·临床教学·

人工智能赋能外科手术基础技能教学：模型构建与评估体系的研究

李由[1]　冉志川[1]　王小寒[2]　周静[3]　郭洪峰[4]　段然[5]
[1]重庆大学附属沙坪坝医院信息科，重庆 400030；[2]重庆大学附属沙坪坝医院科教科，重庆 400030；[3]重庆医药高等专科学校临床医学院，重庆 401331；[4]陆军军医大学第一附属医院外科手术学教研室，重庆 400038；[5]重庆大学附属人民医院信息处，重庆 401147
通信作者：段然，Email：1261103@qq.com

【摘要】 现有《外科手术学》在基础操作方面存在传统理论教学与实践演练失衡，实践教学训练与评估机制不够完善等问题。随着人工智能、虚拟现实等技术在医学教育信息化不断发展，临床医学中视频目标检测和动作捕捉识别技术得到广泛应用，将该技术应用于手术打结技能操作的融合教学中，对外科手术学基础实践教学中的打结、切开缝合、止血结扎以及无菌技术等“教”与“学”的过程提供标准评估，并对操作数据进行分析赋能，采集教师操作时间、动作关键帧和流畅度等，形成手部轨迹动作、手术器械的标准模型，得到关于外科手术学基础操作中手术打结操作的动作识别模型和器械识别模型。将在模拟手术训练中的操作数据带入模型综合分析，通过辅助手术教学系统实时分析其考核成绩、手术时间、易错点，建立手术打结教学评估标准，人工智能大模型的分析与反馈能更好地满足教学与实践结合需求、培养临床外科医生手术基本操作能力。

【关键词】 人工智能；　外科手术学；　视频图像处理；　动作识别；　器械识别
【中图分类号】 R33
基金项目：2023 年中央高校基本科研业务费医工融合项目（2023CDJYGRH-YB18）；2023 年重庆医药职业教育集团教科研项目（CQZJ202311）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240922-02183

Empowering the teaching of basic surgical skills with artificial intelligence technology: establishment of assessment models and skill enhancement

Li You[1], Ran Zhichuan[1], Wang Xiaohan[2], Zhou Jing[3], Guo Hongfeng[4], Duan Ran[5]
[1]Department of Information, Shapingba Hospital, Chongqing University, Chongqing 400030, China; [2]Department of Science and Education, Shapingba Hospital, Chongqing University, Chongqing 400030, China; [3]School of Clinical Medicine, Chongqing Medical and Pharmaceutical College, Chongqing 401331, China; [4]Department of Operative Surgery, The Southwest Hospital of Army Medical University, Chongqing 400038, China; [5]Department of Information, Chongqing General Hospital, Chongqing University, Chongqing 401147, China
Corresponding author: Duan Ran, Email: 1261103@qq.com

【Abstract】 The existing "Surgery" has issues in basic operations, such as an imbalance between traditional theoretical teaching and practical drills. Moreover, the training and evaluation mechanisms for practical teaching are not fully developed. With the continuous progress of information technology in medical education, including the application of artificial intelligence and virtual reality, video object detection and motion capture recognition technologies have been widely utilized in clinical medicine. Applying these technologies to the integrated teaching of surgical knot-tying skills can provide a standardized evaluation for the "teaching" and "learning" processes in basic practical teaching of surgery. This includes aspects such as knot-tying, incision and suture, hemostasis and ligation, and aseptic techniques. Furthermore, by analyzing and leveraging the operation data, key parameters such as the teacher's operation time, critical action frames, and smoothness can be collected. This enables the establishment of standard models for hand trajectory

movements and surgical instruments, leading to the development of action recognition models and instrument recognition models for surgical knot-tying operations in basic surgical procedures. When the operation data from simulated surgical training is incorporated into these models for comprehensive analysis, the system can analyze assessment scores, surgical time, and error-prone areas in real time through an auxiliary surgical teaching system. This helps to establish teaching evaluation criteria for surgical knot-tying. The analysis and feedback provided by artificial intelligence large models can better meet the requirements of integrating teaching with practice and contribute to cultivating the basic surgical operation capabilities of clinical surgeons.

【**Key words**】 Artificial intelligence; Surgery; Video image processing; Motion recognition; Instrument recognition

Fund program: 2023 Medical and Industrial Integration Project for Basic Scientific Research and Business Expenses of Central Universities (2023CDJYGRH-YB18); 2023 Chongqing Medical Vocational Education Group Teaching and Research Project (CQZJ202311)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240922-02183

《外科手术学基础》是一门桥梁课程[1-3],该课程强调理论知识在操作实践中的应用,着重培养学生的动手操作能力,为外科学及相关临床医学课程的实习奠定基础。目前,通过训练学生掌握各类外科打结、缝合方法,以及无菌术、术前准备等外科基本操作技能,并进一步在实验动物身上进行腹部手术操作,是培养学生的常规手段。但与其他医学理论课程不同的是,《外科手术学基础》课程主要教学目的是培养学生实践操作技巧,课程本身存在很强的实战操作性与内容延续性,如果仅仅依靠传统教学,不注重理论传授、示范教学与实践练习相结合,则无法获得满意的教学成果[4]。近年来,随着人工智能技术的飞速发展,针对外科手术学基础实践教学中打结、切开缝合、止血结扎以及无菌技术等过程标准评估和操作数据分析已成为新的研究方向。

1 《外科手术学基础》课程教学的现状与挑战

1.1 理论教学与实践训练的失衡

《外科手术学基础》课程实践性强,对空间感知能力及程序性知识习得的要求高,需要认知层面向实践层面的频繁信息转换,这就意味着先理论学习再实践操作的教学模式未必适合,而应考虑将理论教学更多地放在课前,在课上给予学生充分的答疑与实战演练的机会。其次,理论授课无论是图片、动图还是视频,都无法完全转化为学生的操作能力,从“看会”转变为“练会”,不同学生的认知往往存在差异,且现有教材与视频等教学素材已沿用多年,存在图例视频分辨率低、指示不明确、视频与教材一致性差、所用器械耗材与实际临床脱节等不足。

1.2 实践教学资源与指导机制不足

《外科手术学基础》实践教学包括打结、切开缝合、止血结扎以及无菌技术等内容[5],主要采取教师示教+学生练习的方式进行。在学生练习时,需要教师手把手地进行指导并实时纠错,才能及时强化学生的正确操作。由于带教师资不足以及水平参差不齐,学生的错误操作往往不能在第一时间被指出,影响教学效果。

1.3 教学评估体系不完善

由于《外科手术学基础》实践操作教学和考核过程多为带教教师个人完成,往往学生人数较多,教师无法仔细将每个人的操作细节逐个指导,缺乏即时的反馈,使得学生无法及时纠正错误并改进技术[6]。考核可能过于侧重于整体表现而忽视了具体操作的细节,比如手术器械的正确使用、切口的精准度、缝合技术的细腻性等容易造成对学生技能操作细节把控不足,从而导致评估结果的不公平。

2 人工智能技术在医学教育中的应用进展

随着互联网技术的深度渗透,人工智能(artificial intelligence, AI)、虚拟现实(virtual reality, VR)等前沿技术正成为推动医学教育信息化与临床应用智能化的核心引擎[7]。这些技术不仅重塑了医学知识的传递与实践技能的培养模式,更在疾病诊断、康复评估等临床环节实现了精准化、个性化的突破,为现代医学发展注入了全新活力。

人工智能驱动的个性化学习体系构建[8],传统医学理论教学常面临知识点分散、学生进度差异大等问题,人工智能技术通过整合多学科知识点的逻

辑框架与重难点，构建动态学习模型，实时追踪学生的学习行为与知识掌握程度，进而生成个性化学习路径。例如：IBM Watson等AI程序可基于学生的错题数据与学习时长，智能推送薄弱环节的强化资料[9]；增强型众包辅助平台（如Brainly）结合群体智慧与AI算法，为学生提供即时答疑与知识拓展；精准医学机器（如Hanover）则通过模拟临床病例分析，帮助学生将理论知识与实际病例深度结合，提升临床思维能力[10]。这种“数据驱动+个性化适配”的模式，打破了传统教学的同质化局限，使学习效率与知识留存率显著提升。

随着人工智能技术在临床评估与康复管理中的深度融合，除医学教育外，AI与动作捕捉技术在临床疾病诊断、康复评估等领域也展现出独特价值，推动诊疗流程向精准化、智能化转型。在婴幼儿生长发育与脑瘫风险预测方面，传统婴幼儿生长发育评估[如全身运动评估（general movements assessment，GMA）]依赖医生主观观察，易受经验、疲劳度等因素干扰，通过引入视频目标检测与动作捕捉技术，系统自动提取婴儿的运动姿势（如抬头角度、肢体协调性），生成量化数据；排除人为评估偏差后，将分析结果与传统GMA标准比对，辅助医生更精准地诊断运动发育异常，预测脑瘫等神经发育障碍风险[11]，为早期干预争取时间窗口。在成人神经系统疾病的运动障碍评估方面，针对帕金森病（Parkinson's disease，PD）等神经系统疾病[12]，通过捕捉患者的特征性运动（如静止性震颤频率、步态冻结时长），构建运动障碍量化模型，实现病情进展的动态监测与治疗效果评估。相比传统量表评分，该技术具有更高的敏感性与客观性，为个体化治疗方案调整提供了数据支持[13]。在提升康复训练的个性化管理与效率方面，脑卒中、骨折等患者的康复训练依赖对肢体活动完成度[14]的实时评估，自动分类识别患者的动作执行情况，生成康复效果量化报告；实时反馈给医生，减少人工记录与评估的工作量；同时基于数据优化个性化康复计划（如调整训练强度、增加针对性动作），实现康复过程的精细化管理。

人工智能在医学实践操作方面，医学实践技能（如手术操作）的培养依赖于对动作细节的精准把控与反复训练。将AI视频分析融入标准化技能训练中，通过利用高清摄像头录制手术操作全程，AI算法对动作细节进行逐帧标注与拆分[15]，形成可量化的动作单元，在数据模型中进行深度学习不断优化识别准确度，输出偏差分析报告实时反馈与迭代训练，学生根据分析结果针对性修正动作，实现“训练—反馈—优化”的闭环，大幅缩短技能掌握周期。这种模式不仅降低了对“手把手带教”的依赖，更通过客观数据消除了主观评价误差，使实践训练更高效、标准化。

3　目标检测与动作识别技术在外科教学中的融合应用

结合外科手术技能实践中打结、切开缝合、止血结扎以及无菌技术等教学场景，将目标检测和动作识别技术相结合。通过前期以教师操作为标准打结操作动作，对其手部轨迹动作、手术常规及精细器械构建模型为标准模型，再对学生操作视频数据进行预处理，运用识别计算函数带入到手术操作视频分析，分析包括目标检测、运动跟踪和图像分割等。再将分析好的数据带入算法模型进行反复自我训练得出相应的操作评价指标（图1）。

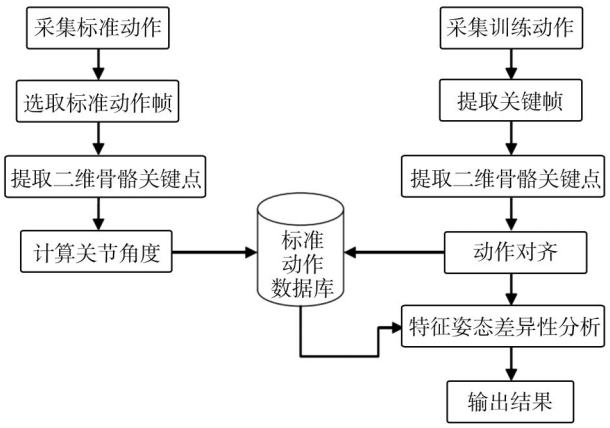


图1　总体流程图

3.1　数据采集与标准模型构建

在原始数据收集方面，手术打结教学视频是主要的数据来源，视频涵盖不同手术打结操作的详细过程，通过对视频进行标注，提取手术打结中关键操作的具体动作序列，为标准模型建立打下基础。

在标准模型建立时，以指导教师操作为标准打结操作动作，采集包括教师操作时间、动作准确性和流畅度等，这些标准数据采集是通过安装在手术器械上的传感器和摄像头实时获取。通过从不同角度、不同视角全面采集数据，构建比原始数据更完善、详细的过程数据库。收集到的标准操作视频经过预处理，使用语义分割技术将打结操作视频中

的各个组织和器械精确地分割出来。再通过识别计算函数来检测和标记操作中的重要步骤和关键部位，使用目标检测函数来识别组织边界，使用运动跟踪函数来跟踪手术器械的运动轨迹等。最后带入算法模型进行反复自我训练得出关于打结操作的标准模型。

3.2　算法模型的开发与优化

与传统的人体行为检测和肢体动作识别不同，要将目标检测和动作识别技术应用于手术打结技能操作的融合教学中，需要克服诸多因素的干扰，例如：视频光照、手部动作遮挡、手势以及手部动作轨迹、手术线过细、手术器械的精细化、镜头的多角度判定规则等。结合手术打结技能的实践实训场景，算法模型可分为2类：手势动作识别、物体识别。

手部动作识别模型在应用中起着重要的作用，需要对手部动作、运动轨迹进行跟踪识别，因此手势形态和背景的复杂多样性给手势识别过程增加了难度。为了降低特征提取的难度和提高识别准确率，在传统物体识别的基础上，设计一种改进卷积神经网络（convolutional neural network，CNN）和支持向量机（support vector machine，SVM）模型对手势进行识别[16]。此模型首先对手势图像分割处理和数据增强处理，通过对各个视频帧不同空间尺度进行密集采样，基于K-means[17]的手术打结操作关键帧抽取，将待评估的关键帧和标准操作关键帧基于DTW算法[18]对齐后通过2D骨骼关键点[19]提取进行特征姿态分析并得出结果。如图2动作识别模型。通过上述改进的CNN和SVM模型，能够有效提升手势识别的准确率和鲁棒性[20]。同时，在实际操作中，为了应对手术环境中的复杂性和多样性，该模型还需考虑更多的外部因素，如手术室环境光照变化、器械的反光，以及手部动作的细微变化等。因此，进一步结合深度学习技术中的自监督学习和迁移学习，可以使模型在少量标注数据的情况下，仍然能够保持高效的识别性能。

物体识别包括手术器械、操作台面、操作海绵等。物体识别模型通过对数据集中特定的特征进行识别，基于稠密光流轨迹与稀疏编码算法的行为识别方法[21-22]，将融合框架提取出的行为特征进行处理后，送入支持向量机中得到模型进行分类；利用显著性检测获取动作主体位置并提取稠密轨迹，采用SMOTE（synthetic minority over-sampling technique）方法去增强特征[23]，使用序列化的思想提取特征矢量，最终通过SVM训练并识别静态特征。如图3器械识别模型。

4　智能辅助教学系统的构建与应用

4.1　系统应用场景与核心功能

手术辅助教学系统（如图4辅助教学系统架构）通过融入动作识别模型和器械识别模型，借助计算机深度学习技术，实现了对学生操作动作的实时分析和反馈。具体而言，这些系统通过视频摄像头捕捉学生的手术操作过程，然后利用图像识别算法识别并评估打结的每一个步骤和手法，突破传统教学的空间限制。智能评估与实时反馈是系统核心功能之一，该系统基于多模态大模型技术，通过分析手术打结操作视频中的图像、动作、时间等信息，对切开、缝合、打结、剪线4大核心步骤进行精准评估，输出包含总体得分、分项合规性及改进建议的报告。

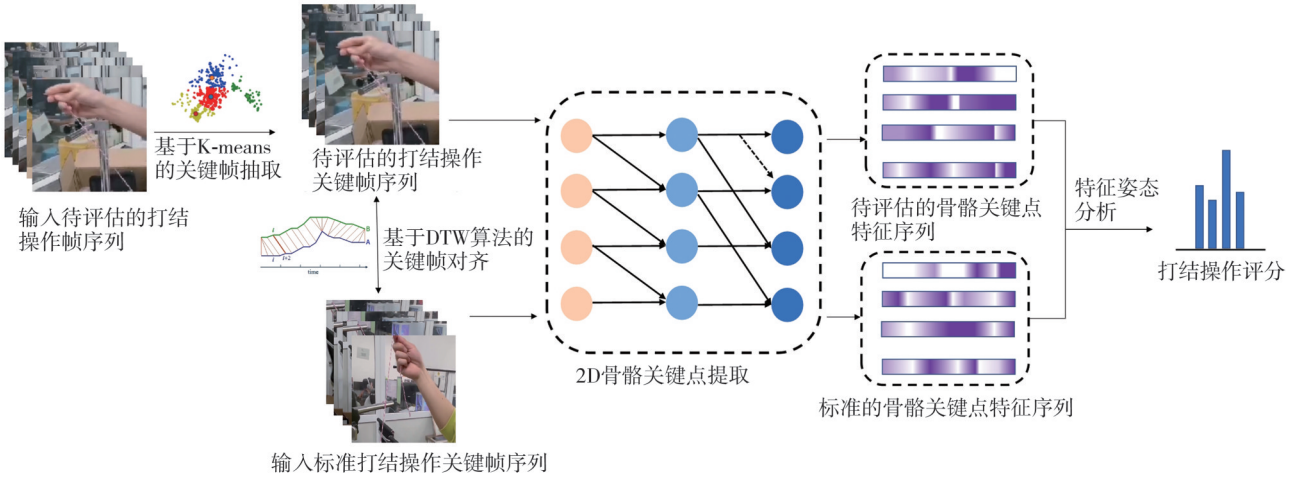


图2　动作识别模型

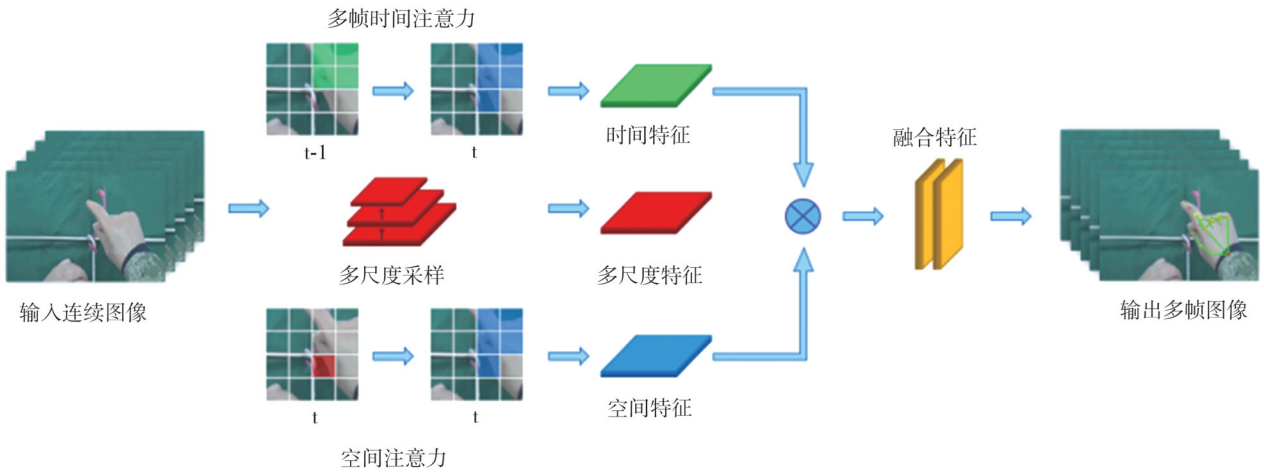


图3　器械识别模型

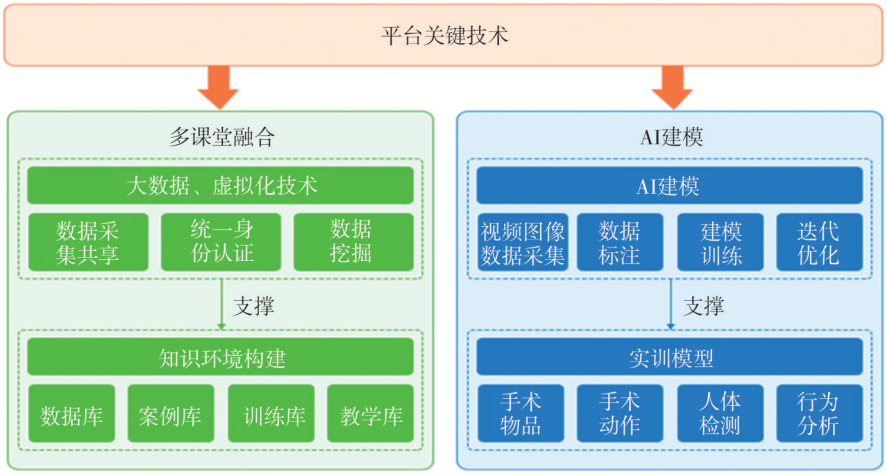


图4　手术辅助教学系统架构

4.2　教学效果评估与数据支撑

科学评价学生对知识的掌握情况，引导学生进行“自我反馈式学习”：通过系统可以将学生学习、练习及自我测验结合起来，并对学习结果进行实时反馈，系统能够检测学生在打结时的动作是否规范，是否存在错误操作，如打结的手势不合适、拉线方向错误等。

生成个性化的分析报告，帮助教师一体化管理：教师可以结合数据管理平台的评价结果对采集到的操作数据进行统计分析，通过分析手术打结时长可以反映学生对打结流程的熟练程度，判断他们对知识的掌握情况。通过分析易错点可以抓住知识的痛点、难点，重点分析重点解决，并且指导学生在实操中加强训练，以此更好地掌握外科手术的要领，提高手术操作技能。

结合有限的教学资源，扩大资源的有效利用率：系统不仅可以弥补教学资源的不足，而且与有限的教学资源相结合，可以扩大资源的有效利用率。教师手把手地进行指导时间有限，每名学生得到动手操作的机会相对较少，因此无法保证学生能够准确、熟练地掌握手术操作技能。打破了时间、空间的束缚，学生可以随时随地登录系统自主学习。

4.3　应用挑战与发展机遇

手术辅助系统在外科手术打结实践教学中的应用还需要解决系统集成和用户接受度的问题[24]。首先，系统集成涉及将人工智能技术无缝融入现有的教学环境和设备中。有效的集成不仅要求系统与传统教学工具兼容，还需确保操作的便捷性和稳定性。这可能需要与设备制造商和教育机构紧密合作，以开发标准化的接口和协议。其次，用户接受度是推动技术广泛应用的关键。教师和学生需要充分理解和信任系统的功能和效果[25]，这要求系统提供清晰的操作指南和培训支持。此外，逐步引入技术和用户反馈的收集也是必要的，以便不断优

化系统性能并解决实际使用中的问题。通过这些措施，人工智能技术可以更顺利地融入手术打结教学中，发挥其在提升教学质量和效率方面的潜力，最终帮助培养出更多具有高水平技能的外科医生。

5　总结与展望

通过模型对数据分析，实现对学生操作动作的实时分析和反馈，建立手术打结教学评估标准，更好地满足教学与实践结合需求、培养临床外科医生手术基本操作能力。研究者需要直面人工智能所带来的机遇和挑战，与传统的外科手术学基础传授知识相比，人工智能技术打破了时间、空间的壁垒，更加个性化的学习提高了学生学习的效率和质量。因此，医学教育工作者更应推动人工智能在外科手术学领域的研究和应用，促进深度医工融合。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　李由、冉志川：论文构思、撰写论文；王小寒、段然：总体把关、审订论文；周静、郭洪峰：学科背景场景支撑

参考文献

[1] Davis CR, Toll EC, Bates AS, et al. Surgical and procedural skills training at medical school—a national review [J]. Int J Surg, 2014, 12(8): 877-882. DOI: 10.1016/j.ijsu.2014.05.069.

[2] Fergusson SJ, Sedgwick DM, Ntakiyiruta G, et al. The basic surgical skills course in sub-Saharan Africa: an observational study of effectiveness [J]. World J Surg, 2018, 42(4): 930-936. DOI: 10.1007/s00268-017-4274-2.

[3] Gonzalez-Navarro AR, Quiroga-Garza A, Acosta-Luna AS, et al. Comparison of suturing models: the effect on perception of basic surgical skills [J]. BMC Med Educ, 2021, 21(1): 250. DOI: 10.1186/s12909-021-02692-x.

[4] Emmanuel T, Nicolaides M, Theodoulou I, et al. Suturing skills for medical students: a systematic review [J]. In Vivo, 2021, 35(1): 1-12. DOI: 10.21873/invivo.12226.

[5] 朱磊，闫敏，孙璟川，等. 评价与反馈法在提高《外科手术学基础》课程授课效果中的探究[J]. 中华医学教育探索杂志，2020，19（12）：1422-1426. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20191206-00336.

[6] 王浩然，乔鹏飞，姚磊. Kolb 经验学习理论在《外科手术学基础》课程教学中的应用研究[J]. 中华医学教育探索杂志，2025, 24(9)：1223-1229. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20241008-02112.

[7] 盛丽芳，岳健. 推进继续医学教育信息化建设的思考[J]. 继续医学教育，2011，25(8)：8-10.

[8] 何茂章，王姝妹，丁瑞培，等. 基于新医科与 AI 技术融合的医学教学模式探讨[J]. 湘南学院学报（医学版），2024，26(3)：63-66. DOI: 10.16500/j.cnki.1673-498x.2024.03.015.

[9] 陈凯泉，吴玥玥，刘璐. 人工智能赋能“4C 能力”培养的路径分析与实践探索：以 IBM Watson 系统为例[J]. 中国教育信息化，2019，25(21)：54-59. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8454.2019.11.014.

[10] 卫荣，马锋，侯梦薇，等. 人工智能在医学教育领域的应用研究[J]. 医学教育研究与实践，2017，25(6)：835-838. DOI: 10.13555/j.cnki.c.m.e.2017.06.005.

[11] Prechtl HF. General movement assessment as a method of developmental neurology: new paradigms and their consequences. The 1999 Ronnie MacKeith lecture [J]. Dev Med Child Neurol, 2001, 43(12): 836-842. DOI: 10.1017/s0012162201001529.

[12] Poewe W, Seppi K, Tanner CM, et al. Parkinson disease [J]. Nat Rev Dis Primers, 2017, 3: 17013. DOI: 10.1038/nrdp.2017.13.

[13] Lam WWT, Tang YM, Fong KNK. A systematic review of the applications of markerless motion capture (MMC) technology for clinical measurement in rehabilitation [J]. J Neuroeng Rehabil, 2023, 20(1): 57. DOI: 10.1186/s12984-023-01186-9.

[14] Alarcón-Aldana AC, Callejas-Cuervo M, Bo APL. Upper limb physical rehabilitation using serious videogames and motion capture systems: a systematic review [J]. Sensors (Basel), 2020, 20(21): 5989. DOI: 10.3390/s20215989.

[15] 黄新瑞，黄河颂，黄渝川，等. 基于视频的动作智能识别在医学中的应用[J]. 中国医学物理学杂志，2024，41(1)：1-7. DOI: 10.3969/j.issn.1005-202X.2024.01.001.

[16] Karpathy A, Toderici G, Shetty S, et al. Large-scale video classification with convolutional neural networks [C]//2014 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, June 23-28, 2014, Columbus, OH, USA. IEEE, 2014: 1725-1732.

[17] 陈迪，陈云虹，叶青，等. 融合 k-means 与多维特征分析的生物医学图像分类算法[J]. 信息技术，2024，48(7)：65-70. DOI: 10.13274/j.cnki.hdzj.2024.07.011.

[18] 魏秋月，刘雨帆. 基于 Kinect 和改进 DTW 算法的动态手势识别[J]. 传感器与微系统，2021，40(11)：127-130. DOI: 10.13873/J.1000-9787(2021)11-0127-04.

[19] 钟学斌，翁立壮. 基于运动检测的人体骨骼关键点检测算法[J]. 工业控制计算机，2022，35(6)：62-63.

[20] Laptev I. On space-time interest points [J]. Int J Comput Vis, 2005, 64(2): 107-123. DOI: 10.1007/s11263-005-1838-7.

[21] Olshausen BA, Field DJ. Emergence of simple-cell receptive field properties by learning a sparse code for natural images [J]. Nature, 1996, 381(6583): 607-609. DOI: 10.1038/381607a0.

[22] Olshausen BA, Field DJ. Sparse coding with an overcomplete basis set: a strategy employed by V1? [J]. Vision Res, 1997, 37(23): 3311-3325. DOI: 10.1016/s0042-6989(97)00169-7.

[23] Chawla NV, Bowyer KW, Hall LO, et al. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique [J]. Jair, 2002, 16: 321-357. DOI: 10.1613/jair.953.

[24] 吴晓丽，海杰，马秀珍，等. 人工智能辅助手术系统对医院外科手术的影响与应用研究[J]. 中国数字医学，2018，13(10)：20-22. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7571.2018.10.007.

[25] 江哲涵，奉世聪，王维民. 人工智能生成内容在医学教育中的应用、挑战与展望[J]. 中国教育信息化，2024，30(8)：29-40. DOI: 10.3969/j.issn.1673-8454.2024.08.003.

（收稿日期：2024-09-22）

（本文编辑：唐宗顺）