

# 虚拟-现实手术模拟系统在眼科住院医师微创白内障手术培训中的应用效果

李佳骏, 李柯然, 商卫红

引用: 李佳骏, 李柯然, 商卫红. 虚拟-现实手术模拟系统在眼科住院医师微创白内障手术培训中的应用效果. 国际眼科杂志 2022;22(5):701-705

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目 (No.81700859); 南京医科大学教育研究课题 (No.2021YJS-LX015)

作者单位: (210029) 中国江苏省南京市, 南京医科大学附属眼科医院

作者简介: 李佳骏, 硕士, 研究方向: 白内障、屈光。

通讯作者: 商卫红, 副研究员, 科教处处长, 研究方向: 眼科教学管理、眼视光、健康管理. [swhong921@163.com](mailto:swhong921@163.com)

收稿日期: 2021-11-30 修回日期: 2022-04-02

## 摘要

**目的:** 探讨虚拟-现实手术操作训练在眼科住院医师微创白内障手术技能培训中的应用及效果。

**方法:** 前瞻性对照研究。选取 2019/2021 年在南京医科大学附属眼科医院已完成 3a 住院医师规范化培训的 20 名年资相同的眼科住院医师为研究对象, 通过理论考核后随机分为虚拟-现实手术操作训练 (Dry-lab) 组和实体动物手术操作训练 (Wet-lab) 组, 每组各 10 名。Dry-lab 组和 Wet-lab 组医师分别使用 Eye SI 虚拟手术模拟器和猪眼进行训练。训练结束后使用 Eye SI 虚拟手术模拟器和实体猪眼操作对两组住院医师的总体培训效果进行评分, 使用虚拟手术模拟器对两组住院医师的模块培训效果进行评分, 并采用问卷调查对两种培训方式进行客观评价。

**结果:** Dry-lab 组医师两项操作考核总评分、模拟器考核评分、实体猪眼操作考核评分均显著高于 Wet-lab 组 ( $88.03 \pm 1.34$  分 vs  $80.35 \pm 2.87$  分,  $87.50 \pm 3.03$  分 vs  $77.60 \pm 5.62$  分,  $88.57 \pm 1.89$  分 vs  $83.10 \pm 3.22$  分, 均  $P < 0.01$ )。模拟器模块考核结果显示, Dry-lab 组医师各模块考核评分及用时均显著优于 Wet-lab 组 ( $P < 0.01$ )。问卷调查结果显示, 在培训新颖性、是否贴近真实手术体验、对显微手术技能提高的帮助程度、经过该培训是否有信心进行真实手术及手术培训的整体满意度方面, Dry-lab 组医师对于培训方式的效果评价均优于 Wet-lab 组 ( $P < 0.05$ )。

**结论:** 将虚拟-现实手术操作训练应用于眼科住院医师白内障手术技能培训可以显著提升住院医师的白内障显微手术操作技能, 提高培训整体满意度, 帮助住院医师在执业初期提升真实手术时的信心、心理素质、决策及处理能力, 为建立眼科住院医师正式、规范化的白内障手术培训体系提供了新的标准和模式。

**关键词:** 虚拟-现实手术模拟系统; 微创白内障手术培训; 住院医师; Eye SI 虚拟手术模拟器

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2022.5.01

## Application and effect of virtual - reality surgery simulation system in minimally invasive cataract surgery training for ophthalmology residents

Jia-Jun Li, Ke-Ran Li, Wei-Hong Shang

**Foundation items:** National Natural Science Foundation of China (No.81700859); Education Research Project of Nanjing Medical University (No.2021YJS-LX015)

The Affiliated Eye Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu Province, China

**Correspondence to:** Wei-Hong Shang. The Affiliated Eye Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210029, Jiangsu Province, China. [swhong921@163.com](mailto:swhong921@163.com)

Received: 2021-11-30 Accepted: 2022-04-02

## Abstract

• **AIM:** To investigate the application and effect of virtual-reality surgery exercise in minimally invasive cataract surgery training for ophthalmology residents.

• **METHODS:** Twenty ophthalmology residents with equal seniority who had completed 3a standardized residency training in the Affiliated Eye Hospital of Nanjing Medical University from 2019 to 2021 were prospectively enrolled. After passing the theoretical examination, residents were randomly divided into virtual surgery exercise (Dry-lab) group ( $n = 10$ ) and real animal surgery exercise (Wet-lab) group ( $n = 10$ ). Dry-lab and Wet-lab group residents performed training using the Eye SI surgical simulator and pig eye respectively. At the end of the training, the overall training effects of the residents in both groups were rated using the Eye SI surgical simulator and the real pig eye operation, and the module training effects of the residents in both groups were rated using the virtual surgical simulator. Furthermore, a questionnaire survey was used to objectively evaluate the two training methods.

• **RESULTS:** Residents in Dry-lab group had significantly higher total scores on both operation assessments, simulator assessment and real pig eye operation assessment than Wet-lab group ( $88.03 \pm 1.34$  vs  $80.35 \pm 2.87$ ,  $87.50 \pm 3.03$  vs  $77.60 \pm 5.62$ ,  $88.57 \pm 1.89$  vs  $83.10 \pm 3.22$ , all  $P < 0.01$ ). The simulator module assessment results showed that the residents in Dry-lab group scored significantly better than Wet-lab group in terms of scores

and completion time on each module ( $P < 0.01$ ). The questionnaire results showed that Dry-lab group rated better than Wet-lab group in terms of the novelty of training, the proximity to the real surgical experience, the degree of help to the improvement of microsurgery skills, the confidence to perform real surgery, and the overall satisfaction of surgical training ( $P < 0.05$ ).

• **CONCLUSION:** Applying virtual-reality surgery exercise to cataract surgery skills training for ophthalmology residents can significantly improve the cataract skills, increase overall training satisfaction, and help residents enhance their confidence, psychological quality, decision-making, and processing ability during real surgery at the initial stage of practice. This provides a new standard and model for establishing a formal and standardized cataract surgery training system for ophthalmology residents.

• **KEYWORDS:** virtual-reality surgery simulation system; minimally invasive cataract surgery training; resident physician; Eye SI virtual surgical simulator

**Citation:** Li JJ, Li KR, Shang WH. Application and effect of virtual-reality surgery simulation system in minimally invasive cataract surgery training for ophthalmology residents. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022;22(5):701-705

## 0 引言

白内障作为眼科临床常见的致盲性眼病,可导致严重的视力受损甚至失明。中国目前约有1100万白内障患者且每年递增80万<sup>[1]</sup>,与此相对的是,目前我国白内障手术覆盖率较低,掌握白内障手术操作技能的医师数量仍然较为短缺<sup>[2]</sup>。长期以来我国各教学医院眼科手术培训多采用基于传统的霍尔斯特德式<sup>[3]</sup>学徒学习模式,这种模式很大程度上依赖于有经验的手术医师带教及重复教学指导,但手术医师能力参差不齐,教学内容随机,培训周期长,以及将患者用于培训目的而产生的伦理问题均对传统培训模式产生了很大影响,术后并发症发生率增加、预后不佳、医患关系紧张等诸多问题也是影响传统学徒模式持续开展的重要原因<sup>[4-5]</sup>。实体动物手术操作(Wet-lab)训练在实际培训开展过程中,其学习曲线较长,设备及器材损耗较大,可供反复操作的机会有限,并且缺乏客观的考核评价指标<sup>[6]</sup>。如何提高白内障手术培训效率,有效提高手术医师显微操作的精准性及空间立体感知力,白内障手术培训模式的改进就显得尤为重要。虚拟-现实技术(virtual reality technology, VR)是一类囊括计算机、电子信息、仿真技术的三维空间虚拟环境,通过感知和捕捉参与者的位置及动作信息,为其提供触觉、视觉和听觉等全方位的环境沉浸感<sup>[7]</sup>。通过该技术开发的虚拟仿真项目在医学教育、心理培训、军事练习等诸多领域逐步推广应用。本研究将基于VR的Eye SI虚拟手术模拟(VR magic, Germany)系统应用到白内障手术教学实践中,通过比较虚拟-现实手术操作(Dry-lab)训练和Wet-lab训练的差异和效果,尝试突破传统培训方法的局限,以提高白内障手术的培训效果和质量。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 前瞻性对照研究。选取2019/2021年在南京医科大学附属眼科医院已完成3a住院医师规范化培训的20名眼科住院医师为研究对象。纳入标准:入组眼科住院医师均已通过国家临床执业医师资格考试,年资相同并且已完成眼科3a住院医师规范化培训、既往未参与过白内障相关显微手术模拟操作或实体操作实践。排除标准:无法按时完成教学培训计划、无法参与教学后评估、轮转时间小于3a、既往参加过白内障相关手术模拟操作或实体操作。由一名经验丰富的白内障专科主任医师进行为期3d的白内障基础理论授课后,对入组住院医师进行理论考核并由另一名教师记录理论考核成绩。20名住院医师均通过理论考核并随机分为Dry-lab组和Wet-lab组,每组各10名,其中Dry-lab组男6名,女4名,平均年龄 $28.80 \pm 1.32$ 岁;Wet-lab组男3名,女7名,平均年龄 $29.30 \pm 1.16$ 岁。两组住院医师性别、年龄、学历、年资、轮转时间、理论考核等方面差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),具有可比性。本研究经过南京医科大学附属眼科医院伦理委员会批准,所有参与者均已签署知情同意书。

## 1.2 方法

**1.2.1 培训仪器** Dry-lab组采用由计算机驱动的虚拟-现实手术模拟系统即Eye SI虚拟手术模拟器,可以在显微镜下显示人眼晶状体结构的三维图像,模拟手术器械操作手感并及时提供操作响应与触觉反馈,学习者可以通过显微镜看到眼前节的立体手术视野,逐一学习白内障手术操作的重要模块,反复多次训练掌握白内障手术要领。此外该模拟器模型眼中的摄像头及器械上的传感器可以识别与监测器械的运行轨迹和压力数据,训练结束时根据多项标准对操作进行评分,给出客观性量化与标准化的训练评价,并可以回顾和下载学习者的历史操作数据,便于后期分析。Wet-lab组则采用猪眼作为手术模型,使用常规白内障超声乳化仪进行操作培训。

**1.2.2 培训过程** 基础理论知识培训通过讲授白内障超声乳化手术的各个步骤、操作技巧及注意事项,并播放白内障超声乳化手术录像,使住院医师对白内障手术过程有整体连续性认识。理论考核后,两名具有带教经验的白内障副主任医师作为指导教师分别介绍两组仪器使用方法、操作注意事项等。Dry-lab组医师使用Eye SI虚拟手术模拟器完成4个模块训练,每个模块训练10次:(1)抗抖动模块要求使用者操纵模拟手术探头在前囊表面沿一环形路径精准地移动一小球,对应实体猪眼操作中训练医师控制器械在切口部位准确移动并完成环形撕囊;(2)夹持模块要求使用者抓取6个物体将其放入中央前房的“篮子”中,对应实体猪眼操作中训练医师使用器械保持眼部居中并精准抓取囊瓣并移动;(3)撕囊模块要求使用者向前房注入黏弹剂并使用撕囊镊进行连续环形撕囊;(4)超声乳化模块要求使用者操纵模拟超声乳化针头吸住核碎块并完成刻槽劈核及核碎块的乳化吸除。Wet-lab组医师使用猪眼进行内容对应的模块训练,包括显微镜下稳定性及准确性动作训练、连续环形撕囊、刻槽与劈核、超声乳化等4个模块训练,每个模块训练10次。两组医师在每个模块训练结束后经带教老师评价确认后方可进入下一模块

的训练。最后两组住院医师在 Eye SI 虚拟手术模拟器和实体猪眼操作上完成操作考核评分,取两项操作考核评分的平均值作为两组住院医师的最终总评分,并进一步在模拟器上完成模块操作考核评分。Eye SI 虚拟手术模拟器根据两组医师操作自动生成评分。实体猪眼操作由两名未参与理论考核及培训过程的具有相同年资的副主任医师进行评分,评分参照国际眼科理事会—白内障手术技能评估<sup>[8]</sup>相关标准,包括操作完成时间、流利程度、切口应力、撕囊完整性、后囊膜状态、超声乳化情况及并发症等,两名副主任医师对两组住院医师各自接受的训练方式均不知情,其平均分作为两组住院医师的操作考核得分。

**1.2.3 培训问卷调查** 通过分析国内外关于白内障手术培训相关文献<sup>[9-12]</sup>,自行设计调查问卷,并由医院管理专家对问卷设计进行论证,在研究过程中实施监督及质量控制。该问卷包含 5 个项目即培训方式是否具有新颖性、是否贴近真实手术体验、对显微手术技能提高的帮助程度、经过该培训是否有信心进行真实手术、手术培训的整体满意度等。采用 Likter 5 点计分法,如非常具有新颖性/非常贴近真实体验/非常有帮助/非常有信心/非常满意为 5 分,完全无新颖性/无法贴近真实体验/无明显帮助/没有信心/非常不满意为 1 分,由研究对象按 1~5 分从低到高逐层进行评价。

统计学分析:本次研究的数据收集后用 Epidata3.1 进行录入,采用 SPSS 20.0 统计软件进行统计学分析。计量资料采用均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,两组间比较采用独立样本 *t* 检验。计数资料的组间比较采用 Fisher 确切概率法检验。 $P < 0.05$  为差异具有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 两组眼科住院医师总体考核评分比较** Dry-lab 组医师两项操作考核总评分(88.03±1.34 分)显著高于 Wet-lab 组(80.35±2.87 分),差异具有统计学意义( $t = 7.669, P < 0.01$ ),其中模拟器考核结果显示 Dry-lab 组医师操作考核评分(87.50±3.03 分)显著高于 Wet-lab 组(77.60±5.62 分),差异具有统计学意义( $t = 4.900, P < 0.01$ );实体猪眼操作考核结果显示 Dry-lab 组医师操作考核评分(88.57±1.89 分)显著高于 Wet-lab 组(83.10±3.22 分),差异具有统计学意义( $t = 4.632, P < 0.01$ )。

**2.2 两组眼科住院医师 Eye SI 虚拟手术模拟器模块考核评分及用时比较** Dry-lab 组医师在抗抖动模块、夹持模块、撕囊模块、超声乳化模块考核评分均高于 Wet-lab 组,模拟考核用时均低于 Wet-lab 组,差异均有统计学意义( $P < 0.01$ ),见表 1。

**2.3 两组眼科住院医师调查问卷评分比较** 在培训方式新颖性、是否贴近真实手术体验、对显微手术技能提高的帮助程度、是否有信心进行真实手术及手术培训的整体满意度方面,Dry-lab 组总体评价均高于 Wet-lab 组,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),见表 2。

## 3 讨论

随着我国人口老龄化加速,目前我国中老年人群白内障发病率达到 80% 以上,白内障手术的需求呈指数增长<sup>[13]</sup>。白内障超声乳化手术是眼科手术中较难掌握的内眼微创显微手术之一,其学习曲线长,对手术操作的标准

化及精准性要求较高<sup>[14]</sup>。然而在当今国情和医疗大环境下,眼科青年白内障手术医生的培养体系仍存在短板,如培训效率较低,出于为病人安全考虑,实操机会较少等。因此有必要真正把规范标准的实操培训做到青年医生成长历程中重要的一环<sup>[15]</sup>。如今国内白内障手术培训主要采用理论培训、观看白内障手术录像及 Wet-lab 训练相结合的培训模式<sup>[16]</sup>。手术录像虽然可供反复学习,但缺乏主观感受和体验;而 Wet-lab 训练作为我国眼科住院医师白内障手术技能培训的主要方式之一,虽拥有接近人眼手术的真实体验,但其尚无法完全复制人眼的解剖结构,无法模拟疑难病例及真实手术可能出现的并发症,且原材料、设备及器材损耗较大,难以大规模推广。因此,亟需建立可重复、高效的白内障手术操作培训模式,以缩短学习曲线,提高培训效率。

VR 技术是一种利用计算机生成的具有多源信息融合的、交互式的三维动态视景和实体行为的模拟环境,为用户提供触觉、视觉和听觉等全方位的环境沉浸感,获得身临其境的体验<sup>[17]</sup>。VR 技术目前已逐渐应用于教育、医学、军事、心理等诸多领域。其通过高度仿真、互动的情境设置,改变了传统教学模式,丰富了教学手段并延伸教学内涵,以有效激发学生的学习积极性和增强学习体验,在实验教学、实践性人才培养等方面越来越受到关注。Eye SI 虚拟手术模拟器是基于 VR 技术设计的计算机视觉 Dry-lab 训练平台,由连接人体模型头部和模型眼的计算机系统、脚踏板及提供三维立体图像的手术显微镜组成<sup>[18]</sup>,具备高仿真、可重复、随时可用等特点,其利用 VR 技术构建正常人眼解剖结构的模拟系统,创造出的图像不仅具有立体感,而且还给人以真实感,以此进行教学可以增强课堂教学的生动性和形象性。不仅如此,使用者还可以通过手柄对三维立体眼模型进行旋转、放大或缩小、拉近或拉远,可以直观地观察眼内结构,从而更容易理解眼球解剖结构。使用者可以进行基本眼内显微操作训练、撕囊、超声乳化等操作。相比于传统 Wet-lab 训练不受材料的限制,可供学习者反复训练,其训练模块不仅可以将复杂的白内障手术技能分解为小的步骤,同时基于学员水平开启培训模块,程序性训练使学习者循序渐进掌握手术技巧。此外模拟器的识别系统还可以连续记录学习者的操作过程,实时提醒错误操作,使学习者能够理解每一个错误步骤对下一个步骤的影响,最大可能减少真实手术时并发症的产生,培养学习者手术创伤最小化的意识。在训练结束后,学习者还可以根据模拟器自动生成的客观评估报告,进行回放观摩和学习,利于发现自身问题并加以修正,使教学、训练和考核环节变得可量化和标准化<sup>[19]</sup>。

研究发现,经过 Dry-lab 训练的眼科医生超声乳化时使用能量降低(由 28% 降低至 25%),时间缩短(由 2.8min 减少到 1.88min)<sup>[20]</sup>;通过 Dry-lab 训练完成 604 例撕囊训练的医生和未经过 Dry-lab 训练完成 463 例撕囊的医生比较,手术并发症降低 64%<sup>[21]</sup>。丹麦的一项研究发现,Dry-lab 训练的医生超声乳化手术标准与现实手术高度一致<sup>[22]</sup>。英国皇家眼科学院 10a 跟踪研究了 14000 例手术,发现眼科医生经过 Dry-lab 训练,后囊破裂等并发症减少 40%<sup>[23]</sup>。虽然多项研究已表明 Dry-lab 训练可以提

表1 两组眼科住院医师 Eye SI 虚拟手术模拟器模块考核评分及用时比较

组别	抗抖动模块		夹持模块		撕囊模块		超声乳化模块	
	考核评分(分)	考核用时(min)	考核评分(分)	考核用时(min)	考核评分(分)	考核用时(min)	考核评分(分)	考核用时(min)
Dry-lab 组	87.40±3.13	0.50±0.04	87.90±2.96	0.81±0.09	87.80±2.90	1.69±0.12	87.70±4.00	4.26±0.42
Wet-lab 组	79.30±3.71	0.66±0.06	81.20±2.78	1.02±0.07	78.90±3.51	2.31±0.36	79.80±3.33	4.96±0.35
<i>t</i>	5.271	-6.878	5.216	-5.801	6.183	-5.230	4.801	-4.022
<i>P</i>	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表2 培训调查问卷评分情况

项目	Dry-lab 组	Wet-lab 组	<i>t</i>	<i>P</i>
培训方式是否具有新颖性	4.70±0.48	1.90±0.74	10.040	<0.01
是否贴近真实手术体验	4.50±0.71	3.50±0.85	2.860	<0.05
对显微手术技能提高的帮助程度	4.30±0.68	2.70±0.68	5.301	<0.01
是否有信心进行真实手术	4.00±0.82	1.80±0.79	6.128	<0.01
手术培训的整体满意度	4.70±0.49	2.90±0.74	6.454	<0.01

高白内障手术技术,减少手术并发症,但仍缺乏前瞻性研究比较 Dry-lab 训练与传统 Wet-lab 训练在白内障手术训练中的总体效果差异。本研究通过对比 Dry-lab 训练和 Wet-lab 训练在住院医师白内障手术操作培训中的应用效果,发现经过 Dry-lab 训练的医师,其模拟器考核平均分及4个模块10次训练的总体平均分均明显高于 Wet-lab 训练组。眼科住院医师通过 Dry-lab 训练后白内障手术各模块操作技能相比 Wet-lab 训练组得到了明显提高,这与 Thomsen 等<sup>[24]</sup>和 Bozkurt Oflaz 等<sup>[25]</sup>研究结果相似。抗抖动模块与夹持模块的模拟考核结果表明,虚拟手术模拟器训练提高了住院医师眼前节及眼内操作的精准性和稳定性,减少对角膜、晶状体以及其他前房组织的损伤和干扰,为后期精准撕囊提供基础;而撕囊模块作为白内障手术难度较大的步骤之一,虚拟手术模拟器可以提供各种方向及不同难度的撕囊训练模式,从而模拟与真实人眼几乎相同的撕囊体验,提高其对撕囊方向、撕囊直径控制的精准度及面对突发情况的心理承受能力及应变能力;超声乳化模块是白内障手术中最为关键、难度最大且学习周期最长的步骤,虚拟-现实手术模拟系统可以通过改变核硬度、增加后房压力和浪涌等复杂白内障手术体验的方式,进一步提升住院医师对刻槽与劈核、核碎块乳化吸除等步骤的熟练程度,训练其对超声乳化时间及能量的控制,减少后囊膜破裂、角膜水肿等并发症的发生,极大缩短了白内障手术的学习曲线,为过渡至真实手术奠定了安全基础。

此外,本研究考虑到 Dry-lab 组医师通过训练后对 Eye SI 虚拟手术模拟器的熟悉程度可能优于 Wet-lab 训练组由此造成结果偏倚,故同样对两组医师进行了实体猪眼操作考核,结果发现虽然 Wet-lab 组医师实体猪眼操作考核均分略高于其模拟器操作考核均分,但仍低于 Dry-lab 组医师实体猪眼操作考核均分。分析原因有出于对仪器的熟练程度,但更重要的是我们发现在实体猪眼操作考核过程中,经过 Dry-lab 训练的医师对于撕囊、超声乳化等白内障手术最核心、最难掌握的操作步骤仍具有非常显著的优势,具体表现在 Dry-lab 组医师操作完成时间短,动作连贯性高,撕囊时直径大小合适,偏差值较小,使

用的超声乳化能量低且组织损伤程度较小等。Eye SI 虚拟手术模拟器不仅可以提供针对性的模块训练提升白内障手术器械的使用技巧,提高操作的准确性及稳定性,而且在训练过程中可以提供多种客观评价指标,Dry-lab 组医师可依据这些指标有效调整,使其更从容地应对不同方式不同情况的操作考核,而这是实体猪眼训练无法比拟的。同时调查问卷分析显示经过 Dry-lab 训练操作的医生更倾向于对该培训模式表达出浓厚的兴趣和学习热情,认为该操作更贴近真实手术体验,对显微手术技能提高帮助更大并且更有信心进行真实手术,整体满意度也显著高于 Wet-lab 组。以上结果均表明基于 VR 技术设计的 Dry-lab 训练平台可有效提升白内障显微手术操作技能,帮助青年住院医师在执业初期提升真实手术时的信心、心理素质、决策及处理能力,助力青年医生的专业成长和临床实践。

综上所述,基于 VR 技术设计的 Dry-lab 系统通过分模块培训的方式,由易到难、循序渐进提升了青年眼科住院医师的白内障手术操作技能,是一种独立于病人的高仿真手术培训系统,是对目前缺乏正式、标准化的白内障培训方式的良好补充。当然,由于 Dry-lab 系统平台目前仍处于进一步探索期,模块的设计还有待进一步改进和完善。有研究表明虚拟与实体训练相结合或许是一种更为理想的白内障手术培训模式<sup>[26]</sup>。在未来的实践中,如何进一步优化虚拟手术模拟器的使用,系统有效地将 Dry-lab 训练与实体训练整合,给予学习者更多的学习机会,并有效提升其心理素质、判断能力及应变能力,最终达到真实白内障手术的要求,仍需不断探索完善。

参考文献

- 姚克. 我国白内障研究发展方向及面临的问题. 中华眼科杂志 2015; 51(4): 241-244
- 黄家林, 刘斌, 朱增钦, 等. 发展中国家白内障手术的现状. 国际眼科杂志 2013; 13(6): 1142-1146
- Haward RN, Webster DL. Teaching cataract surgery to trainees in the operating theatre. *Clin Exp Ophthalmol* 2016; 44(3): 222-223
- Ellis EM, Lee JE, Saunders L, et al. Complication rates of resident-performed cataract surgery: impact of early introduction of cataract surgery training. *J Cataract Refract Surg* 2018; 44(9): 1109-1115
- Jacobsen MF, Holm LM, Erichsen JH, et al. Defining the surgical

footprint in cataract surgery: patient-related outcomes dependent on the experience of the surgeon. *Acta Ophthalmol* 2021; 99(7): e999-e1005

6 焦剑, 丁炎娥, 华文. 动物实验与医学模拟教学相结合提高白内障手术培训效果. *眼科* 2018; 27(1): 66-70

7 Rizzo AS, Koenig ST. Is clinical virtual reality ready for primetime? *Neuropsychology* 2017; 31(8): 877-899

8 Golnik KC, Beaver H, Gauba V, *et al.* Cataract surgical skill assessment. *Ophthalmology* 2011; 118(2): 427.e1-5

9 吴航, 戴惟葭, 董莹, 等. 手术模拟器培训眼科青年医师显微手术技能的观察研究. *国际眼科杂志* 2015; 15(7): 1240-1241

10 陈迪, 于伟泓, 张潇, 等. 中国眼科的住院医师外科手术带教现状调查及分析. *基础医学与临床* 2021; 41(7): 1076-1080

11 Kaur S, Shirodkar AL, Nanavaty MA, *et al.* Cost-effective and adaptable cataract surgery simulation with basic technology. *Eye (Lond)* 2021 [Epub ahead of print]

12 Hu YG, Liu QP, Gao N, *et al.* Efficacy of wet-lab training versus surgical-simulator training on performance of ophthalmology residents during chopping in cataract surgery. *Int J Ophthalmol* 2021; 14(3): 366-370

13 詹磊磊, 陶然, 徐笑. 我国 60 岁以上白内障患者实施手术的卫生经济学分析. *中国医院* 2019; 23(6): 39-41

14 曾思明, 李敏, 李莉. 眼科显微手术技能培训模式探讨. *国际眼科杂志* 2012; 12(7): 1370-1371

15 Nair AG, Ahiwalay C, Bacchav AE, *et al.* Effectiveness of simulation-based training for manual small incision cataract surgery among novice surgeons; a randomized controlled trial. *Sci Rep* 2021; 11(1): 10945

16 陈迪, 张顺华, 卞爱玲, 等. 适应医院临床工作的白内障手术 Wet lab 培训模式的建立与实践. *中国医药导报* 2021; 18(19): 92-94, 101

17 邹绚, 睢瑞芳. 虚拟现实与增强现实技术在眼科教学中的应用现状. *基础医学与临床* 2020; 40(12): 1744-1748

18 Bakshi SK, Lin SR, Ting DSW, *et al.* The era of artificial intelligence and virtual reality: transforming surgical education in ophthalmology. *Br J Ophthalmol* 2021; 105(10): 1325-1328

19 张潇, 戴荣平, 张美芬. 手术模拟器在白内障手术训练中的应用. *基础医学与临床* 2018; 38(11): 1661-1664

20 Belyea DA, Brown SE, Rajjoub LZ. Influence of surgery simulator training on ophthalmology resident phacoemulsification performance. *J Cataract Refract Surg* 2011; 37(10): 1756-1761

21 McCannel CA, Reed DC, Goldman DR. Ophthalmic surgery simulator training improves resident performance of capsulorhexis in the operating room. *Ophthalmology* 2013; 120(12): 2456-2461

22 Thomsen AS, Smith P, Subhi Y, *et al.* High correlation between performance on a virtual-reality simulator and real-life cataract surgery. *Acta Ophthalmol* 2017; 95(3): 307-311

23 Ferris JD, Donachie PH, Johnston RL, *et al.* Royal College of Ophthalmologists' National Ophthalmology Database study of cataract surgery; report 6. The impact of EyeSi virtual reality training on complications rates of cataract surgery performed by first and second year trainees. *Br J Ophthalmol* 2020; 104(3): 324-329

24 Thomsen ASS, Bach-Holm D, Kjaerbo H, *et al.* Operating room performance improves after proficiency-based virtual reality cataract surgery training. *Ophthalmology* 2017; 124(4): 524-531

25 Bozkurt Oflaz A, Ekinci Köktekir B, Okudan S. Does cataract surgery simulation correlate with real-life experience? *Turk J Ophthalmol* 2018; 48(3): 122-126

26 McAlister C. Breaking the silence of the switch - increasing transparency about trainee participation in surgery. *N Engl J Med* 2015; 372(26): 2477-2479