·教学改革·

基于有限元分析技术的翻转课堂在中医临床实习教学中的应用研究

于长岁[1]　朱立国[1]　张清[2]　龚道雄[3]　李俊杰[4]　张新岳[4]　鄢红春[5]
[1]中国中医科学院望京医院脊柱二科，北京 100102；[2]中国中医科学院望京医院教育处，北京 100102；[3]北京工业大学信息学部，北京 100124；[4]首都医科大学电力教学医院中医骨伤科，北京 100071；[5]首都医科大学电力教学医院科教科，北京 100071
通信作者：鄢红春，Email：dljxyyyhc@163.com

【摘要】 目的 探讨基于有限元分析技术的翻转课堂教学在中医临床实习教学中的应用效果。**方法** 选取2023年1月至2024年12月在首都医科大学电力教学医院实习的60名2022级五年制临床医学（院前急救方向）专业学生作为研究对象，采用随机数字表法分为对照组和观察组，每组30人。对照组采用传统“理论授课-临床观摩”教学，观察组采用基于有限元分析技术的翻转课堂教学。教学结束后，比较2组学生的中医理论与实操考核成绩、学习自主性评分及教育环境感知评分。采用SPSS 27.0统计软件进行独立样本t检验；对学习自主性总分及各维度得分进行2（时间）×2（分组）的重复测量方差分析。**结果** 教学后，观察组中医理论考核总分（79.84 ± 6.23）高于对照组（73.25 ± 5.87），差异有统计学意义（t=4.33，P<0.001），中医实操考核总分（76.95 ± 4.35）高于对照组（70.82 ± 4.07），差异有统计学意义（t=5.68，P<0.001）。学习自主性总分观察组为（208.63 ± 26.85）分，高于对照组的（192.73 ± 25.14）分，其中自我调控维度（73.85 ± 13.92 vs. 66.47 ± 12.84）和学习策略维度（50.97 ± 6.74 vs. 47.15 ± 6.82）差异均具有统计学意义。教育环境评估方面，观察组DREEM总分高于对照组，其中对教师的知觉（36.95 ± 2.41 vs. 34.20 ± 2.30）和对学习的知觉（35.41 ± 2.70 vs. 32.35 ± 2.81）维度评分差异最为显著。**结论** 基于有限元分析技术的翻转课堂教学可显著提升中医实习生的理论水平与临床操作能力，增强其学习自主性，并改善其对教育环境的感知，是一种值得推广应用的中医临床教学方式。

【关键词】 有限元分析技术；　翻转课堂；　中医临床；　教学方法；　实习生
【中图分类号】 R-05
基金项目：首都医科大学教育教学改革研究课题（2023JYY484）
DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20250611-02261

Research on the application of flipped classroom based on finite element analysis technology in clinical internship teaching of traditional Chinese medicine

Yu Changsui[1], Zhu Liguo[1], Zhang Qing[2], Gong Daoxiong[3], Li Junjie[4], Zhang Xinyue[4], Yan Hongchun[5]
[1]Department of Spinal Surgery Ⅱ, Wangjing Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China; [2]Department of Education, Wangjing Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100102, China; [3]School of Information Science and Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; [4]Department of Traditional Chinese Medicine and Traumatology, Capital Medical University Affiliated Power Teaching Hospital, Beijing 100071, China; [5]Department of Science and Education, Capital Medical University Electric Power Teaching Hospital, Beijing 100071, China
Corresponding author: Yan Hongchun, Email: dljxyyyhc@163.com

【Abstract】 Objective To explore the application effectiveness of flipped classroom teaching based on finite element analysis technology in clinical practice teaching of traditional Chinese medicine. **Methods** Sixty students enrolled in 2022 in the five-year clinical medicine program (pre-hospital emergency direction)

who interned at the Capital Medical University Electric Power Teaching Hospital from January 2023 to December 2024 were selected as research subjects. They were divided into an observation group and a control group using a random number table method, with 30 students in each group. The control group received traditional theory lecture-clinical observation teaching, while the observation group received flipped classroom teaching based on finite element analysis technology. After teaching, the two groups were compared for traditional Chinese medicine theory and practical operation assessment scores, learning autonomy scores, and educational environment perception scores. Independent samples *t*-tests were performed using SPSS 27.0 statistical software. A 2 (time) × 2 (group) repeated measures analysis of variance was performed on the learning autonomy total score and dimension scores. **Results** After teaching, the traditional Chinese medicine theory assessment total score of the observation group was significantly higher than that of the control group (79.84 ± 6.23 vs. 73.25 ± 5.87, t=4.33, P<0.001). The traditional Chinese medicine practical operation assessment total score was also higher than the control group (76.95 ± 4.35 vs. 70.82 ± 4.07, t=5.68, P<0.001). The learning autonomy total score of the observation group was 208.63 ± 26.85, which was higher than that of the control group (192.73 ± 25.14); there were significant differences in the self-regulation dimension (73.85 ± 13.92 vs. 66.47 ± 12.84) and learning strategy dimension (50.97 ± 6.74 vs. 47.15 ± 6.82). For educational environment assessment, the total DREEM score of the observation group was higher than that of the control group, with the most significant differences in the teacher perception dimension (36.95 ± 2.41 vs. 34.20 ± 2.30) and learning perception dimension (35.41 ± 2.70 vs. 32.35 ± 2.81). **Conclusions** Flipped classroom teaching based on finite element analysis technology can significantly enhance the theoretical level and clinical operation ability of traditional Chinese medicine interns, strengthen their learning autonomy, and improve their perception of the educational environment. It is a traditional Chinese medicine clinical teaching method worth promoting.

【**Key words**】 Finite element analysis technology; Flipped classroom; Traditional Chinese medicine clinics; Teaching method; Intern

Fund program: Research Project on Education and Teaching Reform at Capital Medical University (2023JYY484)

DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20250611-02261

中医临床实习的核心在于贯彻“整体观念”与“辨证施治”的中医特色，强调通过手法整复、经络调衡等特色技术实现“筋柔骨正”的治疗目标[1-2]。随着精准医学理念的不断深入，现代中医教育亟须融合多学科技术，以提升教学的科学性与可重复性[3-4]。然而，传统教学存在理论抽象转化难、手法操作风险高等问题，学生学习困境明显[5]。

有限元分析技术能够基于医学影像数据构建生物力学模型，精准模拟骨骼组织的力学行为，已广泛应用于骨科等相关科室[6-7]。翻转课堂通过将知识传授环节前置至课前，将知识内化环节移至课中，实现学习主体从教师向学生转移[8-9]。为此，本研究将基于有限元技术的翻转课堂引入2022级五年制临床医学实习生脊柱专科教学中，系统评价该方法对实习生理论实操能力、自主学习能力等的影响。

1　对象与方法

1.1　研究对象

选取2023年1月至2024年12月于首都医科大学电力教学医院中医骨伤科实习的60名2022级五年制临床医学（院前急救方向）专业实习生为研究对象。采用随机数字表法分为观察组与对照组，每组30人。观察组男性12人，女性18人；平均年龄（21.36 ± 0.95）岁；入组前中医基础理论课程考核成绩为（71.60 ± 5.82）分。对照组男性13人，女性17人；平均年龄（21.07 ± 0.78）岁；入组前中医基础理论课程考核成绩为（72.31 ± 6.33）分。2组学生在性别、年龄、中医理论基础等方面比较，差异均无统计学意义（P>0.05），具有可比性。所有实习生均知情同意并自愿参与本研究。

纳入标准：2022级全日制五年制临床医学（院

前急救方向）专业学生；已完成《中医基础理论》《中医诊断学》等中医主干课程学习。排除标准：因故缺课累计≥5次，或中途退出研究者；违反实习管理规定；合并严重躯体疾病、精神心理障碍，影响正常学习者。

2组实习生均由同一组具备副主任中医师及以上职称或临床经验≥8年资质的指导教师负责带教。教学严格按照统一制定的实习大纲与教学计划执行。2组总实习时长均为6个月，每周安排2学时，总计48学时。

1.2 教学方法

1.2.1 对照组教学

采用“理论授课-临床观摩”相结合的带教模式。①入科教育与基础知识巩固：入科首周，带教教师开展集中性理论授课（2学时），采用多媒体课件、实体解剖模型及教学挂图，讲解脊柱专科常见病种（如腰椎间盘突出症、颈椎病）的中医病因病机、证候分型（如寒湿痹阻型、气滞血瘀型、肝肾亏虚型）及基础诊疗原则。通过课堂提问方式巩固知识点。②强化疾病理论：针对重点病种（如腰椎滑脱症、颈源性眩晕等）安排专题理论课（1学时）。教师结合板书、图谱及模型，讲解疾病的解剖基础、病理特点、中医辨证要点（如舌象、脉象特征）及鉴别诊断。③床边教学：实习生在教师带领下参与查房。教师引导完成病史采集、专科体格检查（如脊柱活动度检查、特殊试验）及治疗决策。实习生以观察、记录为主，并在教师示意下进行基础操作。④操作技术观摩与原理讲解：在手法治疗室或手术室，在安全区域内观摩教师进行的各项操作（如腰椎斜扳法、颈椎旋提手法等）。教师在操作关键步骤时进行阐述手法原理、力度控制及安全注意事项。⑤总结与答疑：每完成1个病种或1个教学单元，教师组织1次集中总结，梳理重点与难点。答疑环节以实习生提问、教师解答的形式进行。

1.2.2 观察组教学

本研究以翻转课堂教学为框架，将有限元分析技术深度融合于教学阶段，形成“理论认知→模型模拟→临床验证→反思优化”的学习路径。

1.2.2.1 课前自主学习

资源与任务发布：教师在课程平台（超星学习通）提前一周发布学习包。内容包含：核心理论资料，涉及目标病种（如腰椎小关节紊乱）的中医病因病机详解文档、相关解剖图谱及经络循行动画；技术操作指南，涉及 Mimics 10.1 软件基础操作视频、医学影像数据（如匿名患者L4~L5节段CT的DICOM文件）。学生在收到学习资源后，以3~4人为单位自由组建学习小组。小组成员须协作完成理论知识的预习，并初步掌握Mimics软件的基础操作。基于有限元分析技术的模型构建与初步探索：各学习小组利用 Mimics 10.1 软件，导入教师提供的CT影像数据，协作完成目标脊柱节段（如L4~L5）的三维几何模型重建。在此基础上，学生需在模型中标注关键解剖结构（如棘上韧带、多裂肌附着点）与经络穴位（如督脉、膀胱经对应区域）。学生需根据中医理论，对模型施加简单的力学条件进行模拟。例如，针对“腰椎小关节紊乱”，模拟两种不同角度（15°与30°）的斜扳手法，观察并记录椎间盘、小关节突的应力变化图。各小组需提交一份《学习报告》，内容包括重建模型的截图、模拟分析的初步结果、遇到的问题以及对中医病机与力学表现关联的初步思考。反馈与指导：学习平台可对学生提交的模型进行基础几何与网格质量检测，自动反馈常见错误（如椎间盘分割不完整）并推送针对性改正教程。教师在线审阅《学习报告》，重点分析学生在模型重建、参数设置及理论联系方面的共性问题。例如，若多数小组未考虑“筋出槽”对局部刚度的影响，教师将据此设计课中研讨的核心问题。教师通过平台或社交软件给予指导，确保其带着初步成果与明确疑问进入课堂。

1.2.2.2 课中能力内化

临床案例导入与问题聚焦：教师首先呈现一个精心设计的、包含矛盾信息的复杂临床案例（例如：一位具有典型“气滞血瘀”证候的腰椎间盘突出症患者，同时伴有明显的骨质疏松）。教师提出引导性问题，如“如何在‘活血化瘀’与‘避免手法过重导致骨折风险’之间取得平衡？”。学生作为“问题解决者”，立即以课前准备的小组为单位，围绕案例展开讨论。他们需要运用课前构建的有限元模型作为分析工具，结合中医四诊信息，初步形成辨证思路和治疗方案假设。基于有限元分析技术的模拟验证与方案优化：在教师设定的时间内，各小组需利用课前的模型基础，根据案例的具体病机（如“气滞血瘀”可转化为设定韧带刚度增加、椎间盘蠕变率降低等参数），快速调整并运行新的有限元仿真。

他们需要模拟自己设计的治疗方案（例如：一种改良的、分步进行的整脊手法），并获取关键的生物力学指标（如椎间盘内压、神经根接触力、骨性结构的应力峰值）。各小组将本组的仿真结果、治疗方案及中医理论依据进行汇报。不同小组之间就方案的安全性、有效性及理论依据的充分性展开辩论。例如，一组主张配合刺络放血以“急则治标”，另一组可能认为应以轻柔手法松解为主以避免损伤。在此过程中，教师巡回指导，鼓励学生利用仿真数据作为论据支撑自己的观点。教师介入与决策逻辑升华：当辩论陷入僵局或停留在表面时，教师介入，教师可能提问：“从有限元结果看，两种方案在减压效果上差异不大，但风险点不同。根据‘标本缓急’原则，此时患者的‘标’与‘本’各是什么？哪个矛盾更优先？”在教师引导下，学生共同分析各方案的仿真数据与临床逻辑，最终形成一个或多个相对优化、有理有据的整合性治疗方案。教师最后进行总结，将具体的案例决策提炼为可迁移的中医临床思维模式，并明确有限元技术在此过程中作为“量化验证工具”和“风险预警系统”的价值与局限。

1.2.2.3　课后反思

学生主导的数据复盘：各学习小组需对课中形成的治疗方案进行复盘。核心任务是对照2项关键数据：术前有限元模拟预测的力学结果（如应力分布、位移变化）和模拟案例对应的（或教师提供的）真实临床疗效数据（如虚拟的VAS疼痛评分改善率、功能活动度变化）。学生需要系统分析“预测”与“结果”之间的任何偏差。例如，若模拟显示手法后神经根压力应下降30%，但临床疗效数据仅显示中度改善，学生需明白其原因：是模型忽略了“带脉”的横向约束作用导致力线模拟误差？还是中医“气血”运行的时间效应未在静态力学模型中体现？小组需协作提交一份《反思报告》，内容包括：偏差分析、根本原因追溯（技术参数设置问题还是中医病机理解偏差？）。教师主导的教学过程评估与方案优化：教师作为“评估者”与“方案改进者”，系统收集并分析3个方面反馈：各小组的《反思报告》、学生在整个教学周期中的表现数据（如平台学习日志、课堂参与度、报告质量）和教师自身的教学观察笔记。教师基于反馈，评估教学目标的达成度，并诊断教学环节中的瓶颈。例如，若多数小组在“中医体质参数化”环节存在普遍困难，教师将判断此为未来改进的重点方向。教师根据反思结论，制定具体的改进措施，用于优化下一轮教学，如开发标准化的“中医体质–有限元参数对照表”，降低学生参数设置的难度；设计系列化的“微课”，专门讲解常见病机的生物力学转化逻辑等。

1.2.2.4　教学案例

以下展示了基于有限元分析技术的翻转课堂教学方法在“腰椎小关节紊乱”和“颈椎病（神经根型）”中的具体应用（表1）。

1.3　教学评价

1.3.1　中医理论与实操考核

在实习课程结束后，对2组实习生进行统一的中医理论考核与中医临床实操考核，每项考核满分均为100。2项考核均由2名不了解分组情况的副主任中医师及以上职称的医师，采用盲法独立进行评分。评分前对评分者进行培训以确保对评分细则理解一致。计算2名评分者对理论考核与实操考核分别进行评分的一致性，其Kappa值分别为0.72与0.69。根据Landis和Koch标准，Kappa值≥0.61表示一致性良好。因此，取2名评分者所给分数的平均值作为每位实习生的最终成绩。得分越高，表明其中医理论水平或临床实操能力越强。具体考核内容、题型与评分细则见表2与表3。

1.3.2　学习自主性评价

教学前后，采用袁红梅[10]编制的《大学生学习自主性量表》对实习生的学习自主性水平进行评价。该量表共包含61个条目，涵盖4个核心维度：自我调控维度（22个条目）评估个体对学习过程、时间、努力程度的计划、监控与调节能力；学习策略维度（14个条目）评估个体在学习中运用认知策略、资源管理策略及求助策略的水平；内容与环境维度（14个条目）评估个体对学习内容的理解、对学习环境的主动适应与利用能力；学习动机维度（11个条目）：评估个体的内在学习兴趣、目标导向及价值认同。量表采用Likert 5级评分法，从“完全不符合”到“完全符合”分别计1~5分。为便于跨维度比较，各维度得分及总分均进行均一化处理，计算公式为：均一化得分=（实际得分/该维度或总分满分）×100[11]。均一化后得分越高，表明学习自主性水平越强。该量表在本研究样本中预测试的Cronbach's α系数为0.922，表明其内部一致性信度良好。

表1　基于有限元分析技术的翻转课堂教学案例设计

教学阶段		教师角色与活动	学生角色与活动	有限元技术应用	中医辨证与病机联系
案例1：腰椎小关节紊乱	课前自主学习	资源构建者、问题设计者 提供动态解剖图谱、步态视频、有限元教程	主动探索者、模型构建者 分组协作，提交《手法安全区间报告》	使用Mimics软件重建L4~L5节段三维模型，标注韧带、肌肉应力点；模拟斜扳手法（15° vs. 30°）	关联“督脉”“膀胱经”循行；理解“筋出槽、骨错缝”与生物力学异常的关系
	课中能力内化	引导者、决策验证者 提供辨证案例，引导学生辩论、验证	问题解决者、方案设计者 限时设计整脊方案，进行有限元仿真与辩论	建立气滞血瘀型腰椎模型（韧带刚度+25%，椎间盘蠕变率–20%）；仿真三步整脊方案	辨证案例：女性患者，舌暗瘀斑，脉涩，属气滞血瘀证；讨论是否加用刺络放血
	课后反思改进	评估者、方案改进者 评估教学效果，提出改进方向（如纳入体质参数）	反思者、逻辑重构者 小组协作复盘，优化模型与决策逻辑	对比术前规划与术后VAS评分，分析模型偏差（如带脉约束力忽略导致力线误差>20%）	重构决策逻辑树，强调“病机矛盾优先级”（如肝郁筋急优于直接破血）
案例2：颈椎病（神经根型）	课前自主学习	资源构建者、问题设计者 提供颈椎动态解剖动画、神经根走行示意图、有限元参数化教程	主动探索者、模型构建者 分组协作，完成C5~C6节段三维重建，提交《神经根受压分析报告》	使用Mimics软件重建C5~C6三维模型，标注钩椎关节、椎间孔及神经根；模拟不同角度颈椎旋转时神经根的接触应力	关联“手三阳经”循行；理解“骨错缝、筋出槽”对神经根动力学的影响
	课中能力内化	引导者、决策验证者 提供伴有眩晕症状的神经根型颈椎病案例，引导学生辨证与方案设计	问题解决者、方案设计者 限时设计包含手法与针灸的整合方案，并进行有限元安全验证	建立风寒痹阻型颈椎模型（设定颈部肌群张力增高、椎间盘弹性模量降低）；仿真旋提手法与不同针刺深度（风池、天柱穴）对神经根减压及椎动脉血流的综合影响	辨证案例：男性患者，颈痛伴右上肢麻木，畏风，苔薄白，脉浮紧，属风寒痹阻证；讨论手法与温针灸的协同作用与实施次序
	课后反思改进	评估者、方案改进者 评估模拟效果与临床逻辑的一致性，提出“神经—血管—生物力学”综合评估模型的构建方向	反思者、逻辑重构者 小组复盘，分析模拟结果与预期疗效偏差，优化“通络—祛风—正骨”决策路径	对比模拟的神经根减压效果与临床麻木缓解评分，分析偏差原因（如未模拟针刺的“得气”软组织效应）；提出模型参数优化建议	重构决策逻辑，明确“急则治其标”（先减压）与“缓则治其本”（祛风散寒通络）在不同阶段的优先性与整合策略

表2　中医理论考核评分细则（总分100分）

考核维度	具体评估项目	题型及题量	分值	评分标准
辨证基础	病因病机分析	案例分析题（2题）	30分	逻辑清晰（40%），病机表述规范（30%），引用经典准确（30%）
	经络腧穴定位	图谱标注题（1题）	15分	定位准确（每空1.5分，错漏不得分）
诊断能力	四诊信息整合	病案填空题（2题）	20分	信息归纳完整（50%），脉象、舌象描述规范（50%）
	鉴别诊断	简答题（2题）	15分	证型鉴别要点明确（50%），理法方药逻辑清晰（50%）
治则治法	治疗方案设计	辨证决策题（1题）	20分	“急则治标”原则把握准确（50%），针灸、手法或方药协同应用合理（50%）

表3　中医实操考核评分细则（总分100分）

考核维度	具体评估项目	考核形式	分值	评分标准
体格检查	专科查体操作	在模拟患者身上操作	25分	操作流程规范、手法正确（50%），阳性体征识别准确（50%）
手法技能	正骨整脊手法	在专用解剖模型上操作	35分	手法步骤准确、发力得当（50%），经典原理应用与解释得当（50%）
临证决策	突发状况应对	口述答辩	20分	应急处理逻辑清晰、措施得当（50%），与团队操作协同性好（50%）
医患沟通	问诊与医嘱宣教	标准化患者（SP）考核	20分	问诊条理清晰、术语转化恰当（50%），调护指导具体、有针对性（50%）

1.3.3　教育环境评价

教学后采用国际广泛应用的教育环境评估量表（dundee ready education environment measure，DREEM）[12]，对实习生关于实习期间教育环境的整体感知进行评价。该量表共包含50个条目，涵盖5个维度：对教师的知觉（11个条目）评估学生对教师教学能力、态度及支持度的感知；对学习的知觉（12个条目）评估学生对学习氛围、课程安排及学习相关性的感知；对学术的知觉（8个条目）评估学生对自身学术能力、学习负荷及学术自我认知的感知；对环境的知觉（12个条目）评估学生对教学设施、社交氛围及生活支持的感知；社交和自我知觉（7个条目）评估学生的社交适应性、情绪状态及自我价值感。量表采用Likert 4级评分法，从“非常不同意”到“非常同意”分别计0~4分。各维度得分为其条目得分之和，总分为所有条目得分之和，最高为200分。得分越高，代表学生对教育环境的感知越积极、越满意。该量表在本研究情境下使用的Cronbach's α 系数为0.93，表明其内部一致性极佳。

1.4　统计学方法

采用SPSS 27.0统计软件对数据进行处理与分析。计量资料以均数 ± 标准差进行描述。符合正态分布与方差齐性的计量资料采用两独立样本t检验;对学习自主性总分及各维度得分进行2(时间)×2(分组)的重复测量方差分析。检验水准α=0.05。

2　结果

2.1　中医理论考核及实操考核成绩比较

观察组实习生理论考核成绩总分高于对照组。进一步分析发现,观察组在辨证基础与治则治法2个维度得分高于对照组,而在诊断能力维度上差异无统计学意义。在中医实操考核中,观察组总分高于对照组,进一步分析分析发现,观察组在手法技能与临证决策2个维度表现更优,而在体格检查和医患沟通维度得分差异无统计学意义(表4、表5)。

2.2　学习自主性评分分析

教学前,2组的各维度评分及总分差异无统计学意义。教学后,2组各维度评分均较教学前有所提升。进一步分析发现,观察组在自我调控和学习策略维度的评分高于对照组;而在内容与环境和学习动机维度,2组间差异无统计学意义。观察组学习自主性总分高于对照组。对学习自主性总分及4个维度得分进行的重复测量方差分析显示,教学干预存在显著的时间主效应(P<0.001)。分组主效应在自我调控、学习策略及总分上具有统计学意义。交互效应分析显示,在学习策略及总分上,时间与分组的交互效应显著(P<0.05),表明基于有限元分析技术的翻转课堂教学法在促进学习策略运用和总体自主性提升方面具有特异性优势(表6)。

2.3　教育环境评分比较

教学后,观察组实习生的教育环境评估量表总分高于对照组。在各维度上,观察组在对教师的知觉、对学习的知觉及对学术的知觉方面的评分均高于对照组。然而,在对环境的知觉及社交和自我知觉方面,2组评分差异无统计学意义(表7)。

表4　2组中医理论考核成绩比较(n=30,分,$\bar{x} \pm s$)

组别	辨证基础	诊断能力	治则治法	总分
对照组	35.18 ± 3.12	27.65 ± 3.82	11.42 ± 1.79	73.25 ± 5.87
观察组	37.52 ± 2.71	28.54 ± 3.45	13.78 ± 2.11	79.84 ± 6.23
t值	3.13	0.94	4.81	4.33
P值	0.003	0.356	<0.001	<0.001

表5　2组中医实操考核成绩比较(n=30,分,$\bar{x} \pm s$)

组别	体格检查	手法技能	临证决策	医患沟通	总分
对照组	19.25 ± 2.28	27.38 ± 3.95	11.61 ± 1.42	13.58 ± 1.63	70.82 ± 4.07
观察组	19.88 ± 2.41	29.81 ± 4.12	13.74 ± 1.92	14.52 ± 1.87	76.95 ± 4.35
t值	1.02	2.26	5.12	1.95	5.68
P值	0.312	0.028	<0.001	0.057	<0.001

表6　2组学习自主性评分分析(n=30,分,$\bar{x} \pm s$)

组别		自我调控		学习策略		内容与环境		学习动机		总分	
		教学前	教学后	教学前	教学后	教学前	教学后	教学前	教学后	教学前	教学后
对照组		59.45 ± 9.81	66.47 ± 12.84[a]	42.40 ± 6.44	47.15 ± 6.82[a]	36.65 ± 5.40	42.35 ± 6.43[a]	29.70 ± 4.25	35.76 ± 5.41[a]	168.20 ± 20.18	192.73 ± 25.14[a]
观察组		60.12 ± 11.08	73.85 ± 13.92[ab]	41.25 ± 6.01	50.97 ± 6.74[ab]	36.88 ± 5.12	44.92 ± 6.81[a]	30.18 ± 4.72	37.89 ± 6.24[a]	168.43 ± 22.50	208.63 ± 26.85[ab]
时间主效应	F值	52.14		65.87		58.33		48.22		70.56	
	P值	<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		<0.001	
分组主效应	F值	4.38		4.65		2.21		1.78		5.87	
	P值	0.041		0.035		0.142		0.185		0.021	
交互效应	F值	3.01		5.12		1.05		1.94		6.89	
	P值	0.088		0.027		0.310		0.168		0.011	

注:a,与同组教学前比较,P<0.05;b,与对照组比较,P<0.05。

表 7　2 组教育环境评分比较（n=30，分，$\bar{x} \pm s$）

组别	对教师的知觉	对学习的知觉	对学术的知觉	对环境的知觉	社交和自我知觉	总分
对照组	34.20 ± 2.30	32.35 ± 2.81	22.60 ± 2.40	33.80 ± 2.35	17.85 ± 1.90	141.80 ± 9.52
观察组	36.95 ± 2.41	35.41 ± 2.70	24.05 ± 2.15	34.25 ± 2.50	18.20 ± 2.08	149.86 ± 10.35
t值	4.51	4.28	2.39	0.74	0.67	3.05
P值	<0.001	<0.001	0.021	0.466	0.505	0.004

3　讨论

3.1　基于有限元分析技术的翻转课堂有利于提升理论及实操能力

研究显示，观察组实习生理论考核总分及实操考核总分均高于对照组，表明基于有限元技术的翻转课堂教学能够有效提升中医理论与临床能力，与南刚等[13]的研究结果一致。在传统教学中，中医病机如“气滞血瘀”“肝郁筋急”往往抽象难解。而在本研究中，学生通过有限元软件将中医病机转化为可量化、可调节的生物力学参数（如将“气滞血瘀”设定为韧带刚度增加、椎间盘蠕变率降低）。在课前建模阶段，学生通过调整这些参数，直观地观察不同病机状态下的脊柱应力分布变化；在课中辩论与方案验证环节，教师引导学生将生物力学指标（如椎间盘内压、神经根接触力）与中医辨证理论相结合，从而建立起“病机—力学表现—临床决策”之间的联系。这种机制有助于学生从本质上理解手法治疗的作用机制[14]。传统教学中，学生首次接触正骨手法时常因缺乏直观认知而操作生疏甚至存在风险。在本研究中，学生可在课前通过有限元模型对不同手法（如斜扳角度、旋转力度）进行仿真模拟，提前预判操作可能带来的生物力学效应及潜在风险。课后反思阶段则进一步要求学生将有限元预测结果与临床疗效数据进行分析，识别可能忽略的因素（如忽略“带脉”约束导致的力线误差）。这种学习路径，不仅增强了学生的手法操作信心，也提升了其在真实临床情境中的安全性与有效性。

3.2　学习自主性激发机制与教育环境差异分析

在学习自主性方面，观察组各维度评分及总分均高于对照组，尤其在自我调控、学习策略维度表现出明显优势。重复测量方差分析进一步揭示，时间与分组在学习策略及总分上存在显著交互效应，表明本研究采用的教学方法在提升学生学习自主性方面具有促进作用，与吉彬彬等[15]的研究结论相符。一方面，学生角色的主体化转变。在翻转课堂下，学生从传统“被动知识接收者”转变为“主动参与者”。例如，在课前阶段，学生需协作完成脊柱三维模型重建并标注经络腧穴；课中则需基于案例设计治疗方案并通过有限元仿真进行安全性验证。这种任务驱动的主动参，增强了其在自我调控与学习策略维度的能力表现[16]。另一方面，基于数据的反馈机制使学习持续改进。当学生发现模拟结果与预期疗效存在偏差时（如神经根减压效果未达预测值），会主动追溯模型参数设置的合理性或对中医病机理解的准确性，有效促进了学生对学习内容的理解深度与对学习环境的主动适应能力[17]。在教育环境感知方面，观察组量表总分高于对照组，尤其在对教师的知觉、对学习的知觉与对学术的知觉 3 个维度上表现更优，表明有限元技术融合翻转课堂不仅提升了学生的学术体验，也重塑了积极的教学互动生态。原因可能在于：教师通过提出开放性问题引导学生深入思考，增强了师生之间的对话深度；同时，小组协作与方案辩论等活动也促进了学生之间的交流与合作[18]。

3.3　局限性及未来方向

本研究证实了基于有限元技术的翻转课堂教学在中医骨伤科临床实习中的可行性与有效性，但仍存在一定局限：其一，教学案例稍显单一，主要针对脊柱常见退行性疾病，对复杂体质、急性创伤或合并多系统疾病的模拟尚不充分；其二，有限元分析软件（如 Mimics）对硬件与操作技能要求较高，在基层医院或资源有限的教学机构中推广有一定难度。未来可开发集成化的“中医体质—有限元参数”智能匹配系统，降低学生建模与参数设置的难度；构建更丰富的临床案例库，涵盖不同疾病阶段与体质类型。通过持续优化教学模式与技术工具，有望进一步推动中医临床教育向数字化、精准化、个性化方向发展。

利益冲突　所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明　于长岁、鄢红春：教学实施、数据收集、论文撰写；朱立国：教学设计、修改论文；张清、龚道雄、李俊杰、张新岳：数据分析

参考文献

[1] 宋洋, 张晓云. 基于岗位胜任力的“传承—创新—实践”三位一体教学模式在中医急诊后期临床教学中的构建[J]. 中国中医急症, 2023, 32(4): 729-732, 748. DOI: 10.3969/j.issn.1004-745X.2023.04.044.

[2] Zhang Y. Interpretation of acupoint location in traditional Chinese medicine teaching: Implications for acupuncture in research and clinical practice [J]. Anat Rec, 2021, 304(11): 2372-2380. DOI: 10.1002/ar.24618.

[3] 张慧, 原晓风, 张淑波. 信息化平台下中医儿科学同步临床实践教学模式的临床应用[J]. 中国医药导报, 2023, 20(22): 76-79. DOI: 10.20047/j.issn1673-7210.2023.22.17.

[4] 仇盛蕾, 刘红旭, 尚菊菊. 改良 Morning Report 法在中医内科学临床思维能力训练教学中的应用效果分析[J]. 北京中医药, 2022, 41(5): 582-584. DOI: 10.16025/j.1674-1307.2022.05.031.

[5] 郑瑶洁, 张佩玲, 邓好, 等. 形成性评价在中医院校护生临床实习教学中的应用效果[J]. 中国医药导报, 2021, 18(31): 91-95. DOI: 10.20047/j.issn1673-7210.2021.31.022.

[6] Ruan W, Zheng Z, Jiang L, et al. Optimal cuspal coverage of ceramic restorations using CAD/CAM: biomechanical characteristic analysis by 3D finite element analysis and *in vitro* investigation [J]. Int J Comput Dent, 2022, 25(3): 267-276. DOI: 10.3290/j.ijcd.b2599709.

[7] Wang F, Zhang X, Liu M, et al. Clinical application and three-dimensional finite element analysis of along-axis extraction method in mandibular mesial and horizontally impacted third molar surgery [J]. Beijing Da Xue Xue Bao Yi Xue Ban, 2025, 57(1): 106-112. DOI: 10.19723/j.issn.1671-167X.2025.01.016.

[8] Zhou X. A conceptual review of the effectiveness of flipped learning in vocational learners' cognitive skills and emotional states [J]. Front Psychol, 2023, 13: 1039025. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.1039025.

[9] Zhou X, Yu G, Li X, et al. The application and influence of “Small Private Online Course” based on flipped classroom teaching model in the course of fundamental operations in surgery in China [J]. Sci Rep, 2024, 14: 375. DOI: 10.1038/s41598-023-50580-9.

[10] 袁红梅. 大学生学习自主性量表的修订及区域性常模的建立[D]. 长沙: 湖南师范大学, 2005.

[11] 刘芳, 余诗倩, 魏丽, 等. 儿科学混合式教学中的医学教育环境感知与学生学习自主性的关系研究[J]. 医学教育管理, 2024, 10(4): 498-503.

[12] Zawawi AH, Elzubeir M. Using DREEM to compare graduating students' perceptions of learning environments at medical schools adopting contrasting educational strategies [J]. Med Teach, 2012, 34(Suppl 1): S25-S31. DOI: 10.3109/0142159X.2012.656747.

[13] 南刚, 尉丁, 蒋建利, 等. 基于微课和翻转课堂的混合式教学在细胞生物学进展教学中的应用[J]. 中国细胞生物学学报, 2024, 46(5): 1030-1037. DOI: 10.11844/cjcb.2024.05.0010.

[14] 张昆亚, 宋红芳, 黄菊英, 等. 案例教学法在有限元分析课程的探索与实践[J]. 北京生物医学工程, 2024, 43(2): 200-204. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3208.2024.02.013.

[15] 吉彬彬, 蒋小剑, 任佳慧, 等. 基于项目的团队学习结合翻转课堂在护理研究教学中的应用[J]. 护理学杂志, 2024, 39(15): 65-68. DOI: 10.3870/j.issn.1001-4152.2024.15.065.

[16] Zhong Y, Zhang Y, Sun W, et al. An outcomes-based module education *via* flipped classroom enhances undergraduate oral histopathology learning [J]. BMC Med Educ, 2023, 23(1): 848. DOI: 10.1186/s12909-023-04753-9.

[17] Zou Y, Ji S, Yang HW, et al. Biomechanical evaluation of 2 endoscopic spine surgery methods for treating lumbar disc herniation: a finite element study [J]. Neurospine, 2024, 21(1): 273-285. DOI: 10.14245/ns.2347076.538.

[18] 李小山, 潘晶晶, 范倩倩, 等. ESA 的翻转课堂结合 SPOC 教学在康复医学科实习教学中的应用[J]. 中华医学教育探索杂志, 2022, 21(7): 874-877. DOI: 10.3760/cma.j.cn116021-20201228-00923.

（收稿日期：2025-06-11）
（本文编辑：唐宗顺）

《中华医学教育探索杂志》在线投稿
网址：yxjyts.cnjournals.com