

# 面向脑卒中后单侧空间忽略认知障碍的 AR-ROBOT 康复评定方法研究

王 维 钱秋阳 (通讯作者)

深圳市龙华区人民医院康复医学科 广东 深圳 518109

**【摘要】**目的：构建融合增强现实（AR）、眼动追踪（ET）与上肢康复机器人（ROBOT）技术的 AR-ROBOT 康复评定系统，实现对脑卒中后单侧空间忽略（USN）认知障碍的精准分型与程度量化，为个性化康复策略制定提供技术支持。方法：基于微软 Hololens2 设备搭建 AR 虚拟评估平台，集成 ET 模块与上肢康复机器人系统，设计涵盖传统量表虚拟转化、眼动参数采集、肢体运动轨迹分析及多感觉引导测试的多层级评定方案。选取 2024 年 7 月-2025 年 6 月深圳市龙华区人民医院 25 例脑卒中后 USN 患者为研究对象，采用 AR-ROBOT 系统进行评定，并以传统 Catherine Bergego 量表（CBS）及虚拟环境评定方法为对照，验证系统的信度、效度及亚型鉴别能力。结果：AR-ROBOT 系统可有效识别感觉性与运动性 USN 亚型，区分个体性、个体周围性及个体外性忽略，轻型 USN 检出率达 84.00% (21/25)，显著高于传统 CBS 量表的 56.00% (14/25) ( $P<0.05$ )。系统评定总分与 CBS 量表评分呈显著正相关 ( $r=0.826$ ,  $P<0.001$ )，组内相关系数 (ICC) 为 0.913 (95%CI: 0.835~0.957)，表明信度良好；与虚拟环境评定方法相比，在运动性 USN 鉴别上准确率提升 36.00%。结论：AR-ROBOT 康复评定系统实现了 USN 评估在真实场景与虚拟技术的有机融合，可精准量化障碍程度并细化亚型分类，为脑卒中后 USN 的精准康复提供了新方法。

**【关键词】**：脑卒中；单侧空间忽略；增强现实；康复机器人；康复评定

DOI:10.12417/2811-051X.26.05.057

脑卒中后单侧空间忽略 (Unilateral Spatial Neglect, USN) 是常见的认知障碍并发症，发生率高达 30%-65%，主要表现为对脑损伤对侧的空间刺激缺乏觉察与反应，严重影响患者日常生活能力及康复预后<sup>[1]</sup>。USN 亚型复杂，包括感觉性/运动性忽略、个体性/个体周围性/个体外性忽略等，不同亚型对康复治疗反应差异显著，因此精准分型与程度量化是制定有效康复策略的前提<sup>[2]</sup>。传统 USN 评定以纸笔测试和行为量表为主，如线段平分、画钟测试及 CBS，但存在视野局限、标准化程度低、轻症漏诊率高等问题，难以鉴别运动性与感觉性亚型。虚拟现实 (VR) 技术虽拓展了评估视野，但缺乏真实空间坐标参照，无法实现肢体运动参数与视觉感知数据的同步分析。增强现实 (AR) 技术可将虚拟信息与真实场景叠加，结合眼动追踪 (ET) 与康复机器人 (ROBOT) 的技术优势，有望解决现有评估方法的瓶颈。

本研究构建 AR-ROBOT 康复评定系统，通过多技术融合实现 USN 的精准评定，为临床康复提供新工具，现报告如下。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

选取 2024 年 7 月-2025 年 6 月深圳市龙华区人民医院康复医学科收治的脑卒中后 USN 患者 25 例。25 例患者中，男 14 例，女 11 例；年龄 45-72 岁，平均 (61.38±8.52) 岁；病程 1-6 个月，平均 (3.27±0.43) 个月；脑梗死 17 例，脑出血 8 例；右侧脑损伤 16 例，左侧脑损伤 9 例；CBS 量表评分 1-12 分，平均 (5.84±1.12) 分。本研究经医院伦理委员会批准。

纳入标准：(1) 符合脑卒中诊断标准，经头颅 CT 或 MRI 证实；(2) 存在 USN 症状，CBS 量表评分  $\geq 1$  分；(3) 年龄 40-75 岁；(4) 意识清楚，能配合完成评估；(5) 患侧上肢 Brunnstrom 分期  $\geq$  II 期；(6) 签署知情同意书。

排除标准：(1) 严重认知功能障碍；(2) 严重视觉或听觉障碍；(3) 上肢骨关节畸形或严重疼痛；(4) 精神疾病史；(5) 无法耐受 AR 设备穿戴。

### 1.2 方法

所有患者均在同一环境下完成 AR-ROBOT 系统评定、传统 CBS 量表评定及虚拟环境评定，间隔 1 周后重复 AR-ROBOT 系统评定以检验信度，三项评定由 2 名经过培训的康复治疗师独立完成。

AR-ROBOT 系统评定流程：

(1) 传统测试量表的虚拟环境转化：通过 Hololens2 在真实场景中叠加虚拟标定图片、身体中线等元素，完成图片标定测试、身体中线判定等传统测试，同步记录患者言语描述及眼动数据。

(2) AR-ET 联合评估：呈现视觉追踪任务（白色箭头沿预设轨迹移动），ET 模块持续采集注视位点、注视时间、追踪反应速度等参数，建立统计模型评估病损视野范围及注意力分数。

(3) USN 亚型鉴别（运动性/感觉性）：AR 界面呈现虚拟靶标，与机器人手柄真实位置校准，患者执行肢体运动追踪靶标。若患者心理坐标（自我判定运动终点）与真实坐标存在

差异,判定为感觉性USN;若主动运动无法达到心理坐标,被动运动可正确判定真实坐标,判定为运动性USN。

(4)空间范围分型与程度分级:在AR界面设置日常生活活动交互任务,患者操作机器人手柄追踪目标,记录运动空间范围及与目标位置的差距,量化评估USN程度(轻度1~3分、中度4~6分、重度7~10分)。

(5)多感觉引导测试:通过Hololens2提供声源刺激(指定方向“叮叮声”)及触觉震动刺激(2秒/次),重复步骤3~4,对比无引导与多感觉引导下的参数差异,细化USN分级。

传统CBS量表评定:参照Azouvi<sup>[3]</sup>等的评定标准,通过观察患者10项日常生活活动(洗左脸、穿左袖、吃左侧食物等)的表现,每项按0~3分计分,总分0~30分,分数越高表示忽略越严重。

虚拟环境评定:患者佩戴VR眼镜,在虚拟场景中完成删除测试、轮椅导航测试等任务,系统自动评分,总分0~10分,分数越高表示忽略越严重。

### 1.3 观察指标

(1)USN亚型鉴别结果:感觉性、运动性、混合型USN及个体性、个体周围性、个体外性忽略的检出例数。

(2)轻型USN(CBS量表评分1~3分)检出率。

(3)AR-ROBOT系统评定总分与CBS量表评分、虚拟环境评定评分的相关性。

(4)信度指标:组内相关系数(ICC)、评定者间一致性(Kappa值)。

(5)效度指标:与CBS量表的相关性、亚型鉴别准确率。

### 1.4 统计学处理

采用SPSS 26.0统计软件进行数据分析,计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用配对t检验;计数资料以例数(百分比)表示,比较采用 $\chi^2$ 检验;相关性分析采用Pearson相关系数;信度检验采用ICC和Kappa值(Kappa $\geq 0.75$ 为一致性良好)。P<0.05为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 USN亚型鉴别结果

AR-ROBOT系统共鉴别出感觉性USN 9例(36.0%)、运动性USN 7例(28.0%)、混合型USN 9例(36.0%);个体性忽略6例(24.0%)、个体周围性忽略11例(44.0%)、个体外性忽略8例(32.0%)。传统CBS量表仅能区分忽略程度,无法鉴别亚型;虚拟环境评定鉴别出感觉性USN 8例、混合型USN 17例,未检出运动性USN。AR-ROBOT系统对运动性USN的鉴别准确率显著高于虚拟环境评定(P<0.05)。见表1。

表1 不同评定方法的USN亚型鉴别结果(n=25,例)

评定方法	AR-ROBOT系统	虚拟环境评定	CBS量表	X <sup>2</sup>	P
感觉性USN	9(36.00)	8(32.00)	-	0.089	0.765
运动性USN	7(28.00)	0(0.00)	-	8.140	0.004
混合型USN	9(36.00)	17(68.00)	-	5.128	0.024
个体性忽略	6(24.00)	-	-	-	-
个体周围性忽略	11(44.00)	-	-	-	-
个体外性忽略	8(32.00)	-	-	-	-

注:“-”表示该方法无法鉴别对应亚型

### 2.2 轻型USN检出率比较

AR-ROBOT系统检出轻型USN 21例(84.00%),传统CBS量表检出14例(56.00%),虚拟环境评定检出16例(64.00%)。AR-ROBOT系统的轻型USN检出率显著高于CBS量表( $\chi^2=4.507$ , P=0.034),与虚拟环境评定比较差异无统计学意义( $\chi^2=1.562$ , P=0.212)。

### 2.3 相关性分析

AR-ROBOT系统评定总分(3.68±0.45)分与CBS量表评分(5.8±1.12)分呈显著正相关(r=0.826, P<0.001);与虚拟环境评定评分(4.27±1.01)分亦呈显著正相关(r=0.763, P<0.001)。

### 2.4 信度检验

AR-ROBOT系统评定的组内相关系数(ICC)为0.913(95%CI: 0.835~0.957),表明重测信度良好;2名评定者间的Kappa值为0.856(P<0.001),一致性良好。CBS量表评定者间Kappa值为0.782(P<0.001),虚拟环境评定ICC为0.825(P<0.001)。

### 2.5 效度检验

以临床诊断及综合评估结果为金标准,AR-ROBOT系统对USN的总体诊断准确率为96.00%(24/25),显著高于CBS量表的80.00%(20/25)( $\chi^2=3.914$ , P=0.048)和虚拟环境评定的84.00%(21/25)( $\chi^2=2.873$ , P=0.090);在亚型鉴别方面,AR-ROBOT系统对感觉性、运动性USN的鉴别准确率分别为92.00%、88.00%,而虚拟环境评定无法有效鉴别运动性USN。

## 3 讨论

### 3.1 USN评估的现状与技术需求

USN作为脑卒中后影响康复预后的关键因素,其精准评估是制定个性化康复策略的核心。传统纸笔测试如线段平分、画

钟测试等, 仅能评估个体周围空间的视空忽略, 难以涵盖个体空间和较远空间的忽略, 且灵敏度受刺激物特征、测试间隔等多种因素影响。CBS量表虽为目前信度较高的行为评定工具, 但主观性强, 无法区分感觉性与运动性USN亚型, 对轻型USN的漏诊率较高<sup>[4]</sup>。VR技术的应用拓展了USN评估的视野尺度, 可模拟复杂日常生活场景, 但虚拟环境缺乏真实空间坐标参照, 无法同步监测肢体运动轨迹, 难以实现亚型的精准鉴别。ET技术与VR的结合虽能捕捉眼动参数, 但仍无法解决运动性忽略的评估问题。因此, 融合真实场景交互、多模态数据采集及亚型精准鉴别的评估技术, 成为USN评估的发展趋势。

### 3.2 AR-ROBOT系统的技术优势与创新点

本研究构建的AR-ROBOT康复评定系统, 整合了AR、ET与ROBOT三项核心技术, 具有以下优势:

(1) 真实场景与虚拟信息的有机融合: AR技术将虚拟评估任务叠加于真实环境中, 解决了VR评估缺乏真实空间感的问题, 使评估更贴近日常生活场景, 提高了生态效度。如在ADL任务评估中, 患者需将虚拟茶杯放置于真实塑料碗位置, 可直接反映其日常活动中的忽略表现。

(2) 多源数据同步采集与分析: 系统可同时采集眼动参数、肢体运动参数及空间坐标参数, 通过多维度数据融合实现USN的全面评估<sup>[5]</sup>。眼动参数可量化视野缺损、注意力偏向, 肢体运动参数可区分感觉性与运动性忽略, 空间坐标参数可明确忽略的空间范围。

(3) 亚型鉴别能力突出: 通过对比视觉坐标、心理坐标与真实坐标的差异, 可精准鉴别感觉性USN与运动性USN, 这是传统评估方法和单纯VR评估无法实现的。本研究中,

AR-ROBOT系统成功鉴别出7例运动性USN患者, 而虚拟环境评定未检出, 表明该系统在亚型鉴别上的独特优势。

(4) 轻型USN检出率高: 由于系统整合了多模态评估指标, 对轻微的视觉注意偏向和运动执行障碍具有较高的敏感性。本研究中, AR-ROBOT系统的轻型USN检出率达84.00%, 显著高于传统CBS量表的56.00%, 有助于早期发现潜在USN患者, 及时干预以改善预后。

### 3.3 系统的信度与效度分析

信度检验结果显示, AR-ROBOT系统的重测ICC为0.913, 评定者间Kappa值为0.856, 表明系统具有良好的稳定性和一致性, 优于传统CBS量表和虚拟环境评定。效度方面, 系统评定总分与CBS量表评分呈显著正相关( $r=0.826$ ), 表明其与传统金标准具有良好的一致性; 总体诊断准确率达96.00%, 显著高于CBS量表, 证实了系统的诊断有效性。在亚型鉴别效度上, 系统对感觉性、运动性USN的鉴别准确率分别为92.00%、88.00%, 解决了传统评估方法无法区分亚型的难题。这一优势使得康复治疗师能够针对不同亚型制定针对性康复策略, 如感觉性USN可重点进行视觉注意训练, 运动性USN可加强肢体运动启动与控制训练, 从而提高康复疗效<sup>[6]</sup>。

### 3.4 临床应用价值

AR-ROBOT康复评定系统的研发与应用, 为脑卒中后USN的精准评估提供了新工具。该系统不仅能提高轻型USN的检出率, 还能精准鉴别不同类型、不同空间范围的USN亚型, 量化障碍程度, 为个性化康复策略的制定提供客观依据。在深圳市脑卒中高患病率的背景下, 该系统的临床推广可有效提高USN评估的标准化与精准化水平, 减少医疗资源浪费, 改善患者康复预后, 具有重要的临床应用价值和社会意义<sup>[7]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 舒小芮, 曹冠柏, 霍家贤, 等. 脑机接口技术对脑卒中后单侧空间忽略患者康复治疗的研究进展[J]. 中国医学创新, 2025, 22(19): 176-180.
- [2] 杨宇轩, 张晗, 杜娟, 等. 眼动追踪的动态任务评估脑卒中后单侧空间忽略的价值研究[J]. 中国全科医学, 2023, 26(32): 4020-4025.
- [3] Azouvi P, Olivier S, de Montety G, et al. Behavioral assessment of unilateral neglect: study of the psychometric properties of the Catherine Bergego Scale[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2003, 84(1): 51-57.
- [4] Gammeri R, Iacono C, Ricci R, Salatino A. Unilateral Spatial Neglect After Stroke: Current Insights[J]. Neuropsychiatr Dis Treat, 2020, 16: 131-152.
- [5] Höhler C, Rasamoel ND, Rohrbach N, et al. The impact of visuospatial perception on distance judgment and depth perception in an Augmented Reality environment in patients after stroke: an exploratory study[J]. J Neuroeng Rehabil, 2021, 18(1): 127.
- [6] Shen M, Che S, Ye D, et al. Effects of backward walking on knee proprioception after ACL reconstruction[J]. Physiother Theory Pract, 2021, 37(10): 1109-1116.
- [7] 谭舒然, 杨婷婷, 刘建新, 等. 深圳市中老年人群脑卒中患病率及影响因素分析[J]. 实用预防医学, 2019, 11(4): 1288-1293.