·数智医学教育·

人工智能辅助洗手机器人在医学生外科洗手教学中的应用效果

刘华跃[1]　颜子涵[2]　付冲[1]　胡筱轩[1]　邓阳[3]　刘璐[2]　周金懿[3]
[1]苏州大学附属第一医院麻醉科，苏州 215006；[2]苏州大学苏州医学院，苏州 215000；[3]苏州大学附属第一医院临床教学办公室，苏州 215006
通信作者：周金懿，Email：zhoujinyi@suda.edu.cn

【摘要】 目的　探讨人工智能（artificial intelligence，AI）辅助洗手机器人用于医学生外科洗手教学的效果。**方法**　2025 年 3 月至 8 月，在苏州大学附属第一医院开展了一项随机对照试验。该试验纳入 120 名医学生，按照学生类别分层后，将其随机分为试验组（采用 AI 辅助教学）和对照组（采用传统带教），每组各 60 名。分别于培训当日和 1 个月后对 2 组学生进行考核，由 AI 系统和 1 名未参与教学的临床教师分别采用盲法进行评分。采用 SPSS 26.0 软件进行分析，组间比较采用独立样本 t 检验，技能保持情况采用重复测量方差分析，一致性评价采用组内相关系数（intraclass correlation coefficient，ICC）、配对 t 检验和 Bland-Altman 法。**结果**　2 组基线资料具有可比性（P>0.05）。在首次考核中，试验组得分高于对照组（AI 评分：90.12 ± 3.03 分 vs. 81.21 ± 6.47 分；教师评分：89.90 ± 4.95 分 vs. 81.03 ± 7.53 分，均 P<0.001）；1 个月后进行复测，试验组仍保持较高水平（均 P<0.001）。重复测量方差分析显示，组别主效应具有统计学意义（P<0.001），交互效应无统计学意义（P>0.05）。AI 评分与教师评分的一致性良好，ICC 均为 0.94（95% 置信区间：0.92~0.96），配对 t 检验显示差异无统计学意义（P>0.05）。**结论**　AI 辅助洗手机器人有助于提高医学生外科洗手技能的学习效果，其评分结果与带教教师评分一致性较好，可作为传统带教的补充手段。

【关键词】 人工智能；　医学教育；　外科洗手；　临床技能培训；　随机对照试验
【中图分类号】 R-0；R-4；R6
基金项目：苏州大学大学生创新创业训练计划项目（2024C033）；中国医药教育协会 SP 实践教学应用研究项目（T-2025012）；苏州大学附属第一医院院级课题（ZPKT20250101）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20250513-02236

Application effectiveness of an artificial intelligence-assisted handwashing robot in surgical hand antisepsis training for medical students

Liu Huayue[1], Yan Zihan[2], Fu Chong[1], Hu Xiaoxuan[1], Deng Yang[3], Liu Lu[2], Zhou Jinyi[3]
[1]Department of Anesthesiology, The First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215006, China; [2]Suzhou Medical College of Soochow University, Suzhou 215000, China; [3]Clinical Training Office, The First Affiliated Hospital of Soochow University, Suzhou 215006, China
Corresponding author: Zhou Jinyi, Email: zhoujinyi@suda.edu.cn

【Abstract】 Objective　To evaluate the effectiveness of an artificial intelligence (AI) -assisted handwashing robot in teaching surgical hand antisepsis to medical students. **Methods**　A randomized controlled trial was conducted at The First Affiliated Hospital of Soochow University from March to August 2025. A total of 120 medical students were enrolled, stratified by student category, and randomly assigned to either an experimental group (AI-assisted teaching, n=60) or a control group (conventional instructor-led teaching, n=60). Assessments were performed on the day of training and one month later. Both an AI system and a clinical instructor who was blinded to group allocation and not involved in the teaching independently scored the students. Data were analyzed using SPSS 26.0 software. Intergroup comparisons were performed

using the independent samples *t*-test. Skill retention was analyzed using repeated measures analysis of variance. Agreement between raters was assessed using the intraclass correlation coefficient, paired *t*-test, and Bland-Altman analysis. **Results** Baseline characteristics were comparable between the two groups ($P>0.05$). In the first assessment, the experimental group scored higher than the control group (AI scores: 90.12 ± 3.03 vs. 81.21 ± 6.47; instructor scores: 89.90 ± 4.95 vs. 81.03 ± 7.53; both $P<0.001$). This superior performance was maintained at the one-month follow-up assessment (both $P<0.001$). Repeated measures analysis of variance revealed a statistically significant main effect for group ($P<0.001$), but insignificant interaction effect ($P>0.05$). Agreement between AI and instructor scores was excellent, with an intraclass correlation coefficient of 0.94 (95% confidence interval: 0.92-0.96). The paired *t*-test showed no statistically significant difference between the two scoring methods ($P>0.05$). **Conclusions** The AI-assisted handwashing robot can enhance the learning effectiveness of medical students for surgical hand antisepsis skills. Its scoring demonstrated good agreement with instructor evaluations, suggesting that it can serve as a supplementary tool to traditional instructor-led teaching.

【**Key words**】 Artificial intelligence; Medical education; Surgical hand antisepsis; Clinical skill training; Randomized controlled trial

Fund program: The Undergraduate Innovation and Entrepreneurship Training Program of Soochow University (2024C033); The SP Practice Teaching Application Research Project of the Chinese Medicine Education Association (T-2025012); The Hospital-level Research Project of The First Affiliated Hospital of Soochow University (ZPKT20250101)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20250513-02236

外科洗手作为围手术期感染控制的关键环节，规范的外科洗手可使手部细菌载量降低2~5个对数单位，是预防医疗相关感染的基础性措施[1]。外科洗手的教学质量直接影响医学生无菌观念的建立和手术部位感染（surgical site infection，SSI）的防控能力。然而，传统外科洗手教学主要依赖临床带教教师的现场示范与经验传授[2]。该模式存在教学标准化程度不高、评价主观性强、个性化指导不足等局限，难以适应现代医学教育对标准化和精准化的要求[2]。近年来，人工智能（artificial intelligence，AI）技术为临床技能教学提供了新思路。研究表明，AI辅助教学系统能够提供标准化操作指导、实时动作监测、客观技能评估和个性化学习反馈，有望弥补传统教学的不足，提升教学效率与质量[3-5]。基于此，本研究团队采用符合WS/T 313—2019《医务人员手卫生规范》的AI辅助洗手机器人教学系统。通过应用该系统进行临床教学，旨在解决传统外科洗手教学中存在的以下问题：①教学标准不统一，不同教师的示范存在差异；②评价依赖人工，容易受主观因素影响；③反馈不够及时，难以及时纠正错误动作；④难以实现个性化学习与重复训练。本系统整合了计算机视觉、语音引导、实时监测与智能评估等功能，为外科洗手教学提供从教学演示、练习辅助到考核评价的全流程支持，是一种可复制、可量化、可反馈的智能化解决方案。本研究通过随机对照试验，比较该AI辅助教学系统与传统教学的效果差异，并系统验证AI评分系统的信度与效度，以期为AI在医学技能教学中的科学应用提供实证依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

1.1.1 纳入和排除标准

2025年3月至8月选取苏州大学苏州医学院的120名医学生作为研究对象，其中包括2024级临床医学专业（5+3一体化培养）本科生60名、临床医学见习生40名及见习护士20名。纳入标准：①既往未接受过正规的外科洗手培训；②自愿参与研究并签署知情同意书。排除标准：①既往参加过手卫生相关培训课程；②因身体原因无法完成洗手动作；③研究期间请假或退学。

1.1.2 样本量计算和随机方法

本研究为2组平行设计的随机对照试验，主要结局指标为外科洗手技能考核成绩。根据预试验结果及相关文献报道，预计试验组考核成绩均数为88分，对照组为80分，合并标准差约为8分，即预期

效应量 d=1.0。采用两独立样本 t 检验的样本量计算公式，设定双侧检验水准 α=0.05，检验效能 1−β=0.90，2 组样本量比例为 1∶1，经 PASS 15.0 软件计算，每组至少需 46 例。考虑约 20% 的脱落率，每组需纳入 58 例，取整后确定每组为 60 例，共计 120 例。采用分层区组随机化方法，按照学生类别（2024 级临床医学专业本科生、临床医学见习生、见习护士）进行分层，在每层内采用随机数字表法按 1∶1 的比例进行分配，随机区组大小设定为 2 和 4。随机序列由未参与本研究的统计学人员生成，并保存于密封的不透明信封中，按入组顺序依次拆封进行分配。最终将受试者分为试验组和对照组，每组 60 人，2 组各类别学生人数完全均衡（2024 级本科生各 30 名、临床见习生各 20 名、见习护士各 10 名）。

1.2　研究方法

1.2.1　试验分组与教学方法简介

本研究采用爱医斯坦公司（苏州）和苏州大学联合研发的国内首套 AI 辅助洗手机器人系统开展研究，见图 1。该系统基于计算机视觉算法技术，严格按照 WS/T 313—2019 标准设计，具备以下功能。①标准化教学引导：系统通过语音和视频演示标准六步洗手法；②实时动作监测：利用摄像头和图像识别技术监测学生洗手动作；③即时反馈纠正：对不规范动作立即给出语音和视觉提示；④客观量化评分：根据动作完成度、手部覆盖率、操作用时等参数自动评分（0~100 分）。

为确保 2 组教学条件具有可比性，教学方案设计如下。①教学人员：2 组均由同 1 名具有 5 年临床经验的麻醉科主治医师担任主讲教师；②教学内容：均按照 WS/T 313—2019 标准中的六步洗手法进行；③教学时间：每人 60 min（其中理论 15 min、实操 30 min、考核准备 15 min）；④练习次数：均完成 3 次完整练习；⑤反馈频次：试验组采用 AI 实时反馈，对照组由教师给予同等频次的口头反馈（4~6 次/人·次）。2 组的唯一差异在于：试验组使用 AI 系统进行实时监测和反馈，对照组由教师进行人工观察和反馈。

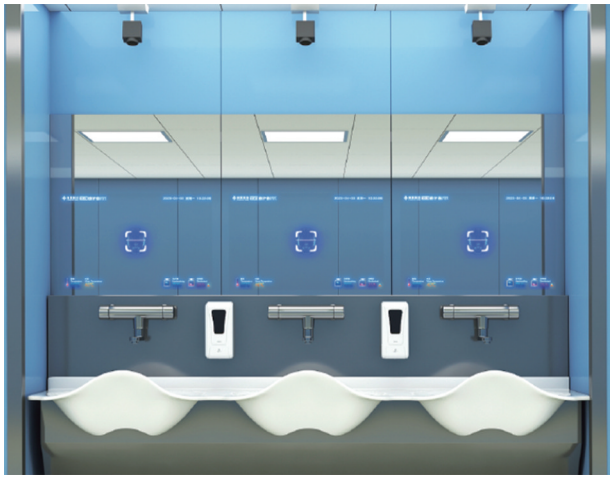


图 1　AI 辅助洗手机器人系统概览图

1.2.1.1　试验组教学方案

试验组采用 AI 辅助洗手机器人系统开展教学，教师并未被取代，而是角色转变为引导者、监督者和辅导者，具体流程如下。①课前导入：教师简要介绍洗手的重要性、AI 系统的使用方法及学习目标；②AI 引导练习：学生依据系统语音和视频指导进行洗手操作，系统实时监测并反馈；③教师巡视指导：在学生练习期间，教师巡回观察，针对系统未覆盖的细节或学生的个性化问题进行补充讲解并手把手纠正；④集中答疑与总结：练习结束后，教师集中解答共性问题，强化关键步骤和无菌观念；⑤模拟考核与反馈：学生进行模拟考核，系统即时生成评分报告，教师结合报告进行针对性讲评。AI 教学步骤见图 2。该模式既发挥了 AI 系统标准化、实时反馈的优势，又保留了教师的人文关怀、经验传递和灵活指导，实现了“机辅人教、人机互补”。



A. step1教学引导　B. step2监测识别　C. step3智能管控

图 2　AI 辅助洗手机器人教学步骤

1.2.1.2　对照组教学方案

对照组采用传统教师示范教学模式：由与试验组同一名主讲教师按 WS/T 313—2019 标准进行示范讲解，学生跟随练习，教师进行个别指导和纠正。教学时长、练习次数和反馈频次均与试验组一致。

1.2.2　考核评估

所有学生均在培训结束当日及 1 个月后接受技能考核。为保证评估的客观性和一致性，2 次考核均采用 AI 辅助洗手机器人系统和 1 位未参与本次培训教学的临床教师进行评分，评分范围 0~100 分。考核内容包括：洗手步骤完整性、手部各部位覆盖率、操作规范性、总用时等。

1.3　统计学方法

采用 SPSS 26.0 统计软件进行数据分析。计量资料经 Shapiro-Wilk 检验证实符合正态分布后，以均数 ± 标准差表示；计数资料以频数和百分比表示。组间比较：2 组学生的基线资料和考核成绩比较采用独立样本 t 检验；性别构成比较采用卡方检验。技能保持率分析：采用重复测量方差分析，将考核时间（首次、第 2 次）设为组内因素，教学方法（试验组、对照组）设为组间因素，分析组别主效应、时间主效应及时间 × 组别交互效应，并计算偏 η^2（ηp^2）作为效应量指标。评分一致性分析：采用多种统计方法进行全面评估。①配对 t 检验：比较 AI 评分与临床教师评分之间的差异，评估 2 种评分方法是否存在系统性偏差。②组内相关系数（intraclass correlation coefficient，ICC）分析：采用双向混合效应模型，计算绝对一致性的单一测量 ICC 值及其 95% 置信区间（95%*CI*）。其中，ICC<0.50 表示一致性差，0.50≤ICC<0.75 表示一致性中等，0.75≤ICC<0.90 表示一致性良好，ICC≥0.90 表示一致性极好；③Bland-Altman 分析：绘制 Bland-Altman 图，计算 2 种评分方法的平均差值（mean difference）及 95% 一致性界限（limits of agreement，LoA），即平均差值 ± 1.96 × 标准差，以此评估评分差异的分布情况和一致性程度。所有统计检验均采用双侧检验，检验水准 α=0.05。

2　结果

2.1　一般资料比较

本研究最终纳入 120 名学生完成全部研究流程。试验组 60 人，男 28 人、女 32 人，年龄（21.20 ± 1.30）岁；对照组 60 人，男 34 人、女 26 人，年龄（21.05 ± 1.47）岁。2 组学生在性别构成、年龄分布和学生类别方面差异无统计学意义（P>0.05）（表 1）。

表 1　2 组学生一般资料（n=60）

项目	试验组	对照组	χ^2/t 值	P 值
性别（男/女）	28/32	34/26	0.83	0.361
年龄（岁，$\bar{x} \pm s$）	21.20 ± 1.30	21.05 ± 1.47	0.59	0.554
学生类别[例（%）]				1.000
2024 级本科生	30（50.00）	30（50.00）		
临床见习生	20（33.33）	20（33.33）		
见习护士	10（16.67）	10（16.67）		

2.2　技能考核成绩比较

2.2.1　首次考核结果

培训结束当日，AI 评分试验组考核评分显著高于对照组（90.12 ± 3.03 vs. 81.21 ± 6.47，t=9.66，P<0.001）；临床教师评分中，试验组考核评分也显著高于对照组（89.90 ± 4.95 vs. 81.03 ± 7.53，t=7.63，P<0.001），差异均具有统计学意义（表 2）。

2.2.2　第 2 次考核结果

间隔 1 个月后复测，AI 评分试验组评分仍显著高于对照组（85.86 ± 5.29 vs. 75.76 ± 7.59，t=8.46，P<0.001），临床教师考核评分试验组显著高于对照组（86.13 ± 5.65 vs. 75.63 ± 7.51，t=8.65，P<0.001），差异具有统计学意义（表 2）。

2.2.3　技能保持效果

采用重复测量方差分析对 2 组的技能保持效果进行比较，结果如下。①AI 评分：组别主效应 F=

表 2　2 组学生外科洗手技能考核成绩比较（n=60，分，$\bar{x} \pm s$）

考核时间	试验组	对照组	t 值	P 值
AI 评分				
首次考核	90.12 ± 3.03	81.21 ± 6.47	9.66	<0.001
第 2 次考核（1 个月后）	85.86 ± 5.29	75.76 ± 7.59	8.46	<0.001
临床教师评分				
首次考核	89.90 ± 4.95	81.03 ± 7.53	7.63	<0.001
第 2 次考核（1 个月后）	86.13 ± 5.65	75.63 ± 7.51	8.65	<0.001

165.19，P<0.001，ηp^2=0.583；时间主效应 F=39.87，P<0.001，ηp^2=0.253；交互效应 F=0.61，P=0.438，ηp^2=0.005。②教师评分：组别主效应 F=141.19，P<0.001，ηp^2=0.545；时间主效应 F=28.07，P<0.001，ηp^2=0.192；交互效应 F=0.87，P=0.354，ηp^2=0.007。结果表明，2组技能下降趋势相似，但试验组始终在评分上具有优势（表3）。

表3　技能保持效果的重复测量方差分析结果

效应来源	F值	P值	ηp^2值
AI评分			
组别主效应	165.19	<0.001	0.583
时间主效应	39.87	<0.001	0.253
时间×组别交互	0.61	0.438	0.005
临床教师评分			
组别主效应	141.19	<0.001	0.545
时间主效应	28.07	<0.001	0.192
时间×组别交互	0.87	0.354	0.007

2.3　AI评分与临床教师评分的一致性分析

为评估AI评分系统的可靠性，本研究进一步对AI评分与临床教师评分进行了一致性分析。

2.3.1　配对样本比较

对全部120名学生进行配对 t 检验。①首次考核：AI评分85.66±6.73分，教师评分85.46±7.76分，配对差值0.20±2.42分，t=0.91，P=0.367，95%CI：−0.23~0.63；②第2次考核：AI评分80.81±8.26分，教师评分80.88±8.46分，配对差值−0.07±2.87分，t=−0.28，P=0.783，95%CI：−0.59~0.44。表明2种评分方法无系统性偏差（表4）。

2.3.2　ICC分析

首次考核ICC=0.95（95%CI=0.92~0.96），第2次考核ICC=0.94（95%CI=0.92~0.96），2次考核的ICC值均达到极好一致性标准（ICC>0.90）（图3）。

2.3.3　Bland-Altman分析

为进一步评估2种方法的一致性程度，采用Bland-Altman图分析评分差异的分布情况。首次考核结果显示，平均差值为0.20分（AI评分略高于临床教师评分），95%一致性界限为−4.54~4.94分；第2次考核的平均差值为−0.07分，95%一致性界限为−5.70~5.55分。绝大多数评分差值均落在95%一致性界限内（图4）。

表4　AI评分与临床教师评分的配对 t 检验结果（n=120，分，$\bar{x}\pm s$）

考核时间	AI评分	教师评分	配对差值	t值	P值	95%CI
首次考核	85.66±6.73	85.46±7.76	0.20±2.42	0.91	0.367	−0.23~0.63
第2次考核	80.81±8.26	80.88±8.46	−0.07±2.87	−0.28	0.783	−0.59~0.44

注：配对差值=AI评分−教师评分。

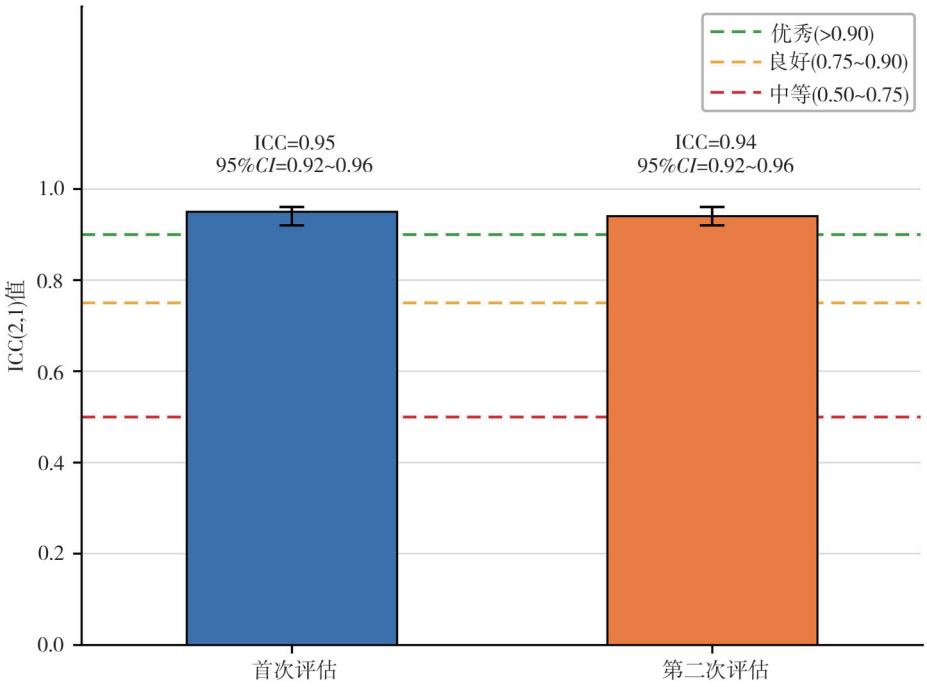
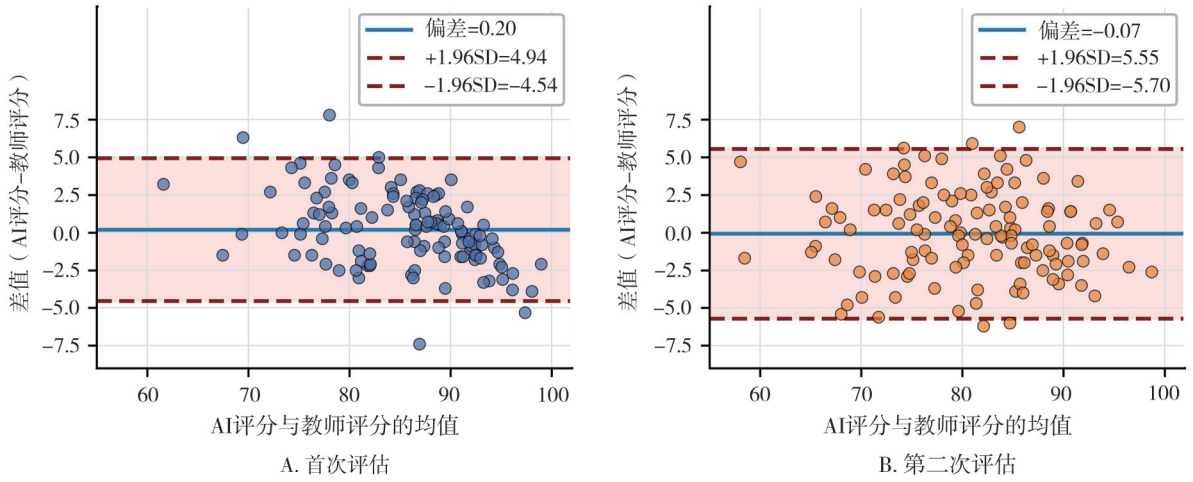


图3　AI评分与临床教师评分的ICC组内相关系数分析



A. 首次评估　　B. 第二次评估

图4　AI评分与临床教师评分的Bland-Altman一致性分析

3　讨论

3.1　AI辅助教学优化了教学结构与师生角色

本研究结果显示，试验组在2次考核中的成绩均显著高于对照组（$P<0.001$），且优势在1个月后随访中持续保持。这与既往模拟教学研究结果一致[6-8]。在传统模式中，教师承担全部演示、监督与评价工作，负担重且难以覆盖每位学生[9]。AI系统承担了标准化演示、实时监测与初步反馈等重复性工作，使教师得以从烦琐的重复指导中解放出来，更多专注于个性化辅导、错误根源分析及无菌观念灌输等高阶教学任务。学生也从被动观摩转变为在即时反馈下的主动练习者，学习积极性与自我纠正能力得到提升。这种人机协同模式重构了“教”与“学”的流程，实现了资源的最优配置[10]。

3.2　AI辅助教学有助于促进学生技能长期保持

试验组在1个月后的技能保持率虽与对照组相近（均>93%），但试验组在绝对评分水平上始终保持显著优势，说明AI辅助教学帮助学生在学习初期建立了更正确的动作模式。AI辅助教学系统的实时反馈，使学生能在每一次练习中即时调整，减少错误重复，形成正确的肌肉记忆。此外，AI提供的量化评分与详细错误报告，帮助学生清晰了解自身薄弱环节，实现针对性强化练习，这是传统教学中难以实现的精细化管理。这种基于数据的刻意练习，有效促进了技能从认知阶段向自动化阶段的转化，从而在长期保持中表现出更稳定的操作水平。

3.3　AI评分系统为教学评价提供客观可信的工具

本研究通过多种统计方法一致证实，AI评分与教师评分无显著差异且相关性极强：配对t检验显示2种评分方法差异无统计学意义（$P>0.05$）；Pearson相关分析显示极强正相关（$r>0.94$）；ICC分析达到极好一致性标准（ICC=0.94）；Bland-Altman分析显示95%以上数据点落在一致性界限内。上述结果一致表明AI系统能够可靠地替代人工完成技能考核中的客观评分部分，尤其适用于步骤标准化程度高的操作，如外科洗手。引入AI评分可减少评分者间变异，提高考核的公平性与可重复性，也为大规模技能评估提供了高效解决方案。教师则可在此基础上，结合AI报告进行更具深度的质性评价，形成“定量+定性”的综合评估体系[11-12]。

3.4　AI辅助洗手机器人的缺点

虽然AI辅助机器人在教学效果上优于临床教师，且AI评分系统与临床教师评分有较高的一致性，但AI辅助洗手机器人具有一定的缺点：①当前AI系统在光线不足、手部遮挡等情况下可能误判；②AI评分系统对边界动作的判定有时与人工存在分歧；③AI系统仅能评估动作规范性，无法评估无菌观念理解深度；④过度依赖AI可能削弱学生自我监控能力，且AI标准化评价可能忽视个体差异；⑤人机互动缺乏情感支持维度；⑥硬件和维护成本较高。因此，AI应定位为教师的助手而非替代者。

3.5　研究局限与展望

本研究存在以下局限：①本研究纳入3类处于不同培养阶段的医学生，虽采用分层随机抽样以确

保样本均衡，但样本异质性仍可能影响结果。见习生和护士相较于本科生，临床暴露经验更丰富，对外科洗手重要性的认知可能更深刻。未来研究可考虑仅纳入特定培养阶段的学生，以减少异质性影响。②本研究为单中心设计，结果的普适性需通过多中心研究来验证。③随访时间仅1个月，而医学生从接受培训到能够独立进入手术室可能需数月甚至数年，在此期间技能可能进一步衰减。既往研究表明，技能培训效果可能在3~6个月后显著下降，组间差异能否在更长时间内持续保持尚不得而知。④本研究中AI教学仅涉及外科洗手这一基本技能，其对复杂技能的适用性需进一步探索。⑤本研究未进行成本效益分析和学生满意度评估。国内已有类似AI辅助手卫生培训的应用研究[13]，未来研究可延长随访时间至6个月以上，将AI辅助教学拓展至更多临床技能领域，并探索其与虚拟现实（virtual reality，VR）、增强现实（augmented reality，AR）等技术的融合应用[14-15]。

4　结语

AI辅助洗手机器人教学系统能够显著提升医学生外科洗手技能的学习效果与长期保持水平，其评分系统与教师评分高度一致。该系统通过人机协同优化了教学流程，实现了标准化教学与个性化指导的结合，为医学临床技能教学的数字化转型提供了可行路径。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　刘华跃：项目设计、撰写论文；颜子涵、付冲、胡筱轩：项目实施；邓阳、刘璐：方案优化、统计分析；周金懿：项目指导、凝练主要观点

参考文献

[1] Lotfinejad N, Peters A, Tartari E, et al. Hand hygiene in health care: 20 years of ongoing advances and perspectives [J]. Lancet Infect Dis, 2021, 21(8): e209-e221. DOI: 10.1016/S1473-3099(21)00383-2.

[2] 王茹，王海慧，孙世仁，等. 虚实共生：虚拟现实赋能医学教育智能化转型[J]. 中国医学教育技术，2025，39(5)：607-612. DOI: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202505010.

[3] Nagi F, Salih R, Alzubaidi M, et al. Applications of artificial intelligence (AI) in medical education: a scoping review [J]. Stud Health Technol Inform, 2023, 305: 648-651. DOI: 10.3233/SHTI230581.

[4] 白洁，高天昱，顾耀祖，等. 人工智能和虚拟现实技术在麻醉学教学中的实践与前景：个性化学习路径的综述研究[J]. 中国医学教育技术，2025，39(3)：322-327. DOI: 10.13566/j.cnki.cmet.cn61-1317/g4.202503006.

[5] 袁靳闲，李金政. 人工智能应用于医学教育的现状、挑战与前景[J]. 中华医学教育探索杂志，2025，24(6)：777-783. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240711-02049.

[6] Elendu C, Amaechi DC, Okatta AU, et al. The impact of simulation-based training in medical education: a review [J]. Medicine, 2024, 103(27): e38813. DOI: 10.1097/MD.0000000000038813.

[7] Saleem M, Khan Z. Healthcare Simulation: an effective way of learning in health care [J]. Pak J Med Sci, 2023, 39(4): 1185-1190. DOI: 10.12669/pjms.39.4.7145.

[8] Tay GWN, Tong MM, Yap J, et al. Virtual reality for experiential learning: enhancing agitation management skills, confidence, and empathy in healthcare students [J]. Med Educ Online, 2025, 30(1): 2542809. DOI: 10.1080/10872981.2025.2542809.

[9] 张俊，刘佳怿，梁志鹏. 客观结构化放射学考试在医学影像技术专业实习临床技能考核中的应用[J]. 中华医学教育探索杂志，2023，22(5)：694-698. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20210322-01275.

[10] Gordon M, Daniel M, Ajiboye A, et al. A scoping review of artificial intelligence in medical education: BEME Guide No. 84 [J]. Med Teach, 2024, 46(4): 446-470. DOI: 10.1080/0142159X.2024.2314198.

[11] Tolentino R, Baradaran A, Gore G, et al. Curriculum frameworks and educational programs in AI for medical students, residents, and practicing physicians: scoping review [J]. JMIR Med Educ, 2024, 10: e54793. DOI: 10.2196/54793.

[12] 王雪莹，董洋，解莹. 基于CDIO强化教学模式在临床技能教学中的应用[J]. 中国继续医学教育，2023，15(21)：96-100. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9308.2023.21.021.

[13] 王静，刘丽丽，张顺希，等. 基于人工智能手卫生系统对医院后勤人员手卫生培训及其效果[J]. 中华医院感染学杂志，2025，35(13)：2030-2033. DOI: 10.11816/cn.ni.2025-248671.

[14] Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence [J]. Nat Med, 2019, 25(1): 44-56. DOI: 10.1038/s41591-018-0300-7.

[15] 岳家贤，商庆尧，刘佳祥，等. 虚拟现实和增强现实技术在医学教育中的应用[J]. 中国医学装备，2025，22(7)：172-176. DOI: 10.3969/j.issn.1672-8270.2025.07.032.

（收稿日期：2025-05-13）

（本文编辑：邬小梅）