

摘要

磁共振成像 (MRI) 因其高分辨率的软组织成像能力, 在膝关节前交叉韧带 (ACL) 损伤诊断中有着不可替代的作用。医生针对膝关节 MRI 的诊断通常耗时且需要充足经验, 已有众多计算机辅助的方法进行 ACL 诊断的探索, 基于深度学习的辅助诊断方法是现在的主流方向, 并在 ACL 诊断领域取得了不错的结果。然而, 现有深度学习模型难以模拟临床专家结合解剖结构与过往经验知识的综合诊断过程, 尚未达到医学专家的诊断水平。此外大多方法局限于 MRI 图像本身, 没有考虑到其他模态信息和 ACL 状态之间的关联性。

受启发于股骨和胫骨的骨形态信息 (如髁间窝宽、胫骨平台倾角) 与 ACL 断裂之间关联性的相关研究以及临床医生的过往经验, 本研究认为骨形态信息是提升 ACL 诊断水平的一个关键因素, 提出融合 MRI 影像与三维骨形态点云的多模态诊断框架来解决现有方法的局限性。本方法采用骨形态点云数据表征隐含的骨形态信息, 与对应的 MRI 图像信息进行跨模态的特征融合实现 ACL 诊断能力的提升。本方法针对 ACL 诊断任务构建了多中心、多设备来源的膝关节数据集 (包含病例数据 15000 余例)。在该数据集的基础上首先通过仅使用骨形态点云的分类模型验证了骨形态信息由点云表征的隐含特征与 ACL 损伤之间的强相关性, 然后将骨形态点云特征与 MRI 图像特征进行融合证实骨形态点云对于单图像数据的 ACL 预测能力的性能提升作用。在此基础上最后构建了一种多分支的跨模态特征融合模型 ACL-PNet, 该模型采用双序列三支结构分别提取冠位 MRI 序列、矢位 MRI 序列的图像特征与骨形态点云的骨形态几何特征, 并通过跨模态注意力机制实现特征对齐与融合。实验表明, 引入骨形态特征使模型分类准确率从单模态的 90.98% 提升至 95.90%, 灵敏度与特异度分别达到 96.5% 与 95.1%, 分类性能显著优于放射科医生平均水平 (灵敏度 95.5%, 特异度 90.5%)。本研究不仅为 ACL 损伤诊断提供了新的技术路径, 更揭示了骨形态特征在运动医学智能分析中的潜在关键价值, 为骨科疾病的多模态诊断范式树立了新的实践路径。

关键词: 前交叉韧带, 核磁成像, 骨科疾病诊断, 骨形态点云, 多模态融合