·数智医学教育·

人工智能赋能神经系统体格检查教学的探索与效果研究

支楠[1]　姚小英[1]　郦忆[2]　潘元美[1]　王刚[1]

[1]上海交通大学医学院附属仁济医院神经内科，上海 200127；[2]上海交通大学医学院上海-渥太华联合医学院，上海 200127

通信作者：王刚，Email：wanggang@renji.com

【摘要】 目的　本研究构建了一种人工智能（artificial intelligence，AI）赋能的神经系统体格检查教学新模式，并在临床医学本科生教学中对其应用效果进行了评价。**方法**　选择上海交通大学上海渥太华联合医学院2021级32名临床医学本科生为对照组，2022级35名临床医学本科生为试验组。对照组采用翻转课堂联合案例教学法（case-based learning，CBL），试验组采用包含AI辅助备课系统、人字形查体小程序、AI模拟考官的AI赋能新型教学模式。课程结束后，采用理论知识考核、客观结构化临床考试（objective structured clinical examination，OSCE）、教师多维观察评价、学生满意度问卷调查等方法对教学效果进行综合评价。研究数据采用SPSS 27.0软件进行统计分析。计量资料以均数±标准差表示，组间比较采用独立样本t检验。检验水准α=0.05。**结果**　试验组理论知识考核成绩（88.43±9.67 vs. 80.31±9.67，P=0.001）和OSCE实操成绩（91.33±2.21 vs. 84.51±6.42，P<0.001）均高于对照组。教师评价显示，试验组在整体表现、专业素养、临床思维、人文关怀4个方面的评分均高于对照组（均P<0.01）。在学生满意度方面，试验组在激发学习兴趣、提高自学能力、加深知识理解等9个方面的评分也均高于对照组（P<0.01）。**结论**　AI赋能的新型教学模式可以有效提升医学生在神经系统体格检查学习中的理论掌握程度、操作规范性及临床思维能力，且学生接受度高、满意度高，为医学技能教学提供了一种具有一定推广前景的创新范式。

【关键词】 人工智能；　神经系统体格检查；　医学教育；　教学模式创新

【中图分类号】 R-0；R-4；R741.049

基金项目：2022年度上海高校市级重点课程建设立项项目；2024年度上海交通大学医学院本科荣誉课程建设重点资助项目；2025年度上海-渥太华联合医学院第二轮全英语课程建设立项项目；2025年度上海交通大学医学院本科核心课程建设立项项目；2026年度上海交通大学医学院思想政治教育与人文社会科学研究课题立项项目

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20260403-02354

Artificial intelligence-enhanced teaching of neurological physical examination: an exploratory study on its effectiveness

Zhi Nan[1], Yao Xiaoying[1], Li Yi[2], Pan Yuanmei[1], Wang Gang[1]

[1]Department of Neurology, Renji Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200127, China; [2]Ottawa-Shanghai Joint School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200127, China

Corresponding author: Wang Gang, Email: wanggang@renji.com

【Abstract】 Objective　To construct a new artificial intelligence (AI)-enhanced teaching model for neurological physical examination and to evaluate its application effect in the teaching of clinical medicine undergraduates. **Methods**　Students from the Class of 2021 (control group, n=32) and students from the Class of 2022 (experimental group, n=35) of the Ottawa-Shanghai Joint School of Medicine, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine were selected. The control group had the flipped classroom model and

was learning through case-based teaching. The experimental group was given the novel AI-enhanced teaching model, which consists of the AI-assisted lesson preparation system and the "stick figure examination mini-program" and "AI simulated examiner". After the course ended, a comprehensive evaluation of the teaching effect was conducted through methods such as theoretical knowledge assessment, objective structured clinical examination (OSCE), multi-dimensional observation and evaluation by teachers, and student satisfaction questionnaire survey. SPSS 27.0 was used for the statistical analysis of the data. All measurement data were expressed as the mean plus or minus the standard deviation, and independent samples *t*-tests were used to compare groups. A significance level of α=0.05 was used. **Results** Both the theoretical knowledge assessment score and the OSCE score for the experimental group were higher than those for the control group (88.43 ± 9.67 vs. 80.31 ± 9.67, *P*=0.001; 91.33 ± 2.21 vs. 84.51 ± 6.42, *P*<0.001). Teacher ratings were all higher in general performance, professional competence, clinical thinking, and humanistic concern in the experimental group compared with the control group (all *P*<0.01). Student satisfaction scores in the experimental group were higher than those in the control group for 9 aspects, such as inspiring the interest in learning, improving self-study ability, and deepening knowledge understanding (*P*< 0.01). **Conclusions** The novel AI-enhanced teaching model can effectively improve medical students' grasp of the theory and operational standardization, as well as clinical thinking ability in the learning of neurological physical examination and has been widely accepted and praised. It provides a new way with certain popularization prospects for medical skill teaching.

【**Key words**】 Artificial intelligence; Neurological physical examination; Medical education; Teaching model innovation

Fund program: 2022 Shanghai Municipal Key Course Construction Project; 2024 Shanghai Jiao Tong University School of Medicine Undergraduate Honors Course Construction Key Funding Project; 2025 Shanghai-Ottawa Joint Medical School Second-round English-based Course Construction Project; 2025 Shanghai Jiao Tong University School of Medicine Undergraduate Core Course Construction Project; 2026 Shanghai Jiao Tong University School of Medicine Research Project on Medical Humanities and Values Education

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20260403-02354

神经系统体格检查(neurological physical examination,NPE)是神经病学临床实践与教学中的核心部分,学生对其的掌握情况直接影响医学生的临床诊断能力与思维水平[1]。然而,传统教学模式常面临诸多现实问题,例如学生人数众多、教师资源相对有限、实践操作标准化程度不一,且难以将抽象的体征与复杂的神经解剖通路有效联系起来,这使得学生临床思维训练不足,学习兴趣也不高[2-3]。随着人工智能(artificial intelligence,AI)技术的迅猛发展,其在医学教育领域具有广阔的应用前景,为解决上述问题提供了新的思路。AI技术能够提供个性化的学习路径,也可以模拟真实的临床场景并给予即时反馈,有望弥补传统教学的不足,提高教学效率和效果[4-6]。近年来,国内学者开始尝试将AI应用于神经病学教学,取得了不错的成果[7-9],显示出其对教学资源的合理分配具有较好的促进作用,对解剖定位思维的培养也具有一定的价值。同时,基于案例的教学法(case-based learning,CBL)、翻转课堂等新型教学模式也已应用于医学教育中,并已证明这些教学模式在激发学生学习主动性、提高学生临床实践能力等方面具有明显优势[10-11]。然而,如何将先进的教学理念与前沿AI技术相结合,在神经系统体格检查这类对操作规范性和逻辑思维有较高要求的技能教学中构建一种系统化、智能化、可推广的新型教学模式,仍然是当前医学教育研究亟须解决的问题[12]。本文旨在探讨一种创新的教学模式,该模式将AI技术融入神经系统体格检查教学的全过程,借助自主研发的人字形查体小程序和AI模拟考官系统,构建由知识框架搭建、实践操作练习、课后个性化反馈构成的闭环教学体系,力图破解传统神经系统体格检查教学中存在的理论与实践脱节、临床思维培养欠缺、反馈滞

后等诸多难题，进而为提升医学生临床技能和综合素质提供新的解决方案。

1　对象与方法

1.1　教学对象

上海交通大学医学院附属仁济医院伦理委员会对本研究予以批准，其伦理批号为EX-2026-006。鉴于医学教育班级建制需保持完整，同时避免随机分组对常规教学秩序产生干扰，本研究采用非随机对照的准试验设计方式，对照组选取上海交通大学上海渥太华联合医学院2021级临床医学本科生，其中男生20名、女生12名；试验组则选取2022级同专业临床医学本科生，其中男生17名、女生18名。神经系统体格检查课程于第三学年开设，该课程包括理论课与实践课两部分。在理论课中，教师讲解神经系统查体的主要内容，重点阐释各项检查的阳性结果及其在定位诊断中的临床意义，帮助学生建立理论框架。实践课以小组技能发展（physical skills development，PSD）课程的形式开展，属于神经系统查体的实际操作训练环节，学生在教师指导下进行实际操作，以此巩固理论知识并提高临床技能。在授课之前，2组学生均已完成医学理论基础课、专业基础课的系统学习，具备了进行体格检查实践的知识基础。

1.2　研究方法

1.2.1　分组与授课安排

此次研究采用非随机准试验设计，将学生分为对照组和试验组。对照组采用翻转课堂联合CBL的教学模式进行授课；试验组采用AI赋能的新型教学模式进行授课。2组的授课教师均为同一固定医师团队，以保证教学师资的一致性。此外，2组在课程教学目标、核心知识点及考核标准方面均保持一致，仅在教学实施方法上存在差异，从而能够准确评估AI技术所带来的教学增量价值。

1.2.2　教学实施过程

1.2.2.1　对照组教学实施路径

对照组教学依照“理论+实践”的递进路径开展，以翻转课堂理念、CBL教学法为核心内容组织教学活动。

理论授课：采用“课前自学+课堂强化”的模式。在课前阶段，学生借助线上教学平台自行观看教学视频，并仔细研读教材，以此初步掌握有关神经系统体格检查的核心理论知识。在课堂上，教师针对重点、难点内容进行详细讲解，借助案例分析、答疑讨论等方法，帮助学生进一步深化理论认知。

实践授课：围绕“教师示范+学生互练”模式展开。教师首先进行标准化操作示范，清晰阐明各体征检查的手法要点和判断标准；之后学生分组进行互查互练，教师针对不规范的操作及时予以纠正。在最后一次课程中，教师以真实临床病例为载体开展CBL教学，引导学生在标准化病人身上进行实战查体。教师在现场观察并纠正操作偏差，组织学生围绕阳性体征展开讨论，引导学生完成定位诊断，进而强化其临床思维能力。

1.2.2.2　试验组教学实施路径

试验组在保留翻转课堂和CBL教学优势的基础上，进一步融入AI技术，构建了一种以理论学习、实践强化、课后巩固为三阶递进的个性化、可视化、实战化教学模式，主要解决传统教学中个性化指导缺乏、体征信息整合困难、课后反馈滞后等问题。具体流程如下。

理论授课：以翻转课堂为基础，运用AI工具改进教学设计、促进课后知识巩固。课前，教师借助超星AI助教平台，将教材、视频、题库三者融合，创建课程思维导图、分层思考题、随堂测试题等资料，明确教学重点。课中，教师借助AI创建可视化资料，帮助学生理解解剖结构、体征表现、临床意义三者间的联系，并依据随堂测试结果灵活调整教学节奏。课后，AI根据学生课堂表现推送个性化自测题库，覆盖重点知识与薄弱环节；学生完成练习后，系统即时反馈错题知识点并推送对应复习资料，从而实现更具针对性的个性化学习支持。

实践授课：试验组的教学模式以CBL教学法为核心，同时整合了自主研发的“人字形查体”小程序作为辅助教学工具。在课前翻转环节，学生可通过手机扫码反复观看规范化操作视频，从而提前熟悉操作流程。在课堂实践环节，学生分小组对标准化病人进行查体训练，同时使用该小程序实时标记阳性体征。具体操作流程如下：学生在手机端打开并登录“人字形神经体检记录法”微信小程序（图1），逐项录入神经系统查体结果；完成录入后点击“预览图谱”，系统即自动生成该患者阳性体征汇总的可视化图谱（图2）。该小程序以简笔画人形图为载体，运用标准化视觉符号将抽象的神经体征转化为具象的视觉标记。系统可自动汇总生成“查体阳性体征分布图”，将碎片化的查体结果整合为较为系

统的体征摘要，清晰展现体征分布及其与神经通路的关联，进而引导学生快速建立“体征—神经通路—病灶部位”的逻辑联系，突破定位诊断的难点。学生查体时，教师现场巡视，实时观察学生查体手法与动作是否规范，并及时纠正错误操作，给予针对性指导。同时，教师借助小程序同步生成的可视化图谱，将传统教学中难以即时整合的体征信息转化为直观的逻辑推演工具，用于引导学生分析体征、神经通路与病灶部位之间的关联。小程序的操作界面与流程经过统一的标准化设计，所有学生使用同一版本，保证了操作的同质性。该工具已在本科临床实习及住院医师规范化培训中常规使用，稳定性与可重复性表现良好，并广泛应用于日常查房、教学查房、病例讨论、病例汇报等环节。



图 1　人字形查体记录小程序

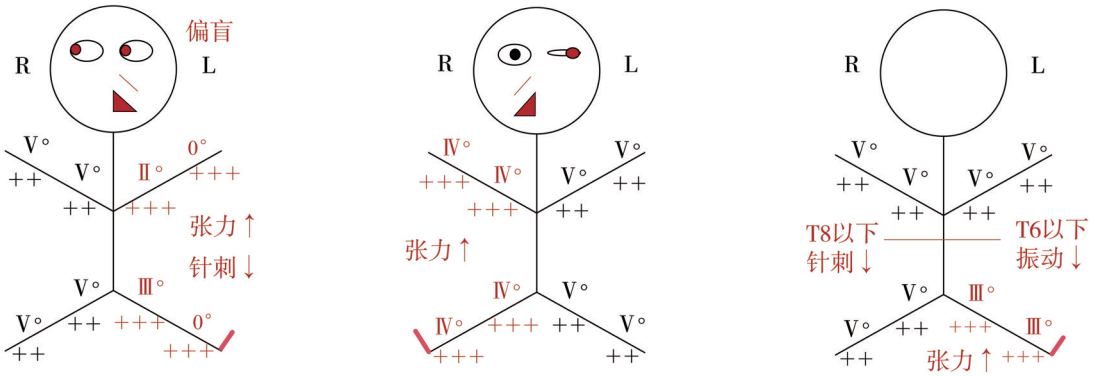
课后强化：由于传统的课后练习缺少专业的指导和反馈，本试验组引入了人机互动查体训练系统。学生在登录上海渥太华联合医学院超星 AI 助教平台后，会进入神经内科课程板块的 AI 实践入口，点击已建立的病例即可进入查体口述模拟训练界面。该系统将课堂所使用的 CBL 案例进一步开发成由 AI 驱动的模拟教学案例，以此模拟客观结构化临床考试（objective structured clinical examination，OSCE）的真实场景。学生以住院医师的身份面对虚拟病人，须口头讲述查体过程并作出操作判断。AI 模拟考官可实时接收学生发出的指令，按照事先设定的标准评判查体操作的完整性、逻辑顺序及手法规范性等。查体结束后，AI 系统会根据查体是否完整、操作是否准确、临床推理是否合理给出一份详细的反馈报告，清楚指出学生存在的问题并提出改进意见。学生根据反馈报告不断进行人机互动训练，直至达到教师设定的标准。系统正式使用前，5 名高年资神经内科教师进行了 3 次交叉验证测试，共计完成 60 次标准模拟查体。结果表明，系统响应率为 98.30%，评分一致性 Kappa 值为 0.85，证明本系统运行稳定、重复性好、评价结果可信，符合规范化教学的要求。这种即时反馈、反复迭代的训练方式实现了个性化、常态化的课后强化，解决了传统教学中课后练习环节指导缺失的问题。

1.3　教学评价指标

运用“课程考核成绩+教师观察评价+学生满意度反馈”这一三维评价模式，对 2 种教学模式的应用效果进行全面评估，以保证评价结果具有科学性与全面性。

1.3.1　课程考核成绩

课程考核成绩由 2 部分构成，分别用以评估学



A. 右侧额顶叶及基底节区病变典型体征模式图　B. Weber综合征典型体征模式图　C. 脊髓半切综合征典型体征模式图

图 2　上运动神经元通路病变人形图示例

生对理论知识的掌握状况和临床实操能力。首先是即时理论测试，在课程结束后立即进行，共有10道选择题，主要围绕神经系统体格检查的操作手法、阳性体征判断及定位诊断知识展开，每题10分，总计100。2组试题难度相同，均从神经内科教学组预先建立的标准化题库中随机抽取，以此保障考核的公平性。其次是OSCE专项考核，学生在第三学年末参加学校统一组织的OSCE考试，其中神经系统体格检查为专项考核内容，满分为100，着重评估学生的规范化操作能力、体征识别能力与临床应用能力。

1.3.2　教师观察评价

授课教师团队在整个教学过程中，会对学生的课堂表现进行全程观察并做好记录。课后，借助量化评分表对每位学生进行综合评价。评分表包括4个核心维度，各维度满分均为100，最终评价成绩取4个维度得分的平均值。其一为整体表现，评估学生课堂参与的积极性、课前预习的充分程度与学习的主动性。其二为专业素养，重点考查学生神经系统体格检查手法的熟练程度、操作的规范程度与体征判断的准确程度。其三为临床思维，评判学生能否将查体发现的阳性体征与理论知识相结合，完成精准的定位诊断，从而指导临床决策。其四为人文关怀，关注学生在查体过程中对患者的人文关怀意识、沟通技巧与隐私保护意识。由于教学实施方式的限制，此次教师评价未采用盲法，但评分表采用了行为化评价标准，且评价者均经过统一培训，以此来控制潜在的偏倚。

1.3.3　学生满意度评价

课程结束后，借助问卷星平台发放满意度调查问卷，以收集学生对教学模式的反馈意见。该问卷共设10个评价维度，涉及激发学习兴趣、提高自学能力、加深知识理解、优化时间安排、明确教学目标、活跃课堂气氛、提高学习效果、增强临床思维、促进人文沟通、信息获取便捷等方面。每个维度采用1至10分的评分制，其中1分代表满意度最低，10分代表满意度最高，问卷满分为100。问卷由学生以匿名方式独立评分。最后，统计2组学生的满意度平均分，进而对教学模式的接受度与应用效果进行评估。

1.4　统计学方法

采用统计软件SPSS 27.0对本研究的全部数据进行整理与分析。计量资料以均数 ± 标准差的形式表示，组间比较采用独立样本 t 检验。所有统计检验均为双侧检验，检验水准 α=0.05。数据录入前需进行双人核对，以确保数据的准确性和完整性，防止录入误差对统计结果造成影响。

2　结果

2.1　2组学生基线资料比较

本研究选取不同届次临床医学本科生作为研究对象，在神经系统体格检查课程开始前，对2组学生第二学年末的基础理论成绩进行统计学分析。结果表明（表1），对照组与试验组基线成绩差异无统计学意义（P>0.05），说明2组学生的基础理论知识水平相对均衡，基线资料具有较好的可比性，可用于后续教学效果的对比分析。

2.2　2组学生课程考核成绩比较

课程结束后，针对2组学生的理论知识考核成绩与实践操作考核成绩进行比较。结果表明（表1），试验组在理论知识考核成绩与实践操作考核成绩2方面均高于对照组，且差异具有统计学意义（P<0.05）。这表明，与传统教学模式相比，AI赋能教学模式在帮助学生系统掌握神经系统体格检查相关理论知识方面更为有效，能够提高学生操作的规范性与熟练程度，并强化其临床实操技能。

2.3　2组学生教师观察评价结果比较

授课教师团队对学生的课堂表现进行全程观察后给出多维量化评分。由表2可知，试验组在整体表现、专业素养、临床思维、人文关怀4个方面的得分均高于对照组，综合成绩也优于对照组，差异有统计学意义（P<0.05）。这意味着AI赋能教学可以有效提高学生的课堂参与度和学习主动性，使操作规范性和专业素养得到提升，促进临床思维的培养，增强医患沟通与人文关怀意识，从而使综合教学表现更优。

表1　2组学员PSD课程前后成绩比较（分，$\bar{x} \pm s$）

项目	对照组	试验组	t值	P值
课程前基线成绩	78.59 ± 6.58	81.23 ± 6.28	−1.68	0.098
课程后理论知识考核成绩	80.31 ± 9.67	88.43 ± 9.67	−3.43	0.001
课程后实践操作考核成绩	84.51 ± 6.42	91.33 ± 2.21	−5.71	<0.001

表2　教师对学生的课程表现反馈(分,$\bar{x} \pm s$)

项目	对照组	试验组	*t*值	*P*值
整体表现	90.36 ± 2.07	93.02 ± 2.97	−4.28	<0.001
专业素养	88.97 ± 2.19	91.32 ± 3.18	−3.55	<0.001
临床思维	89.86 ± 3.63	93.12 ± 4.12	−3.44	0.001
人文关怀	87.56 ± 2.13	90.13 ± 2.82	−4.23	<0.001
最终成绩	89.19 ± 2.59	91.90 ± 3.31	−3.75	<0.001

2.4　2组学生教学满意度比较

课程结束后,采用匿名问卷调查的方式进行教学满意度评价。调查结果显示(表3),试验组在激发学习兴趣、提高自学能力、加深知识理解、明确教学目标、活跃课堂气氛、提高学习效果、增强临床思维、促进人文沟通、信息获取便捷9个维度的满意度评分均高于对照组(P<0.05);仅在时间安排合理维度上,2组间差异无统计学意义(P>0.05)。总体而言,学生对AI赋能新型教学模式具有更高的接受度、认可度和满意度,该模式更加契合临床医学本科生的学习特点与实际需求。

表3　学生的教学反馈及满意度问卷调查结果(分,$\bar{x} \pm s$)

项目	对照组	试验组	*t*值	*P*值
激发学习兴趣	7.30 ± 1.20	8.98 ± 1.48	−5.12	<0.001
提高自学能力	7.42 ± 1.34	8.96 ± 1.26	−4.84	<0.001
加深知识理解	7.02 ± 1.38	8.80 ± 1.53	−5.01	<0.001
时间安排合理	7.69 ± 1.87	8.54 ± 1.73	−1.93	0.058
明确教学目标	7.32 ± 1.81	8.94 ± 1.42	−4.05	<0.001
活跃课堂气氛	7.02 ± 1.94	9.05 ± 1.36	−4.92	<0.001
提高学习效果	7.65 ± 1.54	9.35 ± 1.64	−4.38	<0.001
增强临床思维	8.06 ± 1.44	9.18 ± 1.77	−2.85	0.006
促进人文沟通	7.95 ± 1.17	8.91 ± 1.33	−3.14	0.002
信息获取便捷	7.32 ± 1.60	8.93 ± 1.59	−4.13	<0.001

3　讨论

3.1　AI赋能教学的成效分析:理论、技能与综合素养的显著提升

神经系统体格检查教学长期以来一直存在操作标准不统一、体征理解较为抽象、临床思维培养缺失、师资力量薄弱等问题。传统的翻转课堂结合CBL模式虽然可以提高学生的学习主动性,但难以实现个性化指导与即时反馈。从结果来看,AI赋能教学模式在理论考核、OSCE实操考核、教师多维评价、学生满意度调查等各方面均比传统教学模式具有明显优势,说明将AI技术全面融入教学全过程,可以有效提高学习效果、强化技能掌握、提升综合素养。

试验组理论知识成绩提高的原因在于AI辅助备课系统在教学过程中发挥了三重作用。第一,整合教学资源,构建有条理的知识体系。第二,依据学生课堂表现生成个性化的习题与复习资料。第三,针对个人薄弱环节精准推送学习内容。这样可以减少传统教学中常见的无效学习行为,使理论知识得到系统内化。该结果与AI技术能够改善医学理论教学、提高学生医学知识掌握程度的研究结论一致[13]。

在实操技能方面,试验组的OSCE成绩明显高于对照组,这主要归因于2项技术工具的协同作用。其一是经本团队前期回顾性研究(伦理批号EX-2026-001)已验证具有良好稳定性和可重复性的人字形查体小程序,该小程序可将抽象的体征转化为可视化标记,帮助学生建立体征分布与神经通路之间的直观联系;其二是AI模拟考官,其提供了可重复、标准化的训练环境及即时纠错功能,使学生在反复练习中逐步规范操作流程、理清查体思路。上述设计有效克服了传统教学中训练机会少、反馈不及时的不足。

教师多维评价结果表明,AI教学手段可以提高学生的课堂参与度、操作规范性、临床推理能力及人文素养等,说明个性化学习路径、可视化教学工具、课内外系统训练设计能够促进学生各方面能力的提升[14]。学生在学习兴趣、自学能力、知识理解、临床思维等各个方面的满意度评分均有所提高,说明AI赋能模式更符合临床医学本科生的学习需求,具有较好的教学适用性[15]。

3.2　AI赋能教学的机制解析:认知负荷优化与双重编码协同

AI赋能教学模式以认知负荷理论与双重编码理论为依据,能够突破传统教学的局限,优化学习过程,促进知识的理解与临床应用[16-17]。神经系统体格检查涵盖解剖结构、神经通路、体征含义、定位诊断逻辑等多个方面,学生学习时认知负荷较大。传统统一的作业与复习方式会加重学生在筛选信息、重复学习方面的外在认知负荷。AI系统根据学生学情、测试结果等即时进行分析,推送个性化的习题和辅导内容,使学生将认知资源集中于核心知识的理解和临床思维的培养,从而减少无关的认知消耗,提高学习效果[16]。此外,双重编码理论指出,语言和视觉双通道加工能够增强记忆、深化理解。

基于此开发的“人字形查体”小程序以简笔画人形呈现抽象的体征，自动生成体征分布图并关联神经解剖通路，促使学生同步进行视觉加工与逻辑推理，形成从体征、通路到病灶定位的临床思维训练路径，实现理论到实践的迁移[18]。因此，AI赋能教学不仅能够提高短期考核成绩，更有利于培养稳定、规范、可迁移的临床技能。

3.3 AI赋能教学的创新性与应用价值：从闭环设计到跨学科推广

目前国内外有关AI赋能医学教学的研究成果众多，但大部分研究仅将AI视为辅助工具进行浅层应用[19]，缺少对高难度专科临床技能的系统化教学设计，整体融合程度不高，专项适应性较差。本文的主要创新点在于构建了理论奠基、实践强化、课后巩固三阶递进且全程闭环的AI助力教学体系，实现了AI技术与翻转课堂、CBL教学法的深度融合，而非简单的工具堆砌，为高难度临床技能教学提供了可借鉴、可复制的创新范式[20]。尤其是自主研发的人字形可视化查体教学工具，针对神经系统查体教学难点开展专项教学，形成了个性化的智能教学方案，这是区别于目前通用型AI教学研究的显著特点。在教学实施方面，理论阶段借助AI提升备课的精准性与学情监测能力，实践阶段运用可视化工具解决神经查体抽象难懂的教学难点，课后阶段利用AI模拟考官实现自主化、标准化、常态化训练，3个阶段前后衔接，最终构成一个涵盖课前、课中、课后全周期的教学闭环。

该模式在临床技能中心标准化培训、住院医师规范化培训及执业医师考前强化等环节中具有教学转化价值。AI辅助工具有助于统一操作程序、减轻教师负担、提高教学效率，促进课堂知识向临床胜任力转化。同时，该模式还可以拓展至心肺查体、腹部查体、急诊快速评估、外科基本操作等技能教学领域，为临床技能教学的智能化升级提供一定借鉴。此外，本研究坚持人机协同的理念，将AI定位为辅助工具而非教学主体，在保证教学效率提高的同时，也重视学生批判性思维和临床决策能力的培养[21]。

3.4 研究局限与未来展望

本研究初步证实了AI赋能神经系统体格检查教学具有一定的应用价值，然而也存在一些局限性，具体如下：首先，研究设计方面存在可优化之处，结论的外推性有待进一步提高。该研究属于单中心、非随机对照准试验研究，应用场景与样本体量存在一定限制，结论的普适性需要多中心、大样本数据来进一步证实。研究采用跨年级分组对照方法，虽经过基线测评以平衡组间基线水平，但年级学习特征差异仍有可能引入潜在偏倚与混杂因素。由于受到班级建制与课程安排的限制，本研究未设置同年级平行对照进行验证，并且受到院校条件、师资水平、学生基础等校本化因素的影响，研究成果的规模化推广存在一定局限性。其次，教学评价体系仍需进一步完善。本研究课后考核题型比较单一，知识点覆盖范围有限，仅能体现学生阶段性知识掌握的情况。同时，该研究并未采用盲法进行评价，考评教师知晓试验分组及干预方案，易出现一定程度的主观评分偏倚。此外，该研究仅对即时教学效果予以评估，并未设置中长期随访机制，因此无法追踪学生远期知识留存、技能迁移的情况，也就难以全面展现该教学模式的长期教学效应。最后，集成干预模式存在一定的混杂效应。本研究将多项AI教学工具整合后进行协同干预，无法精确区分是单一工具的独立效应，还是多工具联用所产生的协同效应。试验组师生知晓自己参与了教学改革研究，可能会因为关注度提高而产生霍桑效应，这在一定程度上会影响结果的客观性。

鉴于上述研究存在的局限性，未来研究可从优化研究设计、完善评价模式、严格控制混杂因素3个方面进行深入拓展，从而使研究成果更为丰富。具体展望如下：首先，优化研究设计，以此提高研究结论的普适性与稳健性。后续可开展多中心、大样本的对照研究，将不同层级院校的研究对象纳入其中，从而扩大研究的覆盖范围。通过设置同年级平行对照或随机分组方案，避免跨年级分组产生的系统性偏倚，确保组间基线条件达到均衡，经多场景的重复验证夯实研究结论，进而进一步提升该教学模式的推广应用价值。其次，建立全周期多元评价模式，以减少主观评价的偏倚。未来可构建一种融合即时考核、中期追踪、长期随访的立体化评价机制，对学生知识留存与临床能力发展进行动态监测，充分挖掘该教学模式的长效应用价值。在优化考核内容的同时兼顾题型结构的合理性，实现对核心知识点的全面覆盖，进而提高考核工具的信效度。同时，引入第三方双盲考评模式，避免主观评判偏差，保证评价结果客观可靠。最后，进一步细化干预设计，严格控制混杂因素的干扰。未来可采

用析因设计，明确各类AI教学工具的独立效应与协同效应，筛选出最优干预组合方案。通过统一教学流程、规范干预实施标准，有效降低霍桑效应等试验干扰，保证研究数据真实可靠。此外，还可搭建AI学情数据库，动态追踪学生的学习轨迹，持续迭代和优化教学方案，从而推动人工智能技术助力医学教育发展。

4 结语

本研究初步验证了将AI技术与CBL、翻转课堂深度融合而成的新型教学模式，能够在一定程度上提高临床医学本科生神经系统体格检查的教学效果，可为医学教育模式创新提供具有一定推广潜力的实证参考。未来，随着教育技术的不断发展，这种以学生为中心、注重个性化与实战化的教学模式，有望在更广泛的医学教育领域推广应用，为培养具有扎实临床技能和卓越临床思维的新时代医学人才给予有力支持。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 支楠：研究设计、整理资料、撰写论文；姚小英、郦忆：整理资料、统计分析；潘元美：整理资料、修改意见；王刚：提供研究思路、负责项目指导和修改意见

参考文献

[1] Gelb DJ, Gunderson CH, Henry KA, et al. The neurology clerkship core curriculum [J]. Neurology, 2002, 58(6): 849-852. DOI: 10.1212/wnl.58.6.849.

[2] 李宏福，刘功禄，董毅，等. 以学生为考官的教学法在神经查体教学中的应用[J]. 继续医学教育，2024，38(3)：87-90. DOI: 10.3969/j.issn.1004-6763.2024.03.022.

[3] Burgess A, van Diggele C, Roberts C, et al. Tips for teaching procedural skills [J]. BMC Med Educ, 2020, 20(Suppl 2): 458. DOI: 10.1186/s12909-020-02284-1.

[4] Londgren MF, Baillie S, Roberts JN, et al. A survey to establish the extent of flipped classroom use prior to clinical skills laboratory teaching and determine potential benefits, challenges, and possibilities [J]. J Vet Med Educ, 2021, 48(4): 463-469. DOI: 10.3138/jvme-2019-0137.

[5] 褚敬申，王刚. 我国神经病学医学教育发展的历史机遇及挑战[J]. 中华医学教育探索杂志，2024，23(10)：1308-1313. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240603-01859.

[6] Guido G, Franceschini S, Oteri V, et al. Neurological examination: an evaluation of video-based learning [J]. Cureus, 2024, 16(1): e51866. DOI: 10.7759/cureus.51866.

[7] 王炎强，王彬，贾帅，等. 超早期缺血性脑卒中诊治教学案例库的建立[J]. 中国继续医学教育，2023，15(17)：170-173. DOI: 10.3969/j.issn.1674-9308.2023.17.038.

[8] 韩莹莹，钟专，褚月娇，等. 基于大数据智能化背景下神经病学实践教学体系构建的探索[J]. 中国实验诊断学，2023，27(8)：1006-1008. DOI: 10.3969/j.issn.1007-4287.2023.08.034.

[9] 郭珍妮，张晗，傅钰丽，等. 以问题为基础的教学联合虚拟现实技术在卒中后睡眠障碍临床教学中的应用[J]. 中国卒中杂志，2023，18(5)：534-537. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5765.2023.05.007.

[10] 支楠，姚小英，郦忆，等. 翻转课堂联合案例式教学法在神经系统体格检查教学中的应用及评价[J]. 诊断学理论与实践，2024，23(5)：557-560. DOI: 10.16150/j.1671-2870.2024.05.014.

[11] 陈洪乔，黄进瑜，蒙莲，等. 学生标准化病人教学方法在神经内科临床实践教学中的应用[J]. 现代医院，2024，24(5)：810-812. DOI: 10.3969/j.issn.1671-332X.2024.05.042.

[12] Hou Z, Chen J, Guo H. From "teaching by word and deed" to "intelligent mentorship": ethical reconsiderations of AI-enabled medical education - lessons from China [J]. Front Med, 2025, 12: 1754139. DOI: 10.3389/fmed.2025.1754139.

[13] Driesnack S, Rücker F, Dietze-Jergus N, et al. A practice-based approach to teaching antimicrobial therapy using artificial intelligence and gamified learning [J]. JAC Antimicrob Resist, 2024, 6(4): dlae099. DOI: 10.1093/jacamr/dlae099.

[14] Pritchard C, Hubbert S, Yhnell E. A bioscience educators' purpose in a modern world [J]. Eneuro, 2025, 12(11): ENEURO.0364-25.2025. DOI: 10.1523/eneuro.0364-25.2025.

[15] Ayanwale MA, Adelana OP, Bamiro NB, et al. Large language models and GenAI in education: Insights from Nigerian in-service teachers through a hybrid ANN-PLS-SEM approach [J]. F1000Res, 2025, 14: 258. DOI: 10.12688/f1000research.161637.1.

[16] Gkintoni E, Antonopoulou H, Sortwell A, et al. Challenging cognitive load theory: the role of educational neuroscience and artificial intelligence in redefining learning efficacy [J]. Brain Sci, 2025, 15(2): 203. DOI: 10.3390/brainsci15020203.

[17] Brady MB, VonVille HM, White JF, et al. Transmission visualizations of healthcare infection clusters: a scoping review [J]. Antimicrob Steward Healthc Epidemiol, 2022, 2(1): e92. DOI: 10.1017/ash.2022.237.

[18] Seger CA, Xie W, Li P, et al. Complex rule transfer recruits rostral prefrontal and ventromedial prefrontal neural networks [J]. Hum Brain Mapp, 2025, 46(12): e70327. DOI: 10.1002/hbm.70327.

[19] 于卫强，朱梓园，苏庭舒，等. 虚拟评估系统在口腔医学生后牙金属冠牙体制备评分的应用研究[J]. 中华医学教育探索杂志，2026，25(4)：447-451. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20240811-02181.

[20] 来茂德. AI时代医学教育改革该往何处去[J]. 中国高等医学教育，2025(4)：1-3. DOI: 10.3969/j.issn.1002-1701.2025.04.001.

[21] Borrell Carrió F, Vidal-Alaball J. Challenges and opportunities for generalist practice in the era of technology and AI [J]. Rev Clínica Española Engl Ed, 2026, 226(1): 502367. DOI: 10.1016/j.rceng.2025.502367.

（收稿日期：2026-04-03）
（本文编辑：邬小梅）