疗水平，惠及广大患者：项目构建了糖尿病脑损伤多模态评估与智能决策体系，突破传统单一模态 MRI 检测局限，实现了从像素级病灶识别到功能级代谢分析的一体化流程。相关评估子模块已在陕西省人民医院及多家协作医疗机构推广应用，有效解决了传统人工阅片中病灶漏诊及认知功能评估困难等临床痛点，显著提高了糖尿病脑损伤（包括脑小血管病和 T2DM 认知障碍）的早期筛查率与诊断准确率，为患者的早诊、早治和个体化干预提供了有力支撑。

推动学术进步与人才培养：项目成果在 ISMRM 、中华放射学年会等国内外知名学术会议上交流 20 余次（大会发言 5 次），团队骨干赴日本、美国作专题报告，扩大了我国在该领域的国际影响力。自 2020 年起连续举办 6 届国家级继续医学教育项目，并成立陕西省研究型医院学会肿瘤影像诊断专业委员会，每年举办公学学术年会，有效推进了多模态 MRI 技术在糖尿病脑损伤评估中的规范化普及与基层推广，培养了大批影像与临床复合型人才。此外，团队多位骨干均为硕士研究生导师，近年来为西安医学院、陕西中医药大学、延安大学等多所院校培养了一批从事相关研究的硕士生；同时，团队积极支持年轻医师攻读博士学位，促进了学科建设和人才梯队的形成。

形成了完整知识产权体系：项目累计获批科研经费 287 万元，获国家发明专利 1 项、实用新型专利 4 项、计算机软件著作权 5 项，发表 SCI 论文 20 篇（总 IF=94.79，他引 143 次），并被 Nature Reviews Immunology（IF=47.1）等顶级期刊述评引用，形成了系统的学术体系。这些成果为糖尿病脑损伤的精准诊疗提供了中国方案，对降低糖尿病致残致死率、减轻社会疾病负担具有深远意义。

六、主要知识产权和标准规范等目录

序号	知识 产 权 类 别	知 识 产 权 具 体 名 称	刊 物 名 称 / 授 权 号	作 者 / 发 明 人
1	论文	Palmitic acid in type 2 diabetes mellitus promotes atherosclerotic plaque vulnerability via macrophage Dll4 signaling	Nature Communications	Xiqiang Wang, Ling Zhu, Jing Liu, Yanpeng Ma, Chuan Qiu, Chengfeng Liu, Yangchao Gong, Ya Yuwen, Gongchang Guan, Yong Zhang, Shuo Pan, Junkui Wang, Zhongwei Liu
2	论文	Structural and functional connectivity alteration patterns of the cingulate gyrus in Type 2 diabetes	Ann Clin Transl Neurol	Dongsheng Zhang, Yang Huang, Shasha Liu, Jie Gao, Weirui Liu, Wanting Liu, Kai Ai, Xiaoyan Lei, Xiaoling Zhang
3	论文	Altered functional connectivity of brain regions based on a meta-analysis in patients with T2DM: A resting-state fMRI study	Brain and Behavior	Dongsheng Zhang , Jie Gao, Xuejiao Yan, Min Tang , Xia Zhe , Miao Cheng , Weibo Chen , Xiaoling Zhang.
4	论文	Altered Functional Connectivity Density in Type 2 Diabetes Mellitus with and without Mild Cognitive Impairment	Brain Sci	Dongsheng Zhang, Shasha Liu, Yang Huang ,Jie Gao ,Weirui Liu ,Wanting Liu ,Kai Ai ,Xiaoyan Lei, Xiaoling Zhang
5	论文	Characterization of changes in the resting-state intrinsic network in patients with diabetic peripheral	Scientific Reports	Dongsheng Zhang, Yang Huang, Yitong Guan, Xiaoling Zhang, Peichun Pan, Xuejiao Yan, Xiaoyan Lei, Min Tang,

		neuropathy		Kai Ai, Jie Gao
6	论文	Plaque Characteristics in Young Adults With Symptomatic Intracranial Atherosclerotic Stenosis: A Preliminary Study	Frontiers in Neurology	Ling Li , Min Tang, Xuejiao Yan, Jie Ga, Niane Ma, Xiaorui Shi , Yaxin Niu, Yu Wen,Kai Ai , Xiaoyan Lei , Xiaoling Zhang
7	论文	The enlarged perivascular spaces in the hippocampus is associated with memory function in patients with type 2 diabetes mellitus	Scientific Reports	Peichun Pan, Dongsheng Zhang, Jing Li, Min Tang, Xuejiao Yan , Xin Zhang, Man Wang, Xiaoyan Lei, Xiaoling Zhang, Jie Gao
8		Glymphatic System Impairment in Type 2 Diabetes Mellitus Associated with Cognitive Function	Advances in Precision Medicine	Jie Gao, Peichun Pan, Jing Li , Bingqian Gao , Dongsheng Zhang , Min Tang , Xuejiao Yan , Kai Ai , Xiaoyan Lei , Zhongwei Liu , Yuming Zhang , Xiaoling Zhang
9	发明专利	基于磁共振成像的无创性脑类淋巴网络评估方法及系统	专利号: ZL 2025 1 1013167.6	高洁;张小玲;汤敏;张东升;严雪娇;李玲;王嫚;文玉
10	成果转化	糖尿病脑健康智能影像评估与决策支持系统	合同号: 2025610105002 211	张小玲, 高洁, 张东升, 汤敏, 刘仲伟, 严雪娇

七、主要完成人情况

序号	姓名	技术职称	行政职务	工作单位	对本项目贡献
1	张小玲	主任医师	处长	陕西省人民医院	总体设计、主持及指导项目

2	张东升	副主任医师	无	陕西省人民医院	项目实施、数据分析、文章撰写
3	刘仲伟	主任医师	主任	陕西省人民医院	基础研究、文章撰写、成果转化
4	高洁	副主任医师	副主任	陕西省人民医院	项目实施、数据分析、文章撰写
5	汤敏	主任医师	副主任	陕西省人民医院	项目实施、数据分析、文章撰写
6	严雪娇	主治医师	无	陕西省人民医院	数据采集及整理、文章撰写
7	雷晓燕	主任医师	主任	陕西省人民医院	项目指导，资料分析，论文修改
8	李玲	主治医师	无	陕西省人民医院	临床资料收集及分析、文章撰写
9	张鑫	主管技师	无	陕西省人民医院	制定扫描方案、影像数据采集
10	文玉	主治医师	无	陕西省人民医院	影像数据采集后处理分析

八、主要完成单位及创新推广贡献

陕西省人民医院作为唯一完成单位，为项目提供全方位支撑。一是统筹组织：依托多学科平台组建攻关团队，配套人才孵化基金 9 项，保障了项目的持续推进。二是数据支撑：提供不同临床表型的 T2DM 患者多模态/高分辨血管壁 MRI 与临床数据，为探索棕榈酸-Dll4/Notch 机制研究提供了实验平台。三是转化落地：以职务科技成果完成 5 项软著、1 项发明专利布局，通过医院转化通道将"糖尿病脑健康智能影像评估与决策支持系统"许可企业实施，实现 100万元科技成果转化。四是学术推广：成果在 ISMRM 等会议交流 20 余次，连续 6年主办国家级继教项目，成立省级专委会推动多模态 MRI 技术基层规范化普及，相关模块已在省内外多家医院推广应用，形成可落地的区域辐射效应。

九、完成人合作关系说明

姓名	工作单位	完成单位	对本项目贡献	合作关系
张小玲	陕西省人民医院	陕西省人民医院	总体设计、主持及指导项目	项目主持/论文合著/发明专利/成果转化（2,3,4,5,6,7,8,9, 10）
张东升	陕西省人民医院	陕西省人民医院	项目实施、数据分析、文章撰写	论文合著/发明专利/成果转化（2,3,4,5,7,8,9, 10）
刘仲伟	陕西省人民医院	陕西省人民医院	基础研究、文章撰写、成果转化	论文合著/成果转化（1,8, 10）
高洁	陕西省人民医院	陕西省人民医院	项目实施、数据分析、文章撰写	论文合著/发明专利/成果转化（2,3,4,5,6,7,8,9, 10）
汤敏	陕西省人民医院	陕西省人民医院	项目实施、数据分析、文章撰写	论文合著/发明专利/成果转化（3,5,6,7,8,9, 10）
严雪娇	陕西省人民医院	陕西省人民医院	数据采集及整理、文章撰写	论文合著/发明专利/成果转化（3,5,6,7,8,9, 10）
雷晓燕	陕西省人民医院	陕西省人民医院	项目指导，资料分析，论文修改	论文合著（2,4,5,6,7,8）
李玲	陕西省人民医院	陕西省人民医院	临床资料收集及分析、文章撰写	论文合著/发明专利（6,7,8,9）
张鑫	陕西省人民医院	陕西省人民医院	制定扫描方案、影像数据采集	论文合著（7）
文玉	陕西省人民医院	陕西省人民医院	影像数据采集及后处理分析	论文合著（6）