

生成式人工智能辅助功能性动作筛查：面向损伤风险预测与远程康复监测

杨坡 刘朋飞 尹立波

河北传媒学院艺术体育学院，河北石家庄，051430；

摘要：生成式人工智能的提出为运动健康的智能化评估和管理提供了新的技术解决方案。功能性动作筛查作为评估人体基本运动能力、判断运动损伤风险的方式，存在评估人员分散、评估场景狭窄、长期跟踪反馈等问题。将生成式人工智能应用于功能性动作筛查中，可通过多模态、动态等特征分析、个性化模型生成等技术手段，对受试者动作进行有效测量，预测运动损伤风险，建立远程康复监测系统，突破时空限制，实现对康复过程的持续跟踪和智能干预，增强动作评估客观性、有效性，完善损伤预防与康复管理流程，为大众健身、竞技体育以及临床康复提供智能、便捷的技术手段，促进运动健康管理的数字化、个性化。

关键词：生成式人工智能；功能性动作筛查；损伤风险预测；远程康复；运动功能评估

DOI：10.69979/3041-0673.26.01.108

引言

全民健身和竞技体育专业化发展带动运动功能评价、损伤风险预测和康复管理等运动医学、健康工程领域的研究方向的发展，功能性动作筛查将基础动作模式评价应用于损伤风险识别和运动能力提升，数字技术融入医疗健康领域，传统的人工评定、现场检测筛查难以满足人群评价、长期动态监测、远程管理等要求，生成式人工智能具有数据分析、特征学习、内容生成、智能决策等优势，可支撑复杂运动数据处理和运动功能智能分析等，将生成式人工智能技术应用于功能性动作筛查，能够自动采集挖掘人体动作数据，建立良好损伤风险预测模型、搭建评估、干预、随访的远程康复监测平台，使运动功能评价更精准、康复管理更连续，增强功能性动作筛查的应用场景和实践意义，促进运动健康保障体系数字化转型和高质量发展。

1 研究背景与意义

1.1 国内外研究现状述评

随着运动健康理念的普及与数字技术的提升，基于FMS检测人体基础运动能力、识别潜在损伤风险的功能性动作筛查已被广泛应用于大众健身、竞技体育、临床康复等领域，国内外学者围绕FMS的应用场景、评估标准以及优化路径开展了大量积极探索，也得到了一定的研究成果。国外对FMS的研究起步较早，有相对完善的筛查体系，确定了包含深蹲、跨栏步、直线弓步等7大核心动作的评分标准和使用规范，逐步探索人工智能技术与FMS的融合，利用深度学习、计算机视觉等技术完成动作数据自动采集与初步分析，genGait模型等研究

通过Transformer掩码自编码器架构，检测无标签异常动作与标准动作轨迹，对FMS的智能化发展起到了一定的借鉴作用，部分研究将生成式AI引入动作特征的深度挖掘中，利用模型的生成推理能力提升损伤风险的预测能力，还通过贝叶斯推理等方法构建置信度评估体系增强AI辅助筛查的可信度。

1.2 研究目标与内容

研究目标是建立生成式人工智能辅助功能性动作筛查理论和实践体系，利用生成式AI技术突破FMS应用弱点，实现损伤风险预测、康复过程远程智能监测，为运动健康数字化和个性化发展提供技术支撑和方法保障。研究内容由目标引出，包括理论构建、技术融合、实践应用3部分。在理论上，梳理功能性动作筛查理论和生成式人工智能技术，明确两者融合的基本逻辑和适配性，构建生成式人工智能辅助FMS理论体系，确定模型选择、设计原则和可解释性建立路径，结合贝叶斯推理等完善模型信任度体系，解决之前研究理论体系不完备、可解释性不足的问题；在技术上，针对FMS动作评估需求进行适配的生成式AI模型选择，确定训练程序和优化方案，采用无标记动作捕捉技术自动采集和预处理动作数据，提取动作时空特征和生物力学特征，建立异常动作模式识别算法，建立损伤风险和异常动作关系模型，提高模型运行效率、保证模型适用性。

2 相关理论与技术基础

2.1 功能性动作筛查理论

功能性动作筛查(FMS)是一套应用人体生物力学

理论,用于评估人体的基本运动功能、动作模式缺陷和损伤风险的标准化方法,它的理论来源于运动功能整合理论和损伤预防理论,强调人体运动的整体性和协调性,人体任何功能性动作都是由多个关节、肌肉群共同参与进行的,任何一个环节功能出现缺陷都会使人体动作模式发生异常,从而增加损伤的危险性。fmS的基本理论主要包括三个方面:一是动作模式的整体性理论,认为人体的基本动作(如深蹲、弓步、旋转等)是人们日常生活和运动的基础,基本动作完成质量直接表征着人体的柔韧性、稳定性、平衡性和神经肌肉控制能力,通过对核心动作的测评能够综合评估出个体的运动功能状态;二是动作缺陷与损伤风险的关联性理论,即动作模式的异常是造成运动损伤的主要原因,通过筛查能够早期发现动作缺陷代偿、关节受限、肌肉不平衡等问题,从而判断潜在损伤风险,实现损伤预防的科学管理;三是筛查结果的个性化应用理论,提出FMS结果不是单一的评分结果,而是对于不同动作缺陷的反馈结果,可以为后续的运动训练、康复干预提供指导,达到“筛查-评估-干预-随访”的目标。

2.2 生成式人工智能核心技术

生成式人工智能就是通过训练数据从特征规律中产生特征规律的新内容(文本、图像、视频、数据序列等)的人工智能。生成式人工智能基于 Transer 架构、生成对抗网络、VAE、扩散模型等基于深度学习、注意力机制、迁移学习、提示工程等辅助技术学习、生成、推理的学习、生成、推理。Transformer 是生成式 AI 基本架构,用自注意力捕获输入数据中的长距离依赖,通过位置编码将序列数据(动作时序数据)进行处理,发掘动作数据中的时空关系,识别动作模式,应用较为广泛,如动作分析、步态识别,genGait 通过 Transer 掩码自编码器建立异常步态检测、标准轨迹生成。

3 生成式人工智能辅助功能性动作筛查的理论框架

3.1 面向 FMS 的生成式 AI 模型选择与设计思路

基于功能性动作筛查的生成式 Ai 模型的选择与设计是在 fmS 评估需求的指导下,在生成式 AI 基础上,通过“数据适配-特征提取-推理-结果输出”方式来完成动作评估、异常识别及风险预测的任务,模型选择与设计的思路是适配、实用、可扩展。FMS 动作评估需求是需要选择具有序列数据、特征挖掘和生成能力的模型,核心选择基于 Transformer 掩码自编码器(MaE),能够通过自注意力机制获取动作数据时空关联性特征,适

合处理无标签数据,不需要提取较多标注的病理动作数据,基于健康人群标准动作数据完成异常动作检测,能够与 FMS“发现动作缺陷、预测损伤风险的需求相适应,配合生成对抗网络的生成模型生成能力,生成标准动作“孪生轨迹”和异常动作模拟数据;在动作评分和缺陷分析中引入 LLM,通过提示工程技术实现动作评分精细化、缺陷反馈专业化,结合 LLM-FMS 数据集建模思路,对动作关键帧特征及专家规则进行提示设计。

3.2 模型可解释性与信任度构建

模型可解释性方面,采用“特征可视化+规则嵌入+结果溯源”方式,首先采用特征可视化将模型提取的动作特征(关节角度变化、肌肉激活时序、动作对称性等)图形化,给用户展示模型识别异常动作的依据,清楚模型所做动作是哪些动作,特征如何等;其次嵌入 fmS 评估规则以及专家经验,将深蹲、跨栏步等动作的评分标准、异常判断依据转化成模型可识别规则,使得模型推理逻辑与 FMS 的专业评估逻辑相一致,结合 LLM-FMS 思路,让大语言模型在给出评分的同时可以提供推理依据,明确每个评分对应的动作表现和缺陷点;最后建立结果溯源,记录模型处理数据的过程,包含数据采集时间、数据处理流程、特征提取结果、模型推理过程等,让每一个评估结果都可以查找到,便于后续验证和完善。

从信任度构建上看,建立置信度的方法主要是通过贝叶斯推理机制,克服生成式 AI 的“幻觉”问题,使模型输出结果带有一定的置信率,即先用 FMS 的评价标准、历史数据作为先验概率、当前动作的特征数据作为证据,然后通过贝叶斯公式计算出模型输出结果的后验概率,转换成 0-100%的置信度,如当模型判断出某个动作有异常时,输出“异常判断(置信度 85%)”,并给出置信度的计算方法(如关节角度偏差、动作对称性差异等)。

4 面向损伤风险预测的生成式 AI 辅助 FMS 分析

4.1 目标人群与损伤类型定义

针对损伤风险预测的生成式 AI 辅助 FMS 首先要明确目标人群及主要损伤类型,以保证研究的针对性和实用性,根据 FMS 的应用场景和生成式 AI 的技术特点,研究的目标人群分为竞技体育运动员、普通健身人群、康复期患者三类,运动特征和损伤风险不同,是研究的全样本。其中,竞技体育运动员是该研究的核心目标人群,长期从事专项训练,动作模式固定,容易出现肌肉劳损、关节损伤等现象,重点关注田径、球类、格斗等

不同专项运动员, 损伤风险主要与专项动作的重复性、高强度有关, 是此次研究的重点人群; 普通健身人群从小到大, 运动水平参差不齐, 有些人群不懂得运动指导, 容易出现动作不规范、肌肉力量不平衡等现象, 引起运动损伤, 这类人群损伤风险是普遍的、多样性的, 是推广生成式 AI 辅助 FMS 的主要人群; 康复期患者包括运动损伤康复、骨科术后康复、神经康复人群, 该类人群的重要需求是通过 FMS 评估监测康复进度, 发现康复过程中存在的动作缺陷和避免二次损伤, 损伤风险主要与康复训练规范度、动作功能恢复度有关。根据目标人群的运动特征和损伤特征, 本研究定义的核心损伤类型主要包括: 肌肉损伤(肌肉拉伤、劳损)、关节损伤(膝关节半月板损伤、踝关节扭伤、肩关节损伤)、韧带损伤(交叉韧带损伤、侧副韧带损伤)和脊柱损伤(腰椎间盘突出、颈椎劳损), 这些损伤类型都与动作模式异常相关, 且在三类目标人群中都有较高的概率; 结合 fms 的评估主要内容, 将损伤类型与异常动作模式相关联, 如深蹲动作异常易引发膝、腰部损伤、跨栏步动作异常易引起踝、髌关节损伤。

4.2 基于生成式 AI 的异常动作模式识别与风险关联

异常动作模式识别方面, 依托基于 transformformer 掩码自编码器的生成式 AI 模型, 借助无标记动作捕捉算法, 对 FMS 七个关键动作的时序进行采集与分析, 模型通过训练过程中学到的健康人标准动作特征, 分析出动作的异常, 即动作幅度异常、关节角度异常、动作对称性不足、肌肉激活时序紊乱、代偿动作明显等, 借鉴 GenGait 模型的双阶段推理, 第一步计算关节预测值与基线值偏差, 得到不良分数, 定位异常关节和异常动作, 第二步重建标准动作“孪生轨迹”, 定位异常动作与标准动作之间的异常差异, 借助大语言模型推理能力, 对异常动作模式进行分类描述, 例如将深蹲异常分为膝关节内扣、躯干前倾过度、髌关节活动受限等具体类型。风险关联建模上, 基于目标人群的动作数据、损伤数据、FMS 等, 建立异常动作模式与损伤风险的关联模型, 采用机器学习算法和贝叶斯推理相结合的方法, 输入异常动作特征(如关节角度偏差值、动作对称性系数、代偿动作频率等), 输出损伤发生概率, 验证不同异常动作模式与不同损伤类型的关联度, 例如通过历史数据提取膝关节内扣型深蹲异常与膝关节半月板损伤的概率, 建立关联矩阵, 并结合专家经验修改

模型参数。

5 结论

基于生成式人工智能与 FMS 融合应用, 梳理相关理论与技术基础, 建立生成式 AI 辅助 FMS 理论体系, 确定 FMS 评估所需模型选取与设计方向, 通过特征可视化、规则嵌入等手段提高模型可解释性和信任度, 并针对损伤风险预测需求, 识别目标人群与核心损伤类型, 构建基于生成式 AI 异常动作模式识别与风险关联体系。研究表明, 生成式人工智能可以充分发挥数据处理、特征挖掘和智能推理, 实现 FMS 动作评估的自动化、精细化与远程化, 精准识别异常动作模式并计算异常动作模式与损伤风险关联程度, 为不同人群提供损伤风险预警与康复监测服务, 拓展 FMS 应用场景与实践可能, 为运动健康的数字化、智能化发展提供可靠技术保障和实践指引, 促进损伤预防与远程康复管理体系构建。

参考文献

- [1] 郭丞, 李慧, 加旖旋, 等. 基于人工智能的中小学生学习运动损伤风险评估和训练[J]. 体育教学, 2025, 45(02): 91-93.
- [2] 朱建伟, 周春明. 功能性动作筛查在国内的研究进展[J]. 冰雪运动, 2016, 38(02): 58-62. DOI: 10.16741/j.cnki.bxyd.2016.02.013.
- [3] 张燮. 功能性动作筛查(FMS)概述及国内研究概况[J]. 体育科技文献通报, 2022, 30(02): 74-78+103. DOI: 10.19379/j.cnki.issn.1005-0256.2022.02.023.
- [4] 冯雪, 李赞, 赵慧敏, 等. 功能性动作筛查(FMS): 争议、局限及拓展[J]. 天津体育学院学报, 2023, 38(03): 276-282+346. DOI: 10.13297/j.cnki.issn1005-0000.2023.03.005.
- [5] 吕虹蕾, 岳晨琪, 陈金, 等. 基于机器学习算法的压力性损伤风险预测研究热点的可视化分析[J]. 天津护理, 2023, 31(04): 432-437.

作者简介: 杨坡, 1996.10, 男, 汉族, 山西临汾, 河北传媒学院艺术体育学院, 硕士, 讲师, 运动健康促进与运动康复。

刘朋飞, 1995.01, 男, 汉族, 河北邢台, 河北传媒学院艺术体育学院, 硕士, 讲师, 运动康复与健康。

尹立波, 1979.07, 男, 汉族, 河北石家庄, 河北传媒学院艺术体育学院, 硕士, 副教授, 体育教学与运动健康促进。