

## 虚拟现实技术用于机器人手术技能培训效果的系统评价与 Meta 分析

梁渝靖<sup>1</sup>, 李阳辉<sup>1</sup>, 邢文惠<sup>2</sup>, 王嵘<sup>1</sup>

(1. 中国人民解放军总医院第六医学中心成人心脏外科 北京 100048; 2. 河北中医药大学护理学院 河北 石家庄 050200)

**摘要** **目的:** 通过系统评价和 Meta 分析综合判断虚拟现实 (VR) 技术在机器人手术培训中的效果。**方法:** 计算机检索 PubMed、The Cochrane Library、Elsevier、中国知网 (CNKI) 数据库中有关“在机器人手术模拟培训中应用 VR 技术”的文献, 检索时限为 2000 年 1 月 1 日—2024 年 10 月 1 日, 筛选符合纳入标准的文献, 使用 Cochrane 偏倚风险评估工具评估纳入文献质量, 采用 RevMan 5.4 软件进行 Meta 分析。**结果:** 共纳入 10 篇文献 273 例研究对象。Meta 分析结果提示, 与传统培训方式相比, VR 模拟机器人手术培训在 GEARS 评分、任务完成时间、时间评分等方面均有提高, 差异有统计学意义 ( $P < 0.05$ )。**结论:** VR 技术有利于机器人手术技能习得, 尽管目前无更多证据证明 VR 培训优于其他培训方式, 但是其低成本、可重复及评分反馈等优势均表现出其极大的发展潜力。

**关键词** 机器人手术模拟培训; 虚拟现实; 系统评价; Meta 分析

**中图分类号** R615 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 04-0667-07

### Efficacy of VR in robotic surgical skill training: a systematic review and Meta-analysis

LIANG Yujing<sup>1</sup>, LI Yanghui<sup>1</sup>, XING Wenhui<sup>2</sup>, WANG Rong<sup>1</sup>

(1. Department of Adult Cardiac Surgery, the Sixth Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100048, China; 2. Faculty of Nursing, Hebei University of Chinese Medicine, Shijiazhuang 050200, China)

**Abstract** **Objective:** To comprehensively evaluate the benefits of virtual reality (VR) technology in robotic surgical training through systematic review and Meta-analysis. **Methods:** Literature on the application of VR technology in robotic surgical simulation training was retrieved from PubMed, The Cochrane Library, Elsevier, and the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) databases, with a search spanning from January 1, 2000 to October 1, 2024. Eligible studies were screened based on inclusion criteria. The Cochrane Risk of Bias Assessment Tool was used to evaluate the quality of included literature, and RevMan 5.4 software was used for Meta-analysis. **Results:** A total of 10 studies involving 273 participants were included. Meta-analysis results indicated that VR-based robotic surgical simulation training showed statistically significant improvements in GEARS scores, task completion time, and time-based scores compared to traditional training methods ( $P < 0.05$ ). **Conclusion:** VR technology can facilitate the acquisition of robotic surgical skills. While there is currently limited evidence to confirm the superiority of VR training over other methods, its advantages such as low cost, repeatability, and scoring feedback have shown significant development potential.

**Key words** Robotic Surgery Simulation Training; Virtual Reality; Systematic Review; Meta-analysis

机器人手术系统于 1995 年引入临床实践发展至今已趋于完善, 面对此新技术, 外科医生则需学习相应的新技能。虽然机器人手术技能可能比腔镜手术技能更易习得<sup>[1]</sup>, 且已有部分行业赞助的培训课程可为外科医生提供机器人手术的学习训练及评

价<sup>[2]</sup>, 但目前尚无可用的、全面的且能被行业统一接受的培训平台来培训和评估外科医生的机器人手术基本技能<sup>[3]</sup>。

虚拟现实 (Virtual Reality, VR) 设备出色的 3D 可视化功能在医学成像、医学教育和术前规划

**基金项目:** 国家重点研发计划 (2022YFB4700800)

**Foundation Item:** National Key R&D Plan Project of China (2022YFB4700800)

**引用格式:** 梁渝靖, 李阳辉, 邢文惠, 等. 虚拟现实技术用于机器人手术技能培训效果的系统评价与 Meta 分析 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2025, 6 (4): 667-673.

**Citation:** LIANG Y J, LI Y H, XING W H, et al. Efficacy of VR in robotic surgical skill training: a systematic review and Meta-analysis [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(4): 667-673.

**通讯作者 (Corresponding Author):** 王嵘 (WANG Rong), E-mail: wangrongd@126.com

等方面非常适用<sup>[4-5]</sup>。VR 模拟这一技能训练方法于 2002 年首次在外科手术培训中得到验证<sup>[6]</sup>，2006 年 VR 模拟培训正式通过了美国外科医师学会的教育认证<sup>[7]</sup>，此后基于 VR 模拟的外科培训项目被相继研发并应用。VR 模拟器提供操作台，允许培训者进行机器人手术操作培训，并提供了包括操作者的表现时间、运动效益性、器械碰撞等多维度指标的综合评分系统<sup>[8]</sup>。

当前外科手术趋于微创化，机器人手术日渐普及<sup>[9]</sup>，手术量逐年增加，但低年资医生接触机器人手术的机会非常有限，因此，尽快提高外科医生的机器人手术能力至关重要。手术模拟允许在受控和安全的环境中重复练习特定技能，许多研究人员开发了动物手术模拟器（湿实验室）<sup>[10]</sup>、机器人手术训练盒（干实验室）<sup>[11]</sup>和 VR 培训课程<sup>[12]</sup>3 种目前最常用的培训模型，但均未得到普遍接受和广泛应用。因此，本系统评价将通过 Meta 分析结合培训评价结果，探讨外科医生使用 VR 模拟进行机器人手术技能培训的可行性和有效性。为机器人手术技能培训领域提供理论依据及循证支持。

## 1 资料与方法

**1.1 纳入标准** ①研究类型：随机对照研究（Randomized Controlled Trial, RCT）；②研究对象：医学生及外科医生；③干预措施：试验组接受 VR 模拟机器人手术培训，对照组接受干实验或湿实验等传统培训方式；④结局指标中至少含有以下一项：机器人手术全面评价（Global Evaluation Assessment Robotic Surgery, GEARS）评分、时间评分、完成任务总时间。

**1.2 排除标准** ①重复文献；②干预措施或分组设计不符；③结局指标不符；④文献类型不符；⑤非中英文文献；⑥无法获取全文、数据无法提取或存在明显错误。

**1.3 文献检索** 计算机检索 PubMed、Springer、The Cochrane Library、Elsevier 和中国知网（CNKI）数据库；检索时限为 2000 年 1 月 1 日—2024 年 10 月 1 日；语种为中文和英文；检索字段为篇名和摘要。以 PubMed 为例，检索式为：（“virtual reality” [All Fields] OR “virtual” [All Fields] OR “augmented reality” [All Fields] OR “extended reality” [All

Fields] OR “surgery computer assisted” [All Fields] OR “surgical simulator” [All Fields] OR “da Vinci Skill Simulator” [All Fields]）AND （“robotic surgical procedures” [All Fields] OR “robotic assisted surgery” [All Fields]）。

**1.4 文献筛选和研究质量控制** 由两位研究者独立筛选文献，通过阅读文献题目和摘要排除不符合纳入标准的文献。对筛选有异议的文献进行讨论，如不能达成一致则与本研究通讯作者讨论后决定是否纳入。两位研究者分别对符合纳入标准的文献进行全文阅读，并采用 Cochrane 偏倚风险评估工具评估纳入文献的质量。提取的主要一般数据包括第一作者、发表年份、样本量、干预措施、干预时间、结局指标和统计学分析方法。结局指标包括 GEARS 评分、完成时间、时间得分、专家评分、学习曲线、主观量表评估等。

**1.5 统计学分析** 采用 RevMan 5.4 软件对提取的数据进行分析，二分类变量采用 *RR* 和 95% *CI* 表示。连续型变量采用标准化均方差进行分析， $P < 0.05$  表示差异有统计学意义。异质性检验采用  $\chi^2$  检验，若  $P \geq 0.1$  且  $I^2 < 50\%$ ，认为纳入研究的异质性可接受，选择固定效应模型进行分析；若  $P < 0.1$  且  $I^2 \geq 50\%$ ，认为纳入研究的异质性较大，选择随机效应模型进行分析，并对异质性的来源进行敏感性分析或亚组分析。对无法合并的研究采用描述性分析。

## 2 结果

**2.1 文献筛选流程及结果** 初步筛选出 1100 篇文献，最终纳入 10 篇文献<sup>[13-22]</sup>，共 10 项关于 VR 手术模拟器的 RCT 研究及 273 例研究对象（如图 1）。使用 Cochrane 偏倚风险评估工具对 RCT 研究的诸多参数进行评估，例如随机化方法、分配隐藏和盲法方式等<sup>[23]</sup>。纳入文献的质量评定如图 2~3，纳入文献基本特征见表 1。

**2.1.1 参与者及评价术式** 在纳入的 10 项 RCT 研究中，研究对象有医学生（ $n=89$ ）、住院医师（ $n=156$ ）、主治医师（ $n=28$ ）和主任医师（ $n=0$ ）；机器人手术评价任务的考核术式有机器人手术基本操作（ $n=3$ ）、泌尿外科机器人手术（ $n=4$ ）、心脏外科机器人手术（ $n=2$ ）和妇产科机器人手术（ $n=1$ ），见表 2。

**2.1.2 研究中使用的 VR 技术** 目前主要有 5 个 VR 模拟器用于机器人手术培训：① Surgical Education

表 1 纳入文献的基本特征  
Table 1 Essential features of included literature

作者	VR 模拟器	干预	评估方式	结果
Almarzouq A 等 2020 <sup>[20]</sup>	dVSS 9 项 VR 训练 (PB2、MB2、NT2、RR2、DN3、SS2、ED1、RW3、T)	预测试 (基线): 9 项 VR 训练重复 3 次 后测试: ① VR 培训组: 行 dVSS 的 9 项 VR 训练至熟练; ② 对照组: 无任何培训	GEARS 评分	VR 组与对照组的 GEARS 评分无显著差异 ( $21.2 \pm 1.4$ VS $20.5 \pm 1.7$ , $P=0.853$ )
Amirian M J 等 2014 <sup>[17]</sup>	dVSS Simbionix™ 缝合模块进行 VR 机器人缝合、打结训练	预测试 (基线): 接受机器人手术系统缝合的标准化解释和演示, 在胶管模型上进行缝合打结操作 后测试: ① VR 培训组: 使用 dVSS 系统中 Simbionix™ 缝合模块进行练习; ② 干实验组: 使用 3-0 缝合线在海绵上练习	① 客观缝合评分: 时间 (s)、精度 (mm)、准确性和间距 (mm); ② 面部有效性、内容有效性评估	① VR 组和干实验组的基线时间评分分别为 254 和 235 ( $P=0.5928$ ); 训练后, 两组的表现均显著提高 (VR 组 $P=0.0078$ ; 干实验组 $P=0.0039$ ); ② 训练后, VR 组与干实验组的缝合时间、精度、准确性及间距上的提高无显著差异; ③ VR 组认为该培训的真实性和有效性较高
Butterworth J 等 2021 <sup>[21]</sup>	Versius 15 项 VR 训练	预测试 (基线): 接受 Versius 机器人手术模拟器解释和演示 后测试: ① 至少 10 h 的 Versius 模拟培训, 且评分达 80%; ② 进行 3.5 d 现场干实验及湿实验培训	GEARS 评分	受试者接受 VR 培训后 GEARS 评分提高 ( $21.0 \pm 1.9$ VS $23.4 \pm 2.9$ )
Chowriappa A 等 2015 <sup>[13]</sup>	Ross HoST AR 系统	预测试 (基线): RoSS 系统的熟悉, 尿道吻合术的视频学习; 达芬奇机器人基本操作讲解及训练 后测试: ① VR 培训组: 使用 HoST 系统模拟训练尿道吻合术; ② 对照组: 观看 4 个尿道吻合术视频	① GEARS 评分; ② 客观的尿道吻合术评分; ③ NASA TLX 量表评估精神疲劳	① VR 组的 GEARS 评分高于对照组 ( $14.4 \pm 1.2$ VS $11.9 \pm 4.1$ , $P=0.012$ ); ② 与对照组相比, VR 组在针定位、针驱动、缝合线放置和组织操作方面的表现明显更好 ( $P=0.008$ , $0.042$ , $0.014$ ); ③ VR 组的 NASA TLX 得分低于对照组 ( $7.6 \pm 2.1$ VS $9.4 \pm 2.9$ , $P=0.344$ )
Kiely D J 等 2015 <sup>[22]</sup>	dVSS 5 项 VR 训练 (CT1、CT2、SP1-3)	预测试 (基线): 使用达芬奇机器人手术系统对无生命阴道断面模型缝合 10 min 后测试: ① VR 培训组: dVSS 的 5 项 VR 训练, 每周训练 1 h, 持续 5 周; ② 对照组: 无任何培训	① GOALS 评分; ② GEARS 评分; ③ SP1 任务分数	① VR 组和对照组在最终缝合任务中 GOALS 评分、GEARS 评分没有显著差异 ( $P=0.037$ , $0.20$ ); ② VR 组和对照组在 SP1 分数提高中有显著差异 ( $P<0.001$ )
Raison N 等 2021 <sup>[15]</sup>	RobotiX ① 机器人辅助根治性前列腺切除术模块 (膀胱颈分离, 尿道吻合术); ② 3 项 VR 训练	预测试 (基线): 1 h 机器人手术基础任务培训 后测试: ① VR 组: 使用达芬奇机器人 Si 在人类尸体上行机器人辅助根治性前列腺切除术中的膀胱颈分离及尿道吻合。训练时间: $2.7 \pm 1.2$ h (5 周内); ② VR 基础训练组: 机器人手术基础课程。训练时间: $3.2 \pm 0.4$ h (5 周内)	① 绘制和分析学习曲线; ② GEARS 评分	① 学习曲线显示 VR 组与对照组总体评分都有提高, 在任务完成时间、仪器碰撞及移动等方面, VR 组机器人手术技能提升显著; ② 任何 VR 培训都比没有培训的 GEARS 分数高得多 ( $11.3 \pm 0.58$ VS $8.8 \pm 2.9$ , $P=0.002$ ); VR 手术培训比 VR 基础培训和对照组更有效 ( $11.9 \pm 2.9$ VS $10.7 \pm 2.8$ VS $8.8 \pm 1.4$ , $P=0.03$ )

续表

作者	VR 模拟器	干预	评估方式	结果
Vaccaro CM 等 2013 <sup>[6]</sup>	dVSS 8 项 VR 训练 (ES1、ES2、ED2、SP2、SP3、RW1-3)	预测测试 (基线): 网络接受机器人手术系统的标准化解释和演示; 在无生命动物模型上进行抓持、切割、缝合、打结等操作 后测试: ① VR 培训组: dVSS 的 8 项 VR 训练, 训练至评分达到 80%; ② 对照组: 无任何培训	① GRS 及 rOSATS 的专家主观评分; ② 总时间 (s)、切口时间 (s)、缝合时间 (s)	① VR 组的 GRS 及 rOSATS 评分显著高于对照组 (89% VS 44%, $P=0.66$ ); ② VR 组在无生命模型上从基线到重复测试的总时间、切口时间和缝合时间均有提高 ( $P=0.001$ 、 $0.003$ 、 $0.001$ )
Valdis M 等 2015 <sup>[9]</sup>	dVSS 9 项 VR 训练 (CT2、ES2、PB2、MB2、MB3、RW3、ED2、SP3、NT)	预测测试 (基线): 学习机器人获取乳内动脉和二尖瓣环成形术的标准解剖解释和演示 后测试: ① VR 培训组: dVSS 的 9 项 VR 训练, 训练至评分达到 90%; ② 对照组: 无任何培训	① GEARS 评分; ② 基于时间的评分 (FLS 改良)	① VR 组的 GEARS 评分显著高于对照组 ( $22.8 \pm 2.7$ VS $11.0 \pm 4.5$ , $P<0.001$ ); ② VR 组的乳内动脉时间评分优于对照组 ( $957.3 \pm 98.9$ VS $749.1 \pm 171.9$ , $P=0.004$ )、二尖瓣环成形术时间评分优于对照组 ( $580.4 \pm 14.4$ VS $463.8 \pm 86.4$ , $P<0.001$ )
Valdis M 等 2016 <sup>[4]</sup>	dVSS 9 项 VR 训练 (CT2、ES2、PB2、MB2、MB3、RW3、ED2、SP3、NT)	预测测试 (基线): 学习机器人获取乳内动脉和二尖瓣环成形术的标准解剖解释和演示 后测试: ① VR 培训组: dVSS 的 9 项 VR 训练, 训练至评分达到 90%; ② 干实验组: 模型上练习相机移动、离合、转移、缝合打结; ③ 湿实验组: 在主模型进行乳内动脉获取、二尖瓣环缝线放置等训练; ④ 对照组: 无任何培训	① GEARS 评分; ② 基于时间的评分 (FLS 改良)	① VR 组的 GEARS 评分显著高于对照组 ( $22.8 \pm 3.7$ VS $11.0 \pm 4.5$ , $P<0.001$ ); ② VR 组的乳内动脉获取时间评分优于对照组 ( $957.3 \pm 98.9$ VS $749.1 \pm 171.9$ , $P=0.004$ )、二尖瓣环成形术时间评分优于对照组 ( $580.4 \pm 14.4$ VS $463.8 \pm 86.4$ , $P<0.001$ ); ③ 虚拟实验组和湿实验组达到熟练程度, 而干实验组和对照组未达到
Vargas MV 等 2017 <sup>[18]</sup>	dVSS 4 项 VR 训练 (CT1、SP1、SP2、T2)	预测测试 (基线): 网络接受机器人手术系统的标准化解释和演示, 练习 dVSS 的 2 项 VR 任务 (CT1、SP1) 后测试: ① VR 培训组: dVSS 的 4 项 VR 训练, 训练至评分达到 91%; ② 对照组: 无任何培训	① GEARS 评分; ② 任务完成总时间 (min)	VR 组和对照组在最终缝合任务中以分钟为单位的任务时间和 GEARS 评分均无显著差异 [ $9.2 (2.7)$ VS $9.9 (2.1)$ ], $P=0.416$ ; $15.4 (2.5)$ VS $15.3 (3.4)$ , $P=0.906$

注: dVSS: Da Vinci Skills Simulator; RoSS: Robotic Surgery Simulator; HoST: Hands-on Surgical Training; NASA TLX: National Aeronautics and Space Administration Task Load Index; GEARS: Global Evaluative Assessment of Robotic Skills; GRS: Global Rating Scale; rOSATS: Objective Structured Assessment of Technical Skills; dVSS 的 26 项基本训练: PP=pick and place; PBI=peg board 1; PB2=peg board 2; CT1=camera targeting 1; CT2=camera targeting 2; SC=scaling; RW1=ring walk 1; RW2=ring walk 2; RW3=ring walk 3; MBI=match board 1; MB2=match board 2; MB3=match board 3; RRI=ring and rail 1; RR2=ring and rail 2; ES1=energy switching 1; ES2=energy switching 2; ED1=energy dissection 1; ED2=energy dissection 2; NT=needle targeting; TR=thread the rings; SP1=suture sponge 1; SP2=suture sponge 2; SP3=suture sponge 3; DNI=dots and needles 1; DN2=dots and needles 2; T=tubes; PP\_O=pick and place old; PB3=peg board 3; T2=tubes 2; T3=tubes 3; SW=string walk; LB=letter board; RC=ring cone; SP=suture sponge; DN=dots and numbers; RoSS 的基本训练: PP=pick and place; BP=ball placement; BD=ball drop; SC=spatial control; CTC=coordinated tool control; FAM=fourth arm manipulation; NHE=needle handling and exchange; CC=clutch control; FAR=fourth arm removal; TR=tissue retraction; KT=knot tying

表 2 参与者及评价术式  
Table 2 Participants and evaluated procedures

作者	参与者	考核术式
Almarzouq A 等 2020 <sup>[20]</sup>	住院医师 (n=14)	机器人辅助根治性前列腺切除术
Amirian M J 等 2014 <sup>[17]</sup>	医学师 (n=19)	机器人基本缝合打结 (胶管模型)
Butterworth J 等 2021 <sup>[21]</sup>	住院医师 (n=17)	机器人的抓持、切割、缝合与打结 (干箱及无生命动物模型)
Chowriappa A 等 2015 <sup>[13]</sup>	住院医师 (n=30), 主治医师 (n=22)	机器人尿道吻合术 (无生命动物模型)
Kiely D J 等 2015 <sup>[22]</sup>	住院医师 (n=17), 主治医师 (n=6)	①机器人阴道断端缝合打结 (无生命模型); ②dVSS 任务
Raison N 等 2021 <sup>[15]</sup>	医学生 (n=35)	机器人辅助根治性前列腺切除术
Vaccaro C M 等 2013 <sup>[16]</sup>	住院医师 (n=18)	机器人的抓持、切割、缝合与打结 (无生命动物模型)
Valdis M 等 2015 <sup>[19]</sup>	住院医师 (n=20)	①标准化机器人乳内动脉获取 ②机器人二尖瓣环成形术 (活猪动物模型)
Valdis M 等 2016 <sup>[14]</sup>	住院医师 (n=40)	①标准化机器人乳内动脉获取 ②机器人二尖瓣环成形术 (活猪动物模型)
Vargas M V 等 2017 <sup>[18]</sup>	医学生 (n=35)	机器人膀胱切开缝合术 (活猪动物模型)

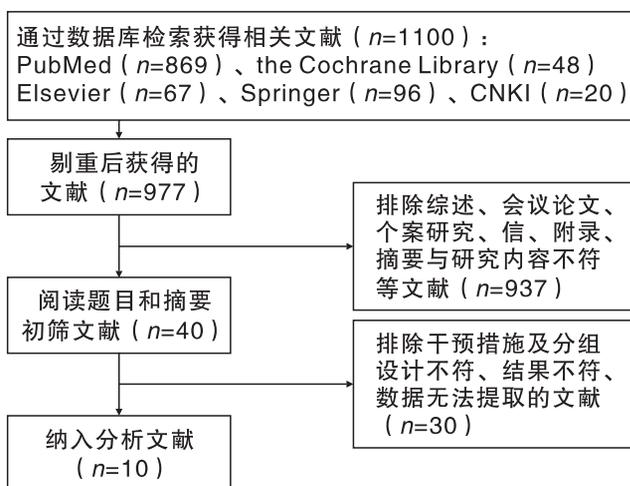


图 1 文献筛选流程及结果  
Figure 1 Literature screening process and results

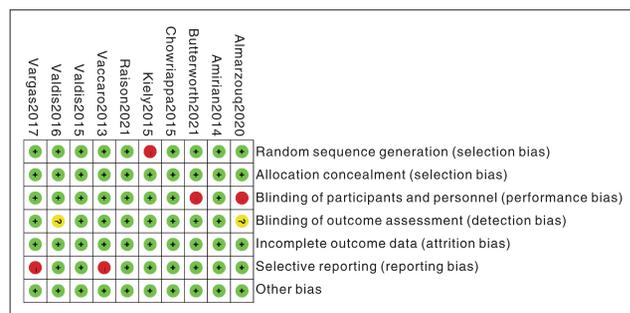


图 2 各文献质量评定结果  
Figure 2 Results of each literature quality assessment

Platform (SEP; SimSurgery, Oslo, Norway); ② Robotic Surgery System (RoSS; Simulated Surgical Systems, San Jose, CA, USA); ③ dV-Trainer (Mimic, Seattle, WA, USA); ④ Da Vinci Skills Simulator (dVSS; Intuitive Surgical); ⑤ RobotiX Mentor (3D Systems,

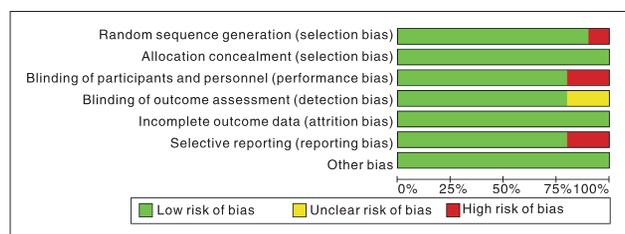


图 3 文献质量评定汇总结果  
Figure 3 Summary results of the literature quality assessment

Simbionix Products, Cleveland, OH, USA)。纳入的 RCT 研究选取了不同的模拟器和模拟任务来对外科医生进行培训及考核, 其中达芬奇手术模拟器的使用最多 [SEP (n=0), RoSS (n=1), dV-Trainer (n=0), dVSS (n=7), RobotiX (n=1)]。

2.2 Meta 分析结果

2.2.1 GEARS 8 篇文献<sup>[13-15, 18-22]</sup>采用 GEARS<sup>[24]</sup>评估外科医生机器人手术培训的效果, 由于各研究进行的 VR 培训课程差异性较大, 异质性显著 ( $P < 0.00001$ ,  $I^2 = 93%$ ), 选择随机效应模型进行分析。结果显示 VR 组的 GEARS 评分提高优于对照组, 差异有统计学意义 (SMD=3.07, 95% CI: 0.13~6.02, Z=2.04,  $P=0.04$ ), 如图 4。

2.2.2 任务完成时间 3 篇文献<sup>[14, 17, 19]</sup>采用任务完成时间来评估外科医生机器人手术培训效果, 但是由于各研究设置的考核任务不同, 任务完成时间差异较大, 异质性显著 ( $I^2 = 77%$ ), 故采用随机效应模型进行分析。结果显示 VR 组的任务完成时间低于对照组, 差异有统计学意义 (SMD=105.54, 95% CI:

19.76~191.32,  $Z=2.41$ ,  $P=0.02$ ), 如图 5。

**2.2.3 时间评分** 3 篇文献<sup>[16-18]</sup>采用时间评分来评估外科医生机器人手术培训效果, 各研究间异质性较小 ( $I^2=0\%$ ), 故采用固定效应模型进行分析。结果显示 VR 组与对照组的时间评分无显著差异 ( $SMD=-36.38$ , 95%  $CI$ :  $-84.62\sim 11.86$ ,  $Z=1.48$ ,  $P=0.14$ ), 如图 6。

### 3 讨论

机器人手术技能培训是外科医生熟练操作手术机器人进行手术的必要条件<sup>[25]</sup>, 技能习得是外科医生培训的重要内容, 不管是基础技能还是对手术整体的学习, 均在很大程度上影响外科医生的进步成

长和临床手术效果<sup>[26]</sup>。在外科手术日益微创化的时代, 外科医生更应加强对新技术的学习以行真正对患者有利的微创外科手术治疗<sup>[27]</sup>。

目前 VR 模拟培训主要以达芬奇基础手术技能培训为主<sup>[28]</sup>, 如镜头操控、第四臂掌握、手臂灵活度等。随着以 RoSS 为代表的基于特定术式培训设计的模拟器上市, 机器人手术培训能够在更加贴近手术场景的虚拟环境中进行。尽管 VR 模拟培训在机器人手术培训的应用中尚未形成统一标准, 不同研究的干预方式不同, 但与传统培训相比 VR 培训在提高外科医生兴趣、减少培训成本、增加可重复训练次数等方面具有较大优势<sup>[29-30]</sup>。本研究结果显示, 与不接受训练的对照组相比, VR 培训组的 GEARS

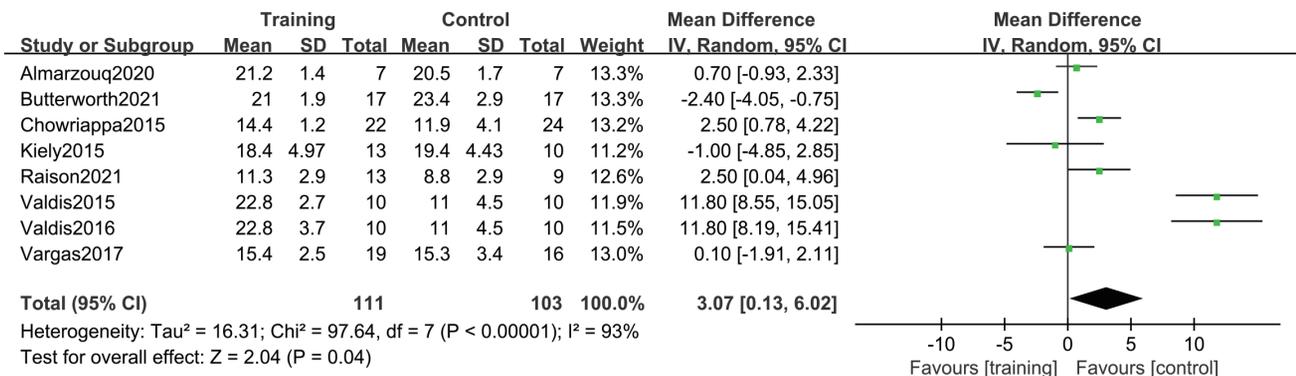


图 4 VR 组与对照组 GEARS 评分对比森林图

Figure 4 Forest plot for comparing GEARS scores between the VR and the control group

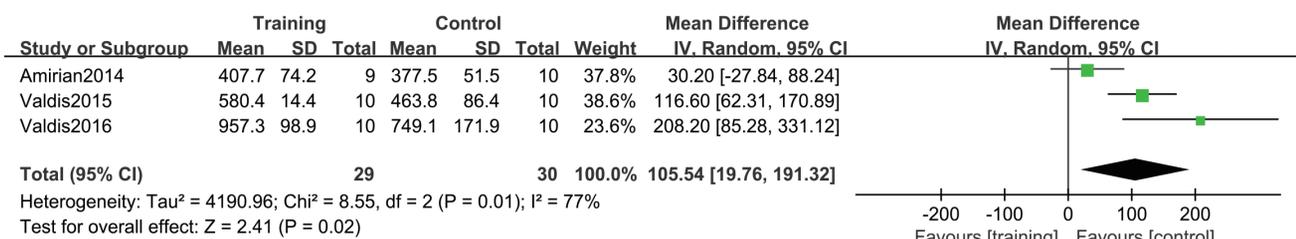


图 5 VR 组与对照组任务完成时间对比森林图

Figure 5 Forest plot for comparing total task time-based between the VR and the control group

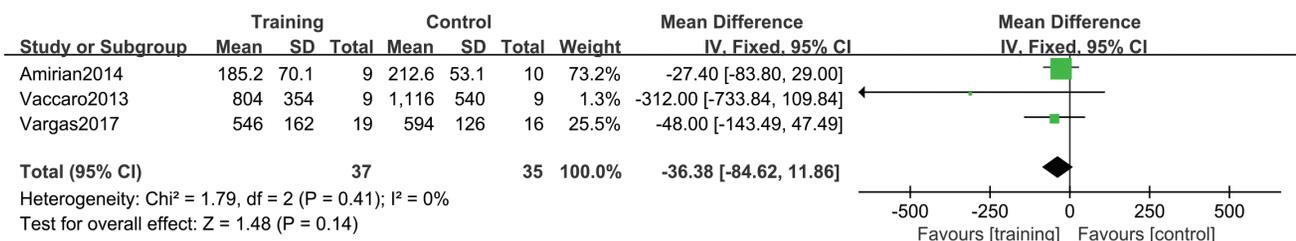


图 6 VR 组与对照组时间评分对比森林图

Figure 6 Forest plot for comparing the time-based scores between the VR and the control group

评分提高且任务完成时间缩短，机器人手术技能获得了提升，可为机器人手术培训提供参考依据，但与传统培训方法相比 VR 培训尚缺乏足够的研究数据证明其优越性。

本次系统评价仍存在一些局限性。本研究共纳入 10 篇文献，研究中评价机器人手术技能的结局指标不尽相同且纳入指标较少，因此受样本量限制可能导致结果偏差，未来的研究可针对更多指标进行分析。各研究中外科医生培训时间长短差异较大，可能是部分结果异质性的来源，未来的研究可对不同年资或专业的外科医生使用 VR 的应用效果进行比较，明确对机器人手术技术习得获益最大的具体培训时长。使用 VR 模拟器进行机器人手术培训的研究仍存在样本量小、结局指标存在一定主观性等问题，因此未来还需要更多高质量的研究并进一步完善干预方案、培训时间及评价手段等提供更加可靠的依据。

**利益冲突声明：** 本文不存在任何利益冲突。

**作者贡献声明：** 梁渝靖负责拟定写作思路，撰写文章并最后定稿；李阳辉负责实验设计，数据分析；邢文惠负责协助设计论文框架，查阅相关文献；王嵘负责论文修改。

## 参考文献

- [1] Stefanidis D, Wang F, Korndorffer J R, et al. Robotic assistance improves intracorporeal suturing performance and safety in the operating room while decreasing operator workload[J]. *Surg Endosc*, 2010, 24(2): 377–382.
- [2] Fisher R A, Dasgupta P, Mottrie A, et al. An over-view of robot assisted surgery curricula and the status of their validation[J]. *Int J Surg*, 2015, 13: 115–123.
- [3] Satava R M, Stefanidis D, Levy J S, et al. Proving the Effectiveness of the Fundamentals of Robotic Surgery (FRS) Skills Curriculum: A Single-blinded, Multispecialty, Multi-institutional Randomized Control Trial[J]. *Ann Surg*, 2020, 272(2): 384–392.
- [4] Sutherland J, Belec J, Sheikh A, et al. Applying modern virtual and augmented reality technologies to medical images and models[J]. *J Digit Imaging*, 2019, 32(1): 38–53.
- [5] Slater M. Immersion and the illusion of presence in virtual reality[J]. *Br J Psychol*, 2018, 109(3): 431–433.
- [6] Seymour N E, Gallagher A G, Roman S A, et al. Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study[J]. *Ann Surg*, 2002, 236(4): 458–464.
- [7] Pellegrini C A, Sachdeva A K, Johnson K A. Accreditation of education institutes by the American College of Surgeons: a new program following an old tradition[J]. *Bull Am Coll Surg*, 2006, 91(3): 8–12.
- [8] Flavián C, Ibáñez-Sánchez S, Orús C. The impact of virtual, augmented and mixed reality technologies on the customer experience[J]. *J Bus Res*, 2019, 100: 547–560.
- [9] Pugin F, Bucher P, Morel P. History of robotic surgery: from AESOP® and ZEUS® to da Vinci®[J]. *J Visc Surg*, 2011, 148(5 Suppl): e3–e8.
- [10] Liakos N, Moritz R, Leyh-Bannurah S R, et al. Chicken RAPS: Chicken robot-assisted pyeloplasty simulation. Validation study of a novel chicken model for wet laboratory training in robot-assisted pyeloplasty[J]. *Eur Urol Open Sci*, 2022, 46: 82–87.
- [11] Lee C S, Khan M T, Patnaik R, et al. Model development of a novel robotic surgery training exercise with electrocautery[J]. *Cureus*, 2022, 14(4): e24531.
- [12] Moglia A, Ferrari V, Morelli L, et al. A systematic review of virtual reality simulators for robot-assisted surgery[J]. *Eur Urol*, 2016, 69(6): 1065–1080.
- [13] Chowriappa A, Raza S J, Fazili A, et al. Augmented-reality-based skills training for robot-assisted urethrovesical anastomosis: a multi-institutional randomised controlled trial: augmented-reality-based procedure specific training[J]. *BJU Int*, 2015, 115 (2): 336–345.
- [14] Valdis M, Chu M W A, Schlachta C, et al. Evaluation of robotic cardiac surgery simulation training: a randomized controlled trial[J]. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 2016, 151(6): 1498–1505.
- [15] Raison N, Harrison P, Abe T, et al. Procedural virtual reality simulation training for robotic surgery: a randomised controlled trial[J]. *Surg Endosc*, 2021, 35(12): 6897–6902.
- [16] Vaccaro C M, Crisp C C, Fellner A N, et al. Robotic virtual reality simulation plus standard robotic orientation versus standard robotic orientation alone: a randomized controlled trial[J]. *Female Pelvic Medicine & Reconstructive Surgery*, 2013, 19(5): 266–270.
- [17] Amirian M J, Lindner S M, Trabulsi E J, et al. Surgical suturing training with virtual reality simulation versus dry lab practice: an evaluation of performance improvement, content, and face validity[J]. *J Robotic Surg*, 2014, 8(4): 329–335.
- [18] Vargas M V, Moawad G, Denny K, et al. Transferability of virtual reality, simulation-based, robotic suturing skills to a live porcine model in novice surgeons: a single-blind randomized controlled trial[J]. *Journal of Minimally Invasive Gynecology*, 2017, 24 (3): 420–425.
- [19] Valdis M, Chu M W A, Schlachta C M, et al. Validation of a novel virtual reality training curriculum for robotic cardiac surgery a randomized trial[J]. *Innovations(Phila)*, 2015, 10 (6): 383–388.
- [20] Almarzouq A, Hu J, Noureldin Y A, et al. Are basic robotic surgical skills transferable from the simulator to the operating room? A randomized, prospective, educational study[J]. *Can Urol Assoc J*, 2020, 14(12): 416–422.
- [21] Butterworth J, Sadry M, Julian D, et al. Assessment of the training program for Versius, a new innovative robotic system for use in minimal access surgery[J]. *BMJ Surg Interv Health Technol*, 2021, 3(1): e000057.
- [22] Kiely D J, Gotlieb W H, Lau S, et al. Virtual reality robotic surgery simulation curriculum to teach robotic suturing: a randomized controlled trial[J]. *J Robotic Surg*, 2015, 9(3): 179–186.
- [23] Julian Higgins, James Thomas. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*[M]. Version 6.5. United Kingdom: Wiley, 1996, 100–462.
- [24] Goh A C, Goldfarb D W, Sander J C, et al. Global evaluative assessment of robotic skills: validation of a clinical assessment tool to measure robotic surgical skills[J]. *J Urol*, 2012, 187(1): 247–252.
- [25] Boal M W E, Anastasiou D, Tesfai F, et al. Evaluation of objective tools and artificial intelligence in robotic surgery technical skills assessment: a systematic review[J]. *Br J Surg*, 2024, 111(1): znad331.
- [26] Wilcox Vanden Berg R N, Vertosick E A, Sjöberg D D, et al. Implementation and validation of an automated, longitudinal robotic surgical evaluation and feedback program at a high-volume center and impact on training[J]. *Eur Urol Open Sci*, 2024, 62: 81–90.
- [27] Tom C M, Maciel J D, Korn A, et al. A survey of robotic surgery training curricula in general surgery residency programs: How close are we to a standardized curriculum? [J]. *Am J Surg*, 2019, 217(2): 256–260.
- [28] Abreu A A, Rail B, Farah E, et al. Baseline performance in a robotic virtual reality platform predicts rate of skill acquisition in a proficiency-based curriculum: a cohort study of surgical trainees[J]. *Surg Endosc*, 2023, 37(11): 8804–8809.
- [29] Lu J, Cuff R F, Mansour M A. Simulation in surgical education[J]. *Am J Surg*, 2021, 221(3): 509–14.
- [30] Alvarez-Lopez F, Maina M F, Arango F, et al. Use of a low-cost portable 3d virtual reality simulator for psychomotor skill training in minimally invasive surgery: task metrics and score validity[J]. *JMIR Serious Games*, 2020, 8(4): e19723.

收稿日期：2024-11-25

编辑：魏新珂