

基于 EyeSi 手术模拟器评估眼科医师白内障手术水平

黄旗, 邓旭雯, 王佩佩, 陈烨群, 古学军

南昌大学附属眼科医院 白内障科, 江西 南昌 330006

摘要: **目的** 探讨专家眼科医师与新手眼科医师在 EyeSi 手术模拟器进行白内障手术模块中的得分表现。 **方法** 在南昌大学附属眼科医院选择 10 位高年资主治医师以上眼科医师(专家组)和 15 位住院及低年资主治医师(新手组)参加试验。每位参与者在 EyeSi 手术模拟器白内障手术模块 CAT-B 的 5 个项目(包括撕囊、水分离、劈核和超乳、IA 皮质吸除、人工晶体植入)中操作三次,取最高分作为该项目得分。 **结果** 专家组在 CAT-B 模块的 5 个测试项目(撕囊、水分离、劈核与超乳、IA 皮质吸除、人工晶体植入)中得分均高于新手组,差异具有统计学意义($P < 0.05$)。专家组在撕囊居中性、连贯性、液波形成充分性、超声能量使用效率、皮质残留清除彻底性、人工晶体植入准确性等关键指标上得分高;在角膜内皮损伤、悬韧带损伤、前后囊破裂、操作时间延长等扣分项目中扣分少。 **结论** 专家组在准确性、操作效率和组织保护方面表现优于新手组。EyeSi 手术模拟器能够客观评价眼科医师的白内障手术水平,可作为临床眼科规范化培训和白内障手术教学效果评估的有效工具。

关键词: EyeSi 手术模拟器; 白内障手术; 规范化培训; 手术教学

中图分类号: R776.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-3770(2025)05-0083-06

引用格式: 黄旗, 邓旭雯, 王佩佩, 等. 基于 EyeSi 手术模拟器评估眼科医师白内障手术水平[J]. 山东大学耳鼻喉眼学报, 2025, 39(5):83-88. HUANG Qi, DENG Xuwen, WANG Peipei, et al. Research on evaluating the cataract surgery level of ophthalmologists using eyeSi surgical simulator[J]. Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University, 2025, 39(5):83-88.

Research on evaluating the cataract surgery level of ophthalmologists using eyeSi surgical simulator

HUANG Qi, DENG Xuwen, WANG Peipei, CHEN Yequan, GU Xuejun

Department of Cataract, the Affiliated Ophthalmic Hospital of Nanchang University, Nanchang 330006, Jiangxi, China

Abstract: **Objective** To explore the scoring performance of expert and novice ophthalmologists in the cataract surgery module using the EyeSi surgical simulator. **Methods** A total of 10 senior attending or higher-level ophthalmologists (expert group) and 15 residents or junior attending ophthalmologists (novice group) from the Affiliated Eye Hospital of Nanchang University were recruited. Each participant performed three operations on the five items of the EyeSi cataract surgery module CAT-B (including capsulorhexis, hydrodissection, nucleus splitting and phacoemulsification, IA cortical aspiration, and intraocular lens implantation), with the highest score recorded for each item. **Results** In the 5 test items of the CAT-B module (capsulorhexis, hydrodissection, nucleus cracking and phacoemulsification, IA cortical aspiration, and intraocular lens implantation), the expert group scored higher than the novice group, with statistically significant differences ($P < 0.05$ for all). The expert group achieved higher scores in key indicators such as capsulorhexis centrality, continuity, adequate fluid wave formation, ultrasound energy efficiency, thorough cortical removal, and accurate intraocular lens implantation. Meanwhile, they had fewer deductions in negative aspects like corneal endothelial damage, zonular damage, capsular rupture, and prolonged operation time. **Conclusion** The expert group outperformed the novice group in terms of accuracy, operational efficiency, and tissue protection. The EyeSi surgical simulator is capable of objectively evaluating the cataract surgery skills of ophthalmologists and can serve as an effective tool for standardized ophthalmic clinical training and assessment of cataract surgery teaching effectiveness.

Key words: EyeSi surgical simulator; Cataract surgery; Standardized training; Surgical teaching

白内障手术是眼科中较常见的手术,全世界每年进行的手术超过 2 000 万例^[1]。白内障超声乳化手术是目前手术治疗白内障的有效方法,也是眼科

医师需要培训掌握的重点内容之一^[2-3]。传统的白内障手术师徒培养模式存在耗时长、风险高、师资匮乏等问题。年轻医生要经历漫长的学习过程,且经

常面对手术风险所带来的压力^[4]。而当前流行的猪眼白内障手术训练效果评价较为主观,这对白内障手术步骤的针对性指导带来挑战。

通过虚拟现实(virtual reality, VR)技术,医生能够在高度仿真的手术场景中进行多次反复练习,避免对患者造成风险^[5-7]。VR 手术训练不受时间限制,医生可以选择空闲时间进行自由训练,这提高了培训的灵活性和效率^[8-10]。本研究主要聚焦于白内障手术模块中的撕囊、水分离、劈核和超乳、IA(Irrigation and aspiration)皮质吸除、人工晶体植入等项目,探讨一种基于 VR 技术的眼科培训系统——EyeSi 手术模拟器在眼科医师白内障手术显微操作培训中的应用效果^[11-12]。

1 资料与方法

1.1 仪器

EyeSi 手术模拟器(VRmagic 公司,德国)是一款专为眼内手术培训设计的尖端虚拟现实设备^[13]。该模拟器通过脚踏板平移、缩放聚焦显微镜,前节及模型眼旋转移动等功能,创造了一个真实感和沉浸感的训练环境,并配备跟踪系统捕捉仪器和眼睛的运动。在白内障手术培训中,操作者需要眼、手、脚进行同步协作。EyeSi 手术模拟器能够提供从基本技能训练到复杂多步骤的白内障手术培训,同时配备客观的评价系统,保证新手手术医师全方位、针对性地反复练习^[14]。然而,该模拟器不能让眼科医生更真实地体验白内障手术的触觉反馈手感,且不能对手术过程中出现的并发症做出及时指导性的应对措施。

1.2 方法

1.2.1 分组及训练

本研究共招募了 25 位来自南昌大学附属眼科

医院的眼科医师,包括 10 位高年资主治以上眼科医师(专家组)和 15 位住院及低年资主治医师(新手组)。高年资主治医师是指从事主治医师岗位工作 3 年以上,或获得临床博士学位、从事主治医师岗位工作 2 年以上者。所有参与者均已提供口头知情同意参与本研究。本研究获得南昌大学附属眼科医院医学研究伦理委员会批准(批号:YLP20250061)。收集所有眼科医师的年龄、性别、惯用手等基本信息。

所有训练均在单一的 EyeSi 显微手术模拟器上进行,每位参与者执行白内障手术模块任务。进行本研究时,制造商仅提供基本导航任务软件。专家组和新手组两组之前均接受过传统的白内障手术培训,且均可在猪眼完成白内障超声乳化手术步骤,为减少熟悉性偏见,所有参与者事先没有接触过这台仪器,但是为了在计分前获得实际操作经验,所有参与者现场统一进行了一次理论培训和一次实践操作试运行。

1.2.2 评价项目

本研究采用 EyeSi 手术模拟器自带的白内障手术评分系统进行评估^[15-16]。评分内容包括撕囊、水分离、劈核与超乳、IA 皮质吸除及人工晶体植入。每个步骤均从以下 4 个维度进行量化评分:①达标情况;②操作效率;③仪器操作;④组织处理。

评分体系中,达标情况项目为基础加分项,单项满分为 100 分。操作效率(以手术时间控制为指标)、仪器操作、组织处理等方面存在技术失误或组织损伤时,根据标准细则扣除相应分值,最终得分为基础分减去扣分分值。

所有参与者在上述 5 个项目中各完成 3 次操作,取最高得分作为该项目的最终成绩。评分细则详见表 1。

表 1 白内障手术评分项目及其子项目
Table 1 Cataract surgery score project and its sub-project

评分内容	撕囊	水分离	劈核与超乳	IA 皮质吸除	人工晶体植入
达标情况	环形撕囊的圆度	解剖完成情况检查	移除的晶状体量 ^[19]		
	撕囊中心距角膜中心的水平距离 ^[17]	水分完成的情况 ^[18]	超声能量使用	残留的粘弹剂	
	撕囊半径偏离 2.5 mm 的程度	水分检查情况	超声能量泄露	皮质去除情况	支撑物置于囊袋上方
	环形撕囊的最大径向扩展	液体的注入量	转核对悬韧带损害	IOL 倒置	
	局部不规则	水分不充足	超声能量对角膜损害	未涂覆足够粘弹剂的情况下移动 IOL	

续表

评分内容	撕囊	水分离	劈核与超乳	IA 皮质吸除	人工晶体植入
仪器操作	仪器水平插入/移除	手术未在红光反射下操作	仪器水平插入/移除	仪器水平插入/移除	
		手术未在红光反射下操作	手术未在红光反射下操作	手术未在红光反射下操作	
		灌注无效期间插入或移除	灌注无效期间插入或移除	灌注无效期间插入或移除	灌注无效期间插入或移除
		虹膜接触			
组织处理	角膜损伤面积	角膜损伤面积	角膜损伤面积		
		悬韧带损伤	悬韧带损伤	悬韧带损伤后囊破裂 ^[20]	悬韧带损伤
		前囊膜破裂	后囊膜破裂	前囊膜破裂前房塌陷 ^[21]	前囊膜破裂
		后囊膜破裂	虹膜接触	后囊膜破裂房室塌陷	前囊膜破裂
显微镜操作	—	—	—	—	显微镜操作

1.3 统计学处理

应用 SPSS 25.0 软件。满足正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 专家组与新手组在五个项目上的操作时长及总时长差异采用独立样本 t 检验分析; 不符合正态分布的变量采用 Mann-Whitney U 检验。分类变量用频数表示, 专家组与新手组在性别比例上的差异采用 χ^2 检验进行统计分析。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

2.1 基本资料

研究共有 25 位医生参与。专家组外科医生年龄为 41~52 岁, 平均 45 岁。新手组参与者年龄为 25~36 岁, 平均 29 岁。专家组与新手组组间年龄分

布差异具有统计学意义 ($t = 4.56, P = 0.001$)。专家组由 30% 的女性组成, 而新手组为 53% 的女性 ($\chi^2 = 1.32, P = 0.249$) 差异无统计学意义。所有医生的惯用手为右手, 见表 2。

2.2 两组 VR 评分结果对比

比较专家组在撕囊、水分离、劈核与超乳、IA 皮质吸除、人工晶体植入项目上的得分均高于新手组, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$)。在得分项目中, 专家组在撕囊居中性、撕囊连贯性、液波形成充分性、超声能量使用效率、皮质残留清除彻底性以及人工晶体植入准确性等关键指标上得分更高; 在扣分项目中, 专家组在角膜内皮损伤、悬韧带损伤、前后囊破裂、操作时间延长等方面扣分更少。见表 2。

表 2 专家组与新手组评分结果

Table 2 Comparison of the scores of the expert group and the novice group in five items

单位: 分

项目	专家组 (10 例)	新手组 (15 例)	t	P
撕囊	90.3±10.1	74.8±12.1	3.34	0.003
水分离	87.6±12.5	75.6±15.2	2.07	0.050
劈核与超乳	92.1±13.8	72.3±15.1	3.32	0.003
IA 皮质吸除	87.1±10.9	69.0±13.7	3.50	0.002
人工晶体植入	87.9±12.6	72.1±17.8	2.42	0.024

专家组成功完成 30 例, 后囊破裂发生 0 例; 新手组成功完成 40 例手术, 后囊破裂发生 5 例。两组后囊破裂发生例数差异不具有统计学意义 ($\chi^2 = 3.571, P = 0.059$)。

对各个项目的操作时长以及总时长进行统计学

分析, 发现专家组和新手组在水分离项目的操作时长差异不具有统计学意义 ($t = -1.08, P = 0.292$), 而在撕囊、人工晶体植入、劈核、超乳、IA 皮质吸除项目的操作时长以及总时长差异均具有统计学意义 ($P < 0.05$)。见表 3。

表 3 专家组与新手组在五个项目上的操作时长及总时长

Table 3 The operation time and total time of the expert group and the novice group in five items

单位:秒

项目	专家组(10例)	新手组(15例)	<i>t</i>	<i>P</i>
撕囊	50.6±25.8	78.2±25.4	-2.64	0.014
水分离	10.3±5.6	12.3±3.7	-1.08	0.292
劈核与超乳	95.1±10.2	125.2±18.1	-4.76	<0.001
IA 皮质吸除	30.3±13.7	133.3±43.9	-8.49	<0.001
人工晶体植入	15.3±4.6	19.6±5.2	-2.12	0.045
总时长	202.3±27.8	367.6±51.8	-9.20	<0.001

3 讨论

在传统眼科技能规范化培训和考核中,动物眼(尤其是猪眼)常被用作手术技能测试的模拟对象^[22]。由于猪眼的结构与人眼相似,因此广泛应用于白内障手术技能的训练与考核^[23-24]。然而这种方法存在显著局限性:首先,生猪培养周期较长,限制了猪眼的可获得性^[25];其次,家养猪眼通常不具备白内障等自然病理特征,需要通过注射氧化剂等手段人为模拟晶状体蛋白变性^[26],不仅增加了操作复杂性,也导致每次考核对象在核硬度等指标上存在差异,难以实现标准化,影响了培训与考核的一致性和公平性。

鉴于医学手术培训的特殊性——操作对象是真实患者,操作者需对患者生命健康负全责——外科医生在正式临床前需要经过严格且高效的训练体系。尤其是年轻医生获得手术实践机会受限的情况下,前期通过 VR 训练设备进行技能训练,已成为一种重要补充手段^[27-28]。使用 VR 设备考核成为进入临床手术的必要步骤^[29],不仅确保医生在实际操作前达到基本技能标准,还大幅降低了患者手术风险^[30-31]。VR 训练设备通过高度仿真的手术场景,让学员在安全、可控的环境中反复练习,提升操作技能和应变能力,为实际临床手术打下坚实基础^[32-33]。

本研究旨在探讨基于 EyeSi 手术模拟器的白内障手术技能评估体系的有效性。EyeSi 手术模拟器通过 CAT-B 模块的五个标准化测试项目——撕囊、水分离、劈核与超乳、IA 皮质吸除和人工晶体植入,对受训医生进行量化评估。具体而言,撕囊评估连续圆形撕囊的居中性、连贯性与精确性;水分离评估液波形成的理想程度;劈核与超乳评估超声能量利用率、悬韧带保护、角膜内皮损伤及后囊破裂风险;IA 皮质吸除评估皮质清除的彻底性与稳定性;人工晶体植入评估植入位置准确性与植入过程顺利性。每一操作需进行 3 次测试,取最高得分,确保了评估的公平性与准确性。

研究结果显示,在总平均得分及各子项目得分方面,专家组与新手组差异均具有统计学意义。专家组医生因丰富的手术经验,展现出更高的技术水平、更好的操作习惯和更快的适应能力,尤其在撕囊、劈核与超乳、IA 皮质吸除等高难度项目中,新手组表现出较大劣势,反映了实际手术熟练度和应对复杂情况能力的不足。专家组在操作时间、角膜内皮保护、悬韧带保护及后囊膜完整性方面均优于新手组,印证了 EyeSi 模拟器在区分不同水平操作者方面的敏感性和可靠性,与以往相关研究结果一致^[33-34]。但在后囊破裂发生率这一指标上,专家组与新手组差异无统计学意义,可能与本研究样本量较小有关。

与传统动物眼培训及评估方法相比, EyeSi 模拟器具备以下显著优势,①标准化:每次考核条件一致,消除样本差异带来的影响;②安全性:在无风险环境中进行反复训练,提升技能掌握度;③客观性:通过定量得分体系,提供可量化、可追溯的评估数据;④高效性:可根据培训者水平动态调整难度,实现个性化训练。这些优势使 EyeSi 手术模拟器不仅适用于白内障手术技能的培训阶段,也是医生技能考核与准入评估的重要工具,具有重要的临床推广价值。

本研究通过 EyeSi 眼科手术模拟器评估眼科医生的白内障手术技能,结果表明专家组在准确性、效率、安全性、操作流畅度及器械掌握等关键指标上显著优于新手组,且在手术完成度和扣分项目上表现更佳。这证实了 EyeSi 模拟器的高度仿真性和准确性,以及其作为手术技能训练和评估工具的潜力。EyeSi 模拟器可准确分级医生技能,助力专家提升技能和新手快速学习,也为医疗机构选拔和培养眼科医生提供有力支持。此外, EyeSi 模拟器的应用推动了眼科手术教育和实践的发展,为临床规范化培训和教学效果评估提供参考,有助于提高眼科医师手术成功率,使更多患者受益。

参考文献:

- [1] O'Brart D. The future of cataract surgery [J]. *Eye (Lond)*, 2025; 13. doi: 10.1038/s41433-025-03745-x
- [2] Hashemi H, Fayaz F, Hashemi A, et al. Global prevalence of cataract surgery [J]. *Curr Opin Ophthalmol*, 2025, 36 (1): 10-17. doi: 10.1097/ICU.0000000000001092
- [3] Hashemi H, Fayaz F, Hashemi A, et al. Global prevalence of cataract surgery [J]. *Curr Opin Ophthalmol*, 2025, 36 (1): 10-17. doi: 10.1097/ICU.0000000000001092
- [4] 刘子源, 曾司彦, 敖明昕, 等. EyeSi 模拟手术训练系统对专科医师白内障手术操作培训有效性的研究[J]. *眼科*, 2022, 31 (5): 390-393. doi: 10.13281/j.cnki.issn.1004-4469.2022.05.014
- [5] Iskander M, Ogunsola T, Ramachandran R, et al. Virtual reality and augmented reality in ophthalmology: a contemporary prospective [J]. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)*, 2021, 10 (3): 244-252. doi: 10.1097/APO.0000000000000409
- [6] Lowe S, Mares K, Khadjesari Z. Immersive technology in ophthalmology education: a systematic review [J]. *BMJ Simul Technol Enhanc Learn*, 2021, 7 (6): 600-604. doi: 10.1136/bmjstel-2021-000906
- [7] Lin JC, Yu ZE, Scott IU, et al. Virtual reality training for cataract surgery operating performance in ophthalmology trainees [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 12 (12): CD014953. doi: 10.1002/14651858.CD014953.pub2
- [8] Hutter DE, Wingsted L, Cejvanovic S, et al. A validated test has been developed for assessment of manual small incision cataract surgery skills using virtual reality simulation [J]. *Sci Rep*, 2023, 13: 10655. doi: 10.1038/s41598-023-32845-5
- [9] Nair A, Lansingh VC, Bacchav A, et al. Results from a construct validity study: Does real-life experience in cataract surgery translate into performance on a surgical simulator? [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2023, 64 (8): 1213.
- [10] 黄天泽, 陈迪, 李莹. 机器学习在眼表疾病诊断及角膜手术中的应用进展 [J]. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2021, 35 (6): 13-19. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.0.2021.329
- HUANG Tianze, CHEN Di, LI Ying. Advances of machine learning in the diagnosis of ocular surface diseases and guiding corneal surgical procedures [J]. *Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University*, 2021, 35 (6): 13-19. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.0.2021.329
- [11] 刘子源, 曾司彦, 王薇, 等. 利用虚拟现实技术进行白内障手术考核的有效性研究 [J]. *继续医学教育*, 2023, 37 (3): 65-68. doi: 10.3969/j.issn.1004-6763.2023.03.017.
- [12] Jaud C, Salleron J, Cisse C, et al. EyeSi Surgical Simulator: validation of a proficiency-based test for assessment of vitreoretinal surgical skills [J]. *Acta Ophthalmol*, 2021, 99 (4): 390-396. doi: 10.1111/aos.14628
- [13] 潘玉珂, 秦颖嫣, 范舒欣, 等. EYESi 模拟器结合 Wet-lab 在白内障手术培训中的效果评价 [J]. *眼科学报*, 2023, 38 (11): 736-745. doi: 10.12419/2311140001
- PAN Yuke, QIN Yingyan, FAN Shuxin, et al. Effect evaluation of EYESi simulator combined with Wetlab in cataract surgery training [J]. *Eye Science*, 2023, 38 (11): 736-745. doi: 10.12419/2311140001
- [14] 徐椿鸿, 乔春艳, 王立肖, 等. EYESI 模拟器在住院医师白内障手术培训中的应用 [J]. *重庆医学*, 2023, 52 (1): 158-160. doi: 10.3969/j.issn.1671-8348.2023.01.032
- [15] Carr L, McKechnie T, Hatamnejad A, et al. Effectiveness of the eyesi surgical simulator for ophthalmology trainees: systematic review and meta-analysis [J]. *Can J Ophthalmol*, 2024, 59 (3): 172-180. doi: 10.1016/j.jcjo.2023.03.014
- [16] Yang L, Al-Ani A, Bondok MS, et al. The impact of extended reality simulators on ophthalmic surgical training and performance: a systematic review and meta-analysis of 17, 623 eyes [J]. *Eye (Lond)*, 2025. doi: 10.1038/s41433-025-03722-4
- [17] 孙极, 李灿. 白内障术后人工晶状体轴向位置预测与稳定性相关影响因素 [J]. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2022, 36 (6): 7-12. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.0.2022.237
- SUN Ji, LI Can. Prediction and stability of axial intraocular lens position after cataract surgery [J]. *Journal of Otolaryngology and Ophthalmology of Shandong University*, 2022, 36 (6): 7-12. doi: 10.6040/j.issn.1673-3770.0.2022.237
- [18] 钟红, 朱兴平. 初学者连续环形撕囊联合多象限充分水分分离在软核白内障超声乳化术中的应用 [J]. *实用防盲技术*, 2023, 18 (2): 73-75. doi: 10.3969/j.issn.1673-3835.2023.02.009
- [19] Ravindra MS, Bali J, Adarsh DC, et al. Posterior polar cataract: Hydrodissection and nucleus rotation in manual small-incision cataract surgery not a taboo with proper fluidics [J]. *Indian J Ophthalmol*, 2022, 70 (11): 4051-4053. doi: 10.4103/ijo.IJO_1588_22
- [20] 吴春, 林雨. 自制垂直刃超薄劈核刀预劈核与传统拦截劈核用于白内障超声乳化术中的对比研究 [J]. *中外*

- 医学研究, 2021, 19(26): 1-4. doi: 10.14033/j.cnki.cfmr.2021.26.001
- WU Chun, LIN Yu. Comparative study of the application of prechop using self-made vertical-blade ultra-thin nuclear chopper and traditional stop-and-chop in phacoemulsification [J]. *Chinese and Foreign Medical Research*, 2021, 19(26): 1-4. doi: 10.14033/j.cnki.cfmr.2021.26.001
- [21] Song XZ, Li L, Zhang XM, et al. Comparing the efficacy and safety between femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional phacoemulsification cataract surgery: systematic review and meta-analysis[J]. *Can J Ophthalmol*, 2025, 60(1): e1-e10. doi:10.1016/j.jcjo.2024.05.030
- [22] Gasteratos K, Paladino JR, Akelina Y, et al. Superiority of living animal models in microsurgical training: beyond technical expertise[J]. *Eur J Plast Surg*, 2021, 44(2): 167-176. doi:10.1007/s00238-021-01798-1
- [23] 朱子诚, 温跃春, 董凯, 等. 离体猪眼在眼科规培生临床实践教学中的应用[J]. *实用防盲技术*, 2022, 17(3): 120-122. doi:10.3969/j.issn.1673-3835.2022.03.009
- ZHU Zicheng, WEN Yuechun, DONG Kai, et al. Application of isolated pig eyes in clinical practice teaching of ophthalmology training students[J]. *Journal of Practical Preventing Blind*, 2022, 17(3): 120-122. doi: 10.3969/j.issn.1673-3835.2022.03.009
- [24] Körber M, Fellingner J, Fritsche M, et al. Ophthalmic surgeries on post mortem porcine eyes with picosecond ultrashort laser pulses [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2024, 11: 1345976. doi:10.3389/fmed.2024.1345976
- [25] 曾雅婷, 霍昊然, 王晓睿. 生猪价格波动对养殖规模调整的非对称影响分析[J]. *湖南农业大学学报(社会科学版)*, 2024, 25(3): 17-29, 78. doi: 10.13331/j.cnki.jhau(ss).2024.03.003
- ZENG Yating, HUO Haoran, WANG Xiaorui. Analysis of the asymmetric influence of hog price fluctuation on the adjustment of breeding scale [J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Social Sciences)*, 2024, 25(3): 17-29, 78. doi:10.13331/j.cnki.jhau(ss).2024.03.003
- [26] Ruiss M, Kronschläger M, Schlatter A, et al. Comparison of methods to experimentally induce opacification and elasticity change in ex vivo porcine lenses [J]. *Sci Rep*, 2021, 11(1): 23406. doi: 10.1038/s41598-021-02851-6
- [27] 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[J]. *国际眼科杂志*, 2022, 22(5): 701-705. doi:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.5.01
- LI Jiajun, LI Keran, SHANG Weihong. Application and effect of virtual-reality surgery simulation system in minimally invasive cataract surgery training for ophthalmology residents[J]. *International Eye Science*, 2022, 22(5): 701-705. doi:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.5.01
- [28] 王敏希, 殷丽敏, 包兴旺, 等. 虚拟现实技术在白内障超声乳化手术培训中的应用[J]. *浙江临床医学*, 2023, 25(1): 140-141
- [29] Sonmez SC, Sevgi M, Antaki F, et al. Generative artificial intelligence in ophthalmology: current innovations, future applications and challenges[J]. *Br J Ophthalmol*, 2024, 108(10): 1335-1340. doi: 10.1136/bjo-2024-325458
- [30] Kaur K, Gurnani B, Venkatesh D, et al. Commentary: Changing era of modern cataract surgery—The role of virtual reality-based simulators in manual small-incision cataract surgery training modules[J]. *Indian J Ophthalmol*, 2022, 70(11): 4016-4017. doi:10.4103/ijo.IJO_2233_22
- [31] Nayer ZH, Murdock B, Dharia IP, et al. Predictive and construct validity of virtual reality cataract surgery simulators[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2020, 46(6): 907-912. doi:10.1097/j.jcrs.000000000000137
- [32] Lin JC, Yu ZE, Scott IU, et al. Virtual reality training for cataract surgery operating performance in ophthalmology trainees[J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2021, 12(12): CD014953. doi: 10.1002/14651858.CD014953.pub2
- [33] 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[J]. *Br J Ophthalmol*, 2020, 104(3): 324-329. doi:10.1136/bjophthalmol-2018-313817
- [34] Oseni J, Adebayo A, Raval N, et al. National access to EyeSi simulation: a comparative study among U.S. ophthalmology residency programs[J]. *J Acad Ophthalmol (2017)*, 2023, 15(1): e112-e118. doi: 10.1055/s-0043-1768933