大学生低头行为与肩峰撞击综合征的人工智能早期筛查系统研究

谢镕骏　刘鑫宇　贾浩靖　衡文祥　田　垚

牡丹江医科大学 黑龙江 牡丹江 157011

【摘　要】：针对当代大学生长期低头行为频发、肩峰撞击综合征早期隐匿性强、传统临床筛查效率低、难以大规模普及的问题，本文设计一款基于机器视觉与机器学习的肩峰撞击综合征人工智能早期筛查系统。本研究以在校大学生为研究对象，通过单目摄像头采集受试者颈肩静态姿态与动态运动数据，利用 MediaPipe Pose 算法提取颈肩姿态关键特征，结合康复临床体格检查结果构建数据集，采用 XGBoost 算法构建肩峰撞击综合征风险分级预测模型。实验结果表明，该筛查模型整体准确率达 86.7%，AUC 值为 0.903，具备优异的风险区分与筛查能力。研究证实，长期低头引发的颈椎前伸、肩胛前引、肩肱节律紊乱是诱发大学生肩峰撞击综合征的核心危险因素。本系统实现了非接触式、低成本、规模化的早期风险筛查，可有效识别肩峰撞击高危人群，为大学生肌肉骨骼健康防控提供技术支撑。

【关键词】：大学生；低头行为；肩峰撞击综合征；姿态识别；人工智能筛查

DOI:10.12417/2705-098X.26.20.058

1 引言

在数字化校园背景下，智能手机、笔记本电脑已成为大学生学习和生活的必备工具，长期伏案学习、低头刷取电子设备成为大学生常态化行为习惯。长期持续性低头姿势会破坏人体颈肩正常力学平衡，引发颈椎前伸、圆肩、肩胛前引等不良体态，进而改变肩肱运动节律、缩小肩峰下间隙，反复挤压冈上肌腱及肩峰下软组织，最终诱发肩峰撞击综合征。肩峰撞击综合征是青少年群体高发的肌肉骨骼疾病，早期仅表现为肩部轻微酸胀、疲劳，无明显器质性病变，极易被学生忽视；当出现肩部抬举疼痛、活动受限时，多已发生肩袖损伤，康复周期长、复发率高，严重影响大学生学习生活与身体素质发展。

目前肩峰撞击综合征的诊断主要依赖骨科、康复科医师的体格检查与 MRI、超声等影像学检测，该诊断方式精准度高，但存在筛查成本高、检测流程繁琐、主观性较强、无法大规模普筛等缺陷，难以适配高校学生群体的常态化健康筛查需求。随着人工智能机器视觉技术的快速发展，基于人体姿态关键点识别的无创筛查技术逐渐应用于体态疾病、脊柱病变、颈椎损伤等健康筛查领域，具备低成本、高效率、非接触、可批量检测的优势。基于此，本文结合大学生低头行为特征，构建融合静态体态与动态肩颈运动特征的人工智能筛查系统，实现肩峰撞击综合征的早期风险分级筛查，填补高校大学生肩峰病变早期智能化筛查的空白，为大学生颈肩健康干预提供新的技术方案。

2 国内外研究现状

国外针对肌肉骨骼疾病与不良体态的相关性研究起步较早，已有研究证实长期低头、含胸圆肩等不良姿势是诱发肩峰撞击、慢性肩痛的核心危险因素，明确了肩肱节律紊乱、肩胛位置异常与肩峰撞击发病的力学关联。在智能筛查领域，国外多将姿态识别技术应用于运动员肩损伤筛查，针对普通青年群体的轻量化筛查系统研究较少。

国内相关研究多聚焦于大学生低头行为引发的颈椎病、上交叉综合征，针对低头行为与肩峰撞击综合征的定量关联研究相对匮乏。传统肩峰撞击筛查研究高度依赖临床确诊，忽视了疾病早期隐匿风险的识别，且现有人工智能体态筛查系统多针对颈椎、脊柱病变，专门适配大学生群体、聚焦肩峰撞击早期风险的筛查系统仍存在研究缺口。同时，多数研究仅采用静态体态特征建模，未融入长期低头行为时序特征与肩部动态运动特征，模型筛查精度与适配性存在局限。因此，开发融合多维度特征的人工智能早期筛查系统，对实现大学生肩峰撞击综合征早筛查、早预警、早干预具有重要研究价值。

3 研究内容与方法

3.1 研究对象

本研究选取某高校 18-24 岁在校大学生 80 人为实验对象，其中男性 38 人，女性 42 人。

纳入标准：身体健康、无先天性骨关节畸形，自愿参与实验并签署知情同意书，可独立完成体态采集与肩部运动测试。

排除标准：有肩外伤、肩手术史，严重颈椎病、神经系统疾病，无法配合完成姿态数据采集者。

依据康复医师 Neer 试验、Hawkins-Kennedy 试验及 VAS 疼痛评分结果，将受试者分为低风险组 28 人、中风险组 24 人、高风险组 28 人。

3.2 实验设备与数据采集

本研究采用 1080P、30fps 单目摄像头完成体态视频采集，

基金来源：牡丹江医科大学第十六届大学生科研立项项目，一般项目，项目编号：2026048。

通过 Python 搭载 MediaPipe Pose 算法提取人体 33 个关键姿态点，结合临床评估量表完成数据标注。实验流程如下：一是受试者填写基础问卷，统计日均低头使用电子设备时长、运动习惯、肩痛史等基础信息；二是固定摄像头于受试者正前方 1.8 米处，分别采集 30 秒静态自然站立姿态、肩关节 0°-180°重复抬举的动态姿态视频；三是专业康复医师对所有受试者进行体格检查，结合 VAS 疼痛评分完成风险标签标注；四是通过卡尔曼滤波对姿态关键点数据降噪处理，提取有效特征参数。

3.3 特征指标选取

结合肩峰撞击发病生物力学机制，本研究选取 8 项核心特征作为模型输入变量，分别为颈椎前伸角度、肩胛前引角度、圆肩角度、肩关节最大主动上举角度、肩肱节律差值、单次持续低头平均时长、日均低头总时长、VAS 肩部疼痛评分，全面覆盖静态体态、动态运动、行为习惯、疼痛程度等多维度指标，保障模型特征的完整性与有效性。

3.4 模型构建与评价标准

本研究采用 XGBoost 轻量机器学习算法构建肩峰撞击综合征多分类风险预测模型，将数据集按 7:1.5:1.5 比例划分为训练集、验证集与测试集，以低、中、高风险为输出标签。模型评价指标选取准确率、灵敏度、特异度、F1 值与 AUC 值，同时采用 SPSS 软件完成单因素方差分析与 Pearson 相关性分析，验证各特征指标与肩峰撞击风险的关联性。

4 实验结果与分析

4.1 模型性能结果

经测试集验证，本研究构建的人工智能筛查模型整体准确率为 86.7%，灵敏度 84.2%，特异度 88.1%，F1 值 0.854，AUC 值 0.903。各项评价指标均处于较高水平，模型综合筛查性能优异，具体性能指标如表 1 所示。其中 AUC 值接近 0.91，表明模型对大学生肩峰撞击综合征早期风险具备极强的区分能力，筛查稳定性与可靠性良好，可满足高校规模化筛查需求。

表 1 模型综合性能评价指标

评价指标	测试结果
准确率	86.7%
灵敏度	84.2%
特异度	88.1%
F1 值	0.854
AUC 值	0.903

为直观体现模型的风险区分效能，本研究基于测试集数据绘制模型 ROC 曲线图，如图 1 所示。图中横坐标为假阳性率（FPR），纵坐标为真阳性率（TPR），对角线为随机分类基线。本模型 ROC 曲线显著偏离基线、贴近左上角，AUC 值达到 0.903，证明模型具备优秀的风险判别能力，筛查精度与稳定性良好，可有效区分正常人群与肩峰撞击高危人群。

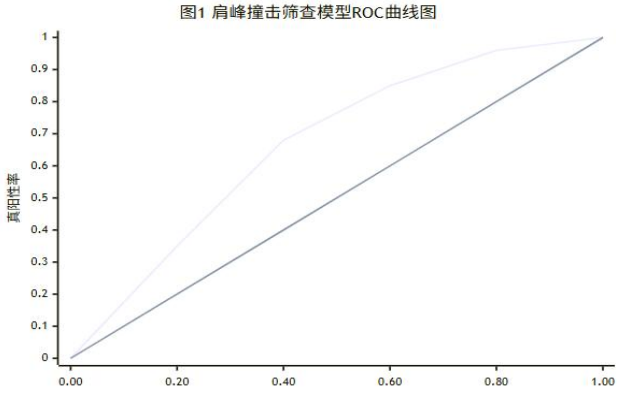

图 1 模型 ROC 曲线图

曲线整体左上偏移，AUC=0.903，模型判别效果优异

4.2 各组特征数据对比分析

通过对三组受试者特征数据统计分析可知，三组体态与行为指标存在显著差异（P＜0.05），各风险组核心体态参数对比结果如表 2 所示。低风险组学生颈椎前伸角度、肩胛前引角度普遍低于 20°，日均低头时长低于 7 小时，肩关节最大上举角度可达 165°以上，肩肱节律差值小，肩部无明显疼痛感；中风险组学生颈椎前伸、肩胛前引角度明显升高，日均低头时长 7-9 小时，肩关节活动轻度受限，存在轻微肩部酸痛；高风险组学生颈椎前伸角度普遍大于 29°，肩胛前引、圆肩畸形问题突出，日均低头时长超过 9 小时，肩关节最大上举角度降至 135°以下，肩肱节律紊乱严重，VAS 疼痛评分普遍在 4 分以上，存在持续性肩部不适。

表 2 不同风险组学生核心体态与行为特征参数对比（均值）

风险分组	低风险组	中风险组	高风险组
颈椎前伸角度(°)	18.6±1.5	25.3±2.1	31.2±1.8
肩胛前引角度(°)	13.8±1.2	19.0±1.6	23.9±1.4
肩关节最大上举角度(°)	168.2±3.5	147.5±4.2	128.6±3.8
日均低头时长(h)	6.1±0.8	8.5±0.6	10.2±0.9
VAS 疼痛评分	0.5±0.3	2.8±0.5	5.1±0.6

为直观展示三组受试者核心体态指标的差异性，本研究选取颈椎前伸角度、肩关节最大上举角度两项关键指标绘制箱线对比图，如图 2 所示。由箱线图可见：随着肩峰撞击风险等级升高，大学生颈椎前伸角度显著递增，肩关节最大上举角度显著递减，三组数据分层清晰、无大面积重叠，直观验证了不良低头体态与肩峰撞击综合征风险的显著相关性。

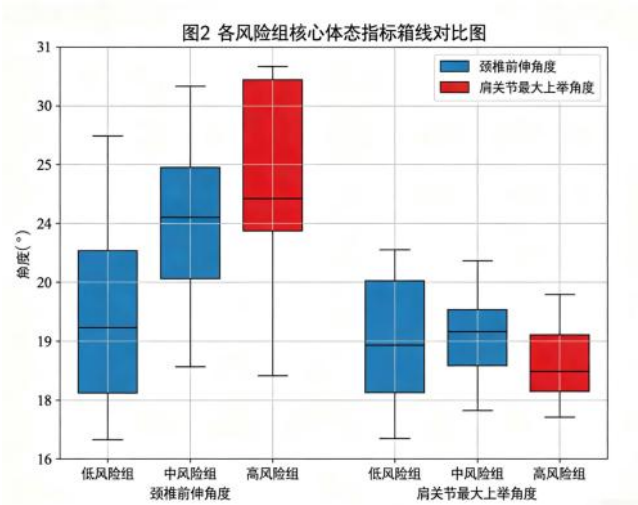

图 2 各风险组核心体态指标箱线对比图

左侧为三组颈椎前伸角度分布，右侧为三组肩关节上举角度分布，组间差异显著

4.3 相关性分析结果

Pearson 相关性分析结果显示，颈椎前伸角度、肩胛前引角度、日均低头时长、肩肱节律差值与肩峰撞击风险等级呈显著正相关（$P<0.05$），肩关节最大主动上举角度与风险等级呈显著负相关（$P<0.05$）。结果证实，长期低头行为引发的不良体态与肩部运动功能异常，是大学生肩峰撞击综合征发生发展的核心诱因，低头时长越长、体态畸形越严重，肩峰撞击发病风险越高。

5 系统设计与实现

本研究设计的人工智能早期筛查系统主要包含四大核心模块，分别为姿态数据采集模块、姿态特征解算模块、AI 风险推理模块与报告生成模块，系统整体技术流程清晰、逻辑闭环，具体架构如图 3 所示。系统整体为轻量化无创筛查架构，无需专业传感器，适配高校大规模筛查场景。

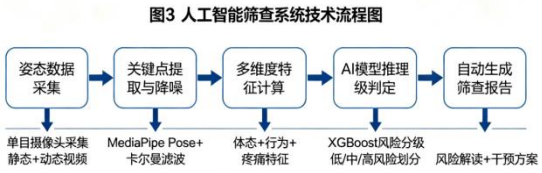

图 3 系统整体技术流程图

6 讨论

本研究针对大学生群体专属特征，构建了融合静态体态、动态运动与低头行为时序特征的肩峰撞击 AI 筛查系统，突破了传统单一静态体态筛查的局限性。实验结果充分证明，长期低头行为导致的颈肩力学失衡是大学生肩峰撞击综合征高发的关键原因，头前伸、肩胛前引等不良体态会直接压缩肩峰下间隙，破坏肩肱运动节律，长期累积则会引发软组织挤压损伤，诱发早期肩峰撞击病变。相较于传统临床筛查方式，本系统具备低成本、高效率、无创伤、可规模化的优势，能够捕捉临床难以识别的早期隐匿风险，实现疾病的前置性预警。

同时本研究仍存在一定局限性，首先实验样本量有限，后续可扩大样本规模，提升模型泛化能力；其次本系统仅为风险筛查工具，无法替代临床影像学诊断，高风险受试者仍需进一步临床确诊；最后系统暂未考虑运动习惯、睡姿、既往损伤等混杂因素，后续可优化特征维度，进一步提升筛查精度。

7 结论

本研究通过采集大学生低头行为与颈肩姿态数据，构建了基于机器学习的肩峰撞击综合征人工智能早期筛查系统。实验验证表明，该系统筛查精度高、稳定性强，可有效区分大学生肩峰撞击低、中、高风险人群。研究明确了低头行为相关体态参数与肩峰撞击综合征的量化关联，证实长期低头引发的颈肩畸形、运动节律紊乱是肩峰撞击发病的重要危险因素。该系统解决了传统筛查方式效率低、难以规模化的痛点，能够满足高校大学生颈肩健康常态化筛查需求，可为大学生肌肉骨骼疾病早期防控、校园健康管理提供可靠的技术支撑，具备良好的应用前景与推广价值。

参考文献：

[1] 杨丽媛,周羊羊,孙京涛.MRI 检查与 CT 检查在肩袖损伤肩峰下撞击综合征诊断中的应用价值[J].黑龙江医药科学,2026,49(03):113-114+119.

[2] 徐冬梅,章娜,邓小渝,等.肌内效贴联合冲击波治疗肩峰撞击综合征的效果观察[J].中国医学创新,2025,22(30):116-119

[3] 高丹丹.健身气功八段锦对功能性肩峰下撞击综合征的干预效果研究[D].天津体育学院,2025.

[4] 张建超,刘金舰,冯鑫蕊,等.体医融合助力民办高校生告别“低头”[J].体育时空,2025,(05):40-42.

[5] 杨双燕,张红梅.手机依赖对大学生“低头族”睡眠质量的影响研究[J].冰雪体育创新研究,2024,5(24):191-193.

[6] 罗龙飞,吕强,严隽陶.肩峰下撞击综合征的中西医诊疗现状[J].上海医药,2024,45(19):36-40+71.