XXXX DOI:

AR-B超融合导航在复杂动静脉内瘘精准穿刺中的应用价值评估

陆 燕[1],冯 洁[1],姚红萍[1],华旭芬[1],罗春雷[1],边学燕[1],蒋锡铭[2],徐琴鸿[3]
(宁波大学附属第一医院 1.血液透析室;2.医学工程部;3.护理部,宁波 315000)

【摘 要】目的:探讨增强现实(augmented reality,AR)技术-B超融合导航在复杂动静脉内瘘精准穿刺中的有效性与安全性。**方法:**纳入2023年1月至2023年12月于宁波大学附属第一医院接受规律血液透析治疗的75例复杂动静脉内瘘患者,按随机数字表法分为对照组(采用传统方式进行盲穿)、B超干预组和AR联合B超干预组,每组25例。比较3组基线资料、穿刺效果、满意度以及穿刺疼痛评分。采用双重差分模型分析3组满意度及穿刺疼痛评分。采用Cox回归分析不同干预措施对患者并发症发生风险的影响。**结果:**AR联合B超干预组操作时间、调针次数明显低于其他2组,而一次穿刺成功率明显高于其他2组(P<0.05)。随访3个月、6个月,AR联合B超干预组满意度评分明显高于其他2组(P<0.05),穿刺疼痛评分明显低于其他2组(P<0.05)。双重差分结果显示,与B超干预组及对照组相比,AR联合B超干预组可明显提升患者满意度评分并降低穿刺疼痛评分,且该干预效应在随访6个月时进一步增强,改善幅度大于对照组和B超干预组。随访6个月,AR联合B超干预组总并发症发生率明显低于对照组(P<0.05)。Cox回归分析结果显示,以对照组为参照,校正相关混杂因素后,AR联合B超干预组仍可明显降低患者并发症发生风险(P<0.05)。**结论:**AR技术辅助B超引导穿刺可明显提升复杂动静脉内瘘的穿刺成功率、降低穿刺相关并发症风险,改善患者体验与远期血管预后,是一种安全、有效的精准化穿刺干预策略。

【关键词】复杂动静脉内瘘;增强现实技术;B超;穿刺;有效性
【中图分类号】R692;R473.6 **【文献标志码】**A

Application value of augmented reality-assisted ultrasound fusion navigation in precise puncture of complex arteriovenous fistulas

Lu Yan[1], Feng Jie[1], Yao Hongping[1], Hua Xufen[1], Luo Chunlei[1], Bian Xueyan[1], Jiang Ximing[2], Xu Qinhong[3]
(1.Hemodialysis Room, The First Affiliated Hospital of Ningbo University; 2.Department of Medical Engineering, The First Affiliated Hospital of Ningbo University; 3.Department of Nursing, The First Affiliated Hospital of Ningbo University)

【Abstract】*Objective*: To investigate the effectiveness of augmented reality (AR)-assisted ultrasound in precise puncture of complex arteriovenous fistulas. ***Methods*:** A total of 75 Patients with complex arteriovenous fistulas who received regular hemodialysis treatment in The First Affiliated Hospital of Ningbo University from January to December 2023 were enrolled and divided into control group (using the traditional method for blind puncture), ultrasound intervention group, and AR-assisted ultrasound intervention group using a random number table, with 25 patients in each group. The three groups were compared in terms of baseline data, puncture outcomes, satisfaction score, and puncture pain score. A difference-in-differences model was used to analyze the satisfaction score and puncture pain score of the three groups. A *Cox* regression analysis was used to assess the impact of different interventions on the risk of complications in patients. ***Results*:** Compared with the control group and the ultrasound intervention group, the AR-assisted ultrasound intervention group had a significantly shorter operation time, a significantly lower number of needle adjustments, and a significantly higher first-attempt success rate of puncture (P<0.05). At 3 and 6 months of follow-up, the AR-assisted ultrasound intervention group had a significantly higher satisfaction score and a significantly lower puncture pain score than the other two groups (P<0.05). The difference-in-differences analysis showed that compared with the ultrasound intervention group and the control group, AR-assisted ultrasound intervention significantly improved satisfaction score and reduced puncture pain score, and this intervention effect was further enhanced at 6 months of follow-up, with the improvement significantly greater than that in the control group and the ultrasound interven-

作者介绍:陆 燕,Email:allaluyan@163.com,研究方向:血液透析。
通信作者:徐琴鸿,Email:xuqinhong2013@163.com。
基金项目:浙江省医药卫生科技计划资助项目(编号:2023KY1054);宁波市科技计划资助项目(编号:2023S039);宁波大学附属第一医院护理院级课题资助项目(编号:H2022YJ002)。

tion group. At 6 months of follow-up, the AR-assisted ultrasound intervention group had a significantly lower overall incidence rate of complications than the control group ($P<0.05$). The *Cox* regression analysis showed that with the control group as a reference and after adjustment for relevant confounding factors, AR-assisted ultrasound intervention still significantly reduced the risk of complications ($P<0.05$). ***Conclusion***: AR-assisted ultrasound-guided puncture can significantly improve the success rate of puncture for complex arteriovenous fistulas, reduce the risk of puncture-related complications, and improve patient experience and long-term vascular prognosis, and therefore, it is a safe and effective strategy for precise puncture intervention.

【Key words】complex arteriovenous fistulas; augmented reality technology; ultrasound; puncture; effectiveness

终末期肾病已成为严重威胁人类健康的重要公共卫生问题，血液透析是维持此类患者生命的主要替代治疗[1]。血管通路的建立与维护是实施维持性血液透析的基础条件[2]。自体动静脉内瘘（arteriovenous fistula，AVF）因安全性高、远期通畅率理想，被公认为最优选的长期血管通路[3]。在老年、糖尿病及血管条件不佳的患者中，复杂AVF穿刺难度显著增加。传统盲穿法对复杂动静脉内瘘的一次穿刺成功率偏低，易诱发血肿等并发症[4]。二维B超辅助穿刺虽能实时显示血管形态与深度，明显提高成功率，但其断层图像需操作者在脑内进行三维重构，且频繁的视线切换影响手眼协调性，制约了穿刺的流畅性与精确度[5-6]。随着数字医学的发展，增强现实（augmented reality，AR）技术为优化超声引导下的穿刺操作提供了全新的视角。AR通过将计算机生成的虚拟信息与真实物理环境进行精确配准与实时融合，实现虚拟与现实的交互呈现。近年来，AR在外周血管穿刺及中心静脉置管等操作中的探索性应用已初步显示出临床价值。离体模型研究证实[7]，AR辅助下的血管穿刺可明显缩短操作时间并提高一次穿刺成功率。临床研究也提示AR头戴式设备可改善操作者的空间定向能力，降低误穿动脉及血肿形成等并发症风险[8]。然而，上述研究多集中于大血管或浅表静脉，对于走行迂曲、深度不一且伴发血管壁钙化或动脉瘤样扩张等复杂病变的AVF，AR与实时超声影像融合导航的精准穿刺研究尚缺乏临床证据。理论上，将AR技术与B超相结合应用于复杂动静脉内瘘的穿刺，可将超声获取的二维信息实时三维可视化地呈现在患者皮肤表面，直接展示内瘘的走向以及深度、血流方向及潜在风险区域，明显提升复杂血管条件下穿刺路径规划的直观性与精准度。尽管该策略在理论层面展现出明显的临床应用潜力，但关于其在复杂AVF这一特定临床场景中的系统性研究报道尚不多见。因此，本研究通过对比分析，探讨AR-B超融合导航在复杂动静脉内瘘穿刺中的应用效果，评估其临床可行性与临床价值，以期为临床提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象

纳入2023年1月至2023年12月于宁波大学附属第一医院接受规律血液透析治疗的75例复杂动静脉内瘘患者，其中男性54例，女性21例。按随机数字表法分为对照组、B超干预组和AR联合B超干预组，每组25例。研究期间无退出或脱落病例，全部75例患者均完成6个月随访。本研究经宁波大学附属第一医院医学伦理委员会审查批准（2022研第052A号）。

纳入标准：（1）年龄≥18岁；（2）符合复杂动静脉内瘘标准[9]，即满足以下任一情形：①初期动静脉内瘘（新建立<6个月的自体动静脉内瘘）；②>6个月使用但穿刺困难（包括穿刺距离短、血管周围支撑组织过少、血管距皮距离≥6 mm等）；（3）动静脉内瘘术后≥8周；（4）每周规律透析3次，每次4 h；（5）预期生存时间超过1年者。

排除标准：（1）合并严重心脑血管疾病；（2）精神障碍或配合度差；（3）血压持续≤90/60 mmHg；（4）动静脉内瘘功能不良；（5）合并严重感染或肿瘤疾病；（6）资料收集不完整。

退出标准：（1）研究过程中因死亡、转院、转腹膜透析或肾移植等原因退出或终止治疗的患者；（2）未按时完成干预措施者；（3）不愿继续参与研究者。

1.2 研究方法

1.2.1 临床资料收集 包括性别、年龄、体质指数（body mass index，BMI）、吸烟史、饮酒史、高血压、糖尿病、高脂血症史、文化程度、透析龄、内瘘使用时间、原发病类型。穿刺前测量患者收缩压、舒张压，采集空腹患者外周静脉血5 mL，采用BECKMAN AU5800全自动生化分析仪检测血清尿素氮、血清肌酐、总胆固醇、甘油三酯、低密度脂蛋白胆固醇、高密度脂蛋白胆固醇；采用普门特定蛋白仪检测C反应蛋白；采用SYSMEX XN9000全自动血液分析仪检测血红蛋白、白细胞计数、淋巴细胞计数、血小板计数。

1.2.2 超声检查方法及复杂内瘘评估 所有患者入组前由同一位具有5年以上血管超声经验的医师采用深圳迈瑞M9便携式超声机（L12-4s探头，频率3~13 MHz）完成标准化血管评估，以确保入组对象均符合复杂动静脉内瘘标准且3组基线血管条件均衡。评估内容包括：①术前超声评估双侧前臂浅静脉及桡尺动脉，筛选动静脉内径均>1.5 mm、血流通

畅、无狭窄及走行异常的配对血管；②术后1个月评估内瘘成熟度，参照文献标准确认吻合口静脉端内径>3 mm、血流量>400 mL/min、全程无血栓及狭窄[10]，内瘘成熟后方可纳入研究；③穿刺前再次行超声检查，系统评估并记录内瘘走行（是否迂曲）、血管距皮深度、穿刺区域长度、有无钙化或动脉瘤样扩张等复杂内瘘特征，作为后续各组穿刺方案制定的解剖学依据。该超声评估结果仅用于患者资格判定与基线血管特征描述，不用于后续干预实施。

1.2.3 干预措施 对照组：采用传统触诊引导穿刺，护士常规触摸评估血管弹性，依据操作者经验确定穿刺点，常规消毒后持穿刺针行血管穿刺，见回血后视情况决定是否调整进针。统一采用蝶形交叉法以胶布固定穿刺针。静脉端穿刺完成后，动脉端按统一流程操作。见图1A。

B超干预组：采用深圳迈瑞M9便捷式超声机（L12-4s探头，频率3~13 MHz）、一次性使用无菌保护罩、医用超声耦合剂。使用超声评估血管深度、走行及内径，常规消毒皮肤，探头涂耦合剂后用一次性使用无菌保护罩包裹，再次消毒保护罩表面。操作者左手持探头，采用平面外技术行超声引导下穿刺，右手持针于探头与皮肤交界中点进针。当超声影像出现亮点且穿刺针可见回血时，减小进针角度，将针尖推送至血管腔中央。穿刺成功后以蝶形交叉法固定。静脉端穿刺完成后，动脉端穿刺同上。见图1B。

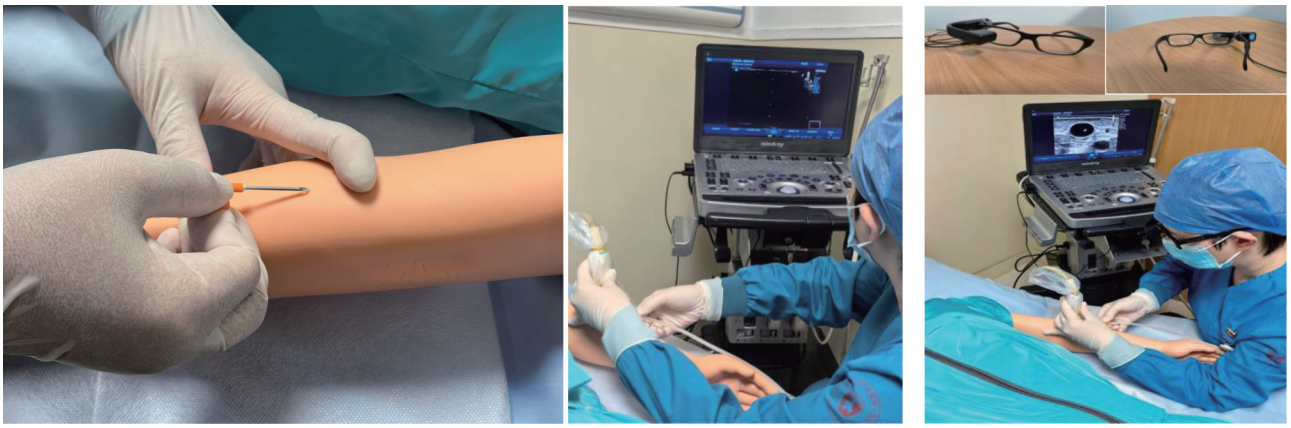
AR联合B超干预组：在B超干预组基础上，连接头戴式增强现实显示设备（Vufine第二代AR智能眼镜），配备实时影像融合系统。操作者佩戴AR眼镜，超声扫描目标血管时，系统将超声实时影像传输至AR眼镜，操作者双眼不需要在患者和超声影像间来回切换，操作者结合实时影像，可直观看清血管深度、走行、内径及分支结构，快速、精准规划最佳穿刺路径并定位穿刺点。在AR联合B超实时引导下采用平面外技术进针，AR眼镜同步显示超声切面及针尖虚拟投影，辅助实时追踪针尖位置。当针尖进入血管腔时，超声可见亮点，穿刺针可见回血，AR眼镜同步显示。根据实时影像反馈调整角度，将针尖推送至血管腔中央。穿刺成功后以蝶形交叉法固定。静脉端穿刺完成后，动脉端穿刺同上。见图1C。

1.2.4 操作者间一致性评价 为控制操作者技术差异对研究结果的影响，正式入组前开展操作者间一致性预试验。参与本研究的穿刺操作护士6名（每组2名），均已完成规范化培训并通过考核。预试验选取9例符合纳入标准的复杂AVF患者（不纳入正式研究），每例患者由3名操作者按随机顺序独立完成穿刺，记录操作时间、调针次数及一次穿刺成功率。采用组内相关系数（intraclass correlation coefficient，ICC）评估操作者间一致性，ICC>0.75为一致性良好。预试验结果显示，AR联合B超干预组ICC为0.82（95%CI=0.71~0.90），B超干预组ICC为0.79（95%CI=0.67~0.88），对照组ICC为0.63（95%CI=0.48~0.76）。正式研究中各操作者负责的病例数均衡分配，严格遵循标准化操作流程，尽可能控制操作者间变异对结局指标的影响。

1.2.5 盲法实施 本研究为器械类操作干预研究，患者及操作者均无法对分组实施盲法。为最大程度控制测量偏倚，本研究对结局评估者及数据统计分析者实施盲法。具体措施如下：①满意度评分及疼痛评分由经过统一培训、不参与临床操作且不知晓患者分组情况的独立评估人员在指定访谈室内完成采集，评估人员不得询问受试者关于穿刺方式的相关信息；②穿刺效果指标（操作时间、调针次数、一次穿刺成功率）由研究助理根据操作记录进行事后提取与判定，该研究助理不参与临床护理且对分组情况不知情；③并发症的判定由2名不知晓分组信息的血管通路专科医师独立评估，意见不一致时协商达成共识；④数据统计分析由未参与研究设计与数据收集的人员完成，分析前对分组变量进行编码隐藏，直至分析报告完成后方予揭盲。

1.3 观察指标

（1）穿刺效果：观察并记录患者穿刺过程中的操作时间（从穿刺部位碘伏消毒开始，至穿刺针成功置入血管并回血、固定完毕的总时间）、调针次数、一次穿刺成功率、血流量充分性：参照K/DOQI指南[11]，血液透析治疗中实测有效血流量稳定≥200 mL/min，且能满足充分透析所需的血流量要求（通常为200~300 mL/min），未因流量不足导致频繁报警或提前终止透析；穿刺损伤情况：①轻度：穿刺后出现局部肿胀及皮下瘀斑，经冷敷或暂停穿刺1~2 d后症状消退，通常可在7 d



A. 对组组（盲穿） B. B超干预 C. AR联合B超干预

图1 3组穿刺操作方法示意图

内继续穿刺。②中度：肿胀及瘀斑范围扩大、程度加重，需停止穿刺至少7 d方可再次操作。③重度：发生需医疗干预的严重并发症，包括急诊留院观察、住院治疗、输血支持或接受放射介入/外科手术处理[12]。

（2）患者满意度：分别于穿刺后3个月、6个月采用Likert 5级评分法评估患者对穿刺操作的满意度，分值1至5分，分值愈高提示满意度愈高。

（3）疼痛评分：于穿刺后3个月、6个月采用数字疼痛评分量表进行评估。评分标准：0分表示无痛，1~3分为轻度，4~6分为中度，7~10分为重度。

（4）并发症：统计3组患者6个月内动静脉内瘘相关并发症的发生情况，主要观察指标为观察期内发生血栓、内瘘狭窄（经彩色多普勒超声检查证实存在以下任一情形：①吻合口或穿刺段静脉管腔内径较邻近正常管腔缩小>50%；②狭窄处峰值流速比>2.0；③合并血流动力学明显改变，并经临床判断需干预处理者。）、动脉瘤（内瘘穿刺部位或吻合口附近血管壁出现局部永久性扩张，超声测量最大内径>邻近正常静脉内径的2倍，或最大内径>20 mm，伴或不伴瘤内血栓形成）、出血、流量不足等情况。

1.4 统计学分析

统计分析借助SPSS 26.0软件完成。分类变量以频数和百分比表示，组间差异分析采用χ^2检验或*Fisher*精确检验。连续变量首先进行正态分布检验，服从正态分布者以均数±标准差（$\bar{x}\pm s$）表示，2样本均数比较采用t检验，多个样本均数比较采用方差分析（F检验）。采用双重差分模型分析3组患者的满意度评分及穿刺疼痛评分。采用Cox回归分析不同干预措施对患者并发症发生风险的影响。检验水准α=0.05。

2 结 果

2.1 3组患者基线资料比较

3组患者基线资料比较，差异均无统计学意义（P>0.05），组间具有可比性，见表1。

表1 3组患者基线资料比较（n，%；$\bar{x}\pm s$）

项目	对照组（n=25）	B超干预组（n=25）	AR联合B超干预组（n=25）	χ^2/F值	P值
性别				1.587	0.452
男性	18(72.00)	20(80.00)	16(64.00)		
女性	7(28.00)	5(20.00)	9(36.00)		
年龄（岁）	60.48±14.91	61.68±13.44	61.28±14.11	0.047	0.955
BMI（kg/m^2）	24.24±3.18	23.08±2.70	23.76±3.17	1.042	0.358
吸烟史				2.444	0.295
有	18(72.00)	20(80.00)	15(60.00)		
无	7(28.00)	5(20.00)	10(40.00)		
饮酒史				2.444	0.295
有	18(72.00)	20(80.00)	15(60.00)		
无	7(28.00)	5(20.00)	10(40.00)		
高血压史				3.536	0.171
有	23(92.00)	21(84.00)	18(72.00)		
无	2(8.00)	4(16.00)	7(28.00)		
糖尿病史				1.393	0.498
有	14(56.00)	11(44.00)	10(40.00)		
无	11(44.00)	14(56.00)	15(60.00)		
高血脂史				4.167	0.125
有	7(28.00)	3(12.00)	2(8.00)		
无	18(72.00)	22(88.00)	23(92.00)		
文化程度				2.144	0.709
小学及以下	10(40.00)	10(40.00)	14(56.00)		
初高中	14(56.00)	13(52.00)	10(40.00)		
高中以上	1(4.00)	2(8.00)	1(4.00)		
透析龄（月）	49.86±8.18	51.57±10.70	47.25±8.36	1.413	0.250
瘘龄（月）	3.76±0.45	3.82±0.37	3.81±0.63	0.098	0.907
原发病				0.521	0.914
原发性肾小球肾炎	9(36.00)	8(32.00)	9(36.00)		
糖尿病肾病	6(24.00)	7(28.00)	6(24.00)		
高血压肾病	4(16.00)	5(20.00)	5(20.00)		
多囊肾	4(16.00)	3(12.00)	5(20.00)		
痛风	2(8.00)	2(8.00)	0(0.00)		

2.2 3组患者实验室指标比较

3组患者穿刺前实验室指标比较，差异均无统计学意义（$P>0.05$），组间具有可比性，见表2。

2.3 3组患者穿刺效果比较

AR联合B超干预组操作时间、调针次数明显低于其他2组患者，而一次穿刺成功率明显高于其他2组患者（$P<0.05$），见表3。

2.4 3组患者满意度评分及穿刺疼痛评分比较

随访3个月、6个月时，AR联合B超干预组满意度评分明显高于对照组和B超干预组（$P<0.05$），穿刺疼痛评分明显低于对照组和B超干预组（$P<0.05$），见表4。

2.5 满意度评分及穿刺疼痛评分的双重差分模型

将满意度评分、穿刺疼痛评分作为因变量，组别、时间以及交互项作为自变量，纳入重复测量交互模型进行回归分析。结果显示，B超干预组较对照组的满意度评分平均升高0.276分，穿刺疼痛评分平均降低0.304分（$P<0.05$）；随访6个月时较3个月时的满意度评分平均升高0.522分，穿刺疼痛评分平均降低0.487分（$P<0.05$），B超干预组在随访6个月时满意度评分的上升幅度较对照组平均高0.349分，穿刺疼痛评分的下降幅度较对照组平均多0.383分。见表5。

AR联合B超干预组较B超干预组的满意度评分平均升高0.435分，穿刺疼痛评分平均降低0.242分（$P<0.05$）；随访6个月时较3个月时的满意度评分平均升高0.715分，穿刺疼痛评分平均降低0.379分（$P<0.05$）；AR联合B超干预组在随访6个月时满意度评分的上升幅度较B超干预组平均高0.634分，穿刺疼痛评分的下降幅度较B超干预组平均高0.286分。见表6。

AR联合B超干预组较对照组的满意度评分平均值升高0.533分，穿刺疼痛评分平均降低0.325分（$P<0.05$）；随访6个月时较3个月时的满意度评分平均升高0.849分，穿刺疼

表2 3组患者实验室指标比较（$\bar{x}\pm s$）

指标	对照组（n=25）	B超干预组（n=25）	AR联合B超干预组（n=25）	F值	P值
收缩压（mmHg）	154.44 ± 16.75	147.92 ± 13.53	146.16 ± 18.35	1.783	0.175
舒张压（mmHg）	82.16 ± 12.88	78.12 ± 11.40	83.12 ± 13.42	1.109	0.335
尿素氮（mmol/L）	22.97 ± 9.06	22.79 ± 11.56	19.56 ± 7.74	1.002	0.372
C反应蛋白（mg/L）	2.81 ± 2.18	2.68 ± 2.28	3.18 ± 2.35	0.326	0.723
血清肌酐（μmol/L）	719.12 ± 263.18	653.88 ± 292.68	730.48 ± 410.17	0.397	0.674
总胆固醇（mmol/L）	3.58 ± 1.36	3.51 ± 1.00	3.43 ± 1.03	0.108	0.898
甘油三酯（mmol/L）	1.46 ± 0.77	1.51 ± 1.31	1.34 ± 0.78	0.441	0.645
低密度脂蛋白胆固醇（mmol/L）	2.25 ± 1.10	2.14 ± 0.66	2.07 ± 0.68	0.293	0.747
高密度脂蛋白胆固醇（mmol/L）	0.98 ± 0.26	1.05 ± 0.34	1.02 ± 0.28	0.354	0.703
血红蛋白（g/L）	105.28 ± 20.22	106.92 ± 14.55	103.92 ± 17.63	0.182	0.834
白细胞（$\times10^9$/L）	6.20 ± 3.76	5.45 ± 1.80	6.37 ± 2.57	0.749	0.476
淋巴细胞（$\times10^9$/L）	1.16 ± 0.66	1.26 ± 0.55	1.14 ± 0.40	0.345	0.709
血小板（$\times10^9$/L）	160.28 ± 64.06	181.88 ± 71.76	150.56 ± 68.26	1.385	0.257

表3 3组患者穿刺效果比较（n,%;$\bar{x}\pm s$）

项目	对照组（n=25）	B超干预组（n=25）	AR联合B超干预组（n=25）	χ^2/F值	P值
操作时间（min）	11.58 ± 2.01	8.24 ± 1.17[a]	6.08 ± 0.99[ab]	90.136	<0.001
调针次数（次）	3.28 ± 0.84	1.48 ± 0.51[a]	0.80 ± 0.41[ab]	108.626	<0.001
一次穿刺成功率	17（68.00）	21（84.00）	24（96.00）[a]	6.886	0.032
血流量充分	20（80.00）	21（84.00）	22（88.00）	0.595	0.743
穿刺损伤				1.934	0.748
轻度	7（28.00）	3（12.00）	2（8.00）		
中度	5（20.00）	2（8.00）	0（0.00）		
重度	1（4.00）	0（0.00）	0（0.00）		

注：a，与对照组比较，$P<0.05$；b，与B超干预组比较，$P<0.05$

表4 3组满意度评分及穿刺疼痛评分比较（$\bar{x}\pm s$）

评分	对照组（n=25）	B超干预组（n=25）	AR联合B超干预组（n=25）	F值	P值
满意度评分（分）					
3个月	2.88 ± 0.60	3.36 ± 0.47[a]	3.76 ± 0.44[ab]	12.385	<0.001
6个月	3.23 ± 0.58	3.78 ± 0.62[a]	4.27 ± 0.55[ab]	19.840	<0.001
穿刺疼痛评分（分）					
3个月	4.24 ± 0.66	3.96 ± 0.20[a]	3.04 ± 0.20[ab]	57.331	<0.001
6个月	3.16 ± 0.47	3.00 ± 0.50	2.04 ± 0.20[ab]	53.866	<0.001

注：a，与对照组比较，$P<0.05$；b，与B超干预组比较，$P<0.05$

痛评分平均降低0.512分(P<0.05)；AR联合B超干预组在随访6个月时满意度评分的上升幅度较对照组平均高0.668分，穿刺疼痛评分的下降幅度平均高0.432分。见表7。

2.6 3组患者并发症情况比较

AR联合B超干预组总并发症发生率明显低于对照组(P<0.05)，与B超干预组比较差异无统计学意义(P>0.05)，见表8。

2.7 各组患者并发症发生风险的Cox回归分析

采用Cox回归分析不同干预措施对患者并发症发生风险的影响，结果显示，以对照组患者为参照，在校正相关混杂因素后，AR联合B超干预组仍可明显降低患者并发症发生风险(P<0.05)，见表9。

表5 对照组与B超干预组满意度评分及穿刺疼痛评分的双重差分模型

自变量	满意度评分			穿刺疼痛评分		
	β	95%CI	P	β	95%CI	P
组别(1=B超干预组,0=对照组)	0.276	0.142~0.410	0.015	−0.304	−0.327~−0.265	0.002
时间(1=随访6个月,0=随访3个月)	0.522	0.398~0.746	<0.001	−0.487	−0.525~−0.403	<0.001
组别×时间(交互项)	0.349	0.265~0.533	<0.001	−0.383	−0.452~−0.315	0.001

表6 B超干预组与AR联合B超干预组满意度评分及穿刺疼痛评分的双重差分模型

自变量	满意度评分			穿刺疼痛评分		
	β	95%CI	P	β	95%CI	P
组别(1=AR联合B超干预组,0=B超干预组)	0.435	0.299~0.571	<0.001	−0.242	−0.322~−0.186	0.011
时间(1=随访6个月,0=随访3个月)	0.715	0.586~0.844	<0.001	−0.379	−0.407~−0.332	0.005
组别×时间(交互项)	0.634	0.482~0.786	<0.001	−0.286	−0.315~−0.243	0.006

表7 对照组与AR联合B超干预组满意度评分及穿刺疼痛评分的双重差分模型

自变量	满意度评分			穿刺疼痛评分		
	β	95%CI	P	β	95%CI	P
组别(1=AR联合B超干预组,0=对照组)	0.533	0.401~0.765	<0.001	−0.325	−0.436~−0.235	0.005
时间(1=随访6个月,0=随访3个月)	0.849	0.695~0.963	<0.001	−0.512	−0.545~−0.483	<0.001
组别×时间(交互项)	0.668	0.466~0.830	<0.001	−0.432	−0.489~−0.367	0.001

表8 3组患者并发症情况比较(n,%)

并发症	对照组(n=25)	B超干预组(n=25)	AR联合B超干预组(n=25)	χ^2值	P值
血栓	2(8.00)	1(4.00)	0(0.00)	2.083	0.353
内瘘狭窄	3(12.00)	2(8.00)	1(4.00)	2.206	0.332
动脉瘤	1(4.00)	0(0.00)	0(0.00)	2.027	0.363
出血	1(4.00)	0(0.00)	0(0.00)	2.027	0.363
流量不足	4(16.00)	3(12.00)	2(8.00)	0.758	0.685
总并发症	11(44.00)	6(24.00)	3(12.00)[a]	8.333	0.016

注：a，与对照组比较，P<0.05

表9 各组患者并发症发生风险的Cox回归分析

分组	β	SE	HR(95%CI)	$Wald\ \chi^2$	P
未校正模型					
对照组 vs. B超干预组			1.000(参照)		
对照组 vs. AR联合B超干预组	−0.389	0.177	0.678(0.477~0.963)	4.829	0.028
B超干预组 vs. AR联合B超干预组	−0.263	0.193	0.769(0.527~1.122)	1.856	0.173
模型1					
对照组 vs. B超干预组					
对照组 vs. AR联合B超干预组	−0.468	0.193	0.626(0.428~0.916)	5.881	0.015
B超干预组 vs. AR联合B超干预组	−0.327	0.206	0.721(0.481~1.081)	2.520	0.112
模型2					
对照组 vs. B超干预组					
对照组 vs. AR联合B超干预组	−0.487	0.199	0.614(0.412~0.915)	5.989	0.014
B超干预组 vs. AR联合B超干预组	−0.417	0.253	0.659(0.435~1.198)	2.716	0.099

注：模型1：校正性别、年龄、BMI、高血脂史、糖尿病史、高血压史、文化程度、饮酒史吸烟史；模型2：在模型1的基础上，校正透析龄、瘘龄

3 讨 论

血液透析作为终末期肾病的主要治疗手段，其顺利实施有赖于功能良好的血管通路[13]。AVF是目前临床应用最为广泛且使用寿命最长的血管通路类型，但其穿刺难度较大，相关并发症发生率也相对较高[14-15]。反复穿刺失败不仅造成患者痛苦、影响透析血流量，还可导致血管内膜损伤及内瘘血栓形成，加速内瘘功能丧失进程[16]。因此，如何提高复杂内瘘的穿刺精准度、减少穿刺相关并发症是血液净化领域亟待解决的重要问题。目前对于复杂内瘘大多数中心凭经验盲法穿刺，操作存在一定主观性，增加了穿刺难度。超声引导下穿刺技术的临床应用在很大程度上改善了内瘘穿刺的精准度[17]。然而，B超引导仍存在固有的技术局限：操作者需在超声屏幕图像与患者体表穿刺区域之间反复进行视线切换，并在大脑中将二维超声图像重构为三维空间结构，尤其在处理走行复杂、解剖变异的血管时，认知负荷明显增加，仍难以完全避免反复调针或穿刺偏差[18]。近年来，AR技术的兴起为突破这一技术瓶颈提供了新的思路。AR技术通过将虚拟图像与真实环境精准叠加，可将B超图像实时投射至操作者的视野中，实现穿刺路径的可视化，有望进一步降低穿刺操作对操作者空间认知能力的依赖，提升穿刺精准度与安全性。

本研究中，AR联合B超干预组操作时间、调针次数明显低于其他2组患者，而一次穿刺成功率明显高于其他2组患者。分析其原因，主要在于AR技术通过将超声图像与虚拟穿刺路径进行实时融合呈现，为操作者提供了更为直观的空间解剖定位，有效弥补了单纯B超引导下二维图像的局限性，使操作者能够在进针前精准规划路径，从而在操作中大幅减少了凭借触觉或经验反复试探、校正针尖方向的过程，直接体现为调针次数的明显减少以及操作时间的缩短，提升了一次性命中靶点的成功率。在血管介入操作领域，AR技术已被初步证实可缩短操作者的学习曲线并提高穿刺精准度。既往有研究显示[19]，在硬脊膜动静脉瘘的微创治疗中，应用头戴式AR显示设备可协助术者精准定位靶点，并减少术中透视依赖。此外，单纯B超引导下，进针所致组织形变迫使探头微调以维持血管显影，致使超声图像与针尖实际空间位置脱节。即便B超显示针尖高回声，该靶点可能已随探头移位而偏离真实血管腔，据此调整方向易加剧偏差。而AR的静态、动态融合影像能有效对抗这种组织形变带来的误差，操作者无需在超声屏幕与穿刺点间切换视线，也无需主观估计移位后的靶点位置，可直接在统一坐标系引导下实时校正进针方向，从而克服组织形变所致靶点漂移。现有AR在血管穿刺中的研究多集中于中心静脉置管及外周大血管介入操作。Furuhata R等[20]的系统综述证实AR引导可降低颈内静脉置管的误穿动脉发生率及血肿形成风险，但其目标血管直径大、解剖位置相对固定，其操作难度与复杂AVF的穿刺难度存在本质差异。本研究在更复杂的血管条件下验证了AR联合B超的临床获益，是对现有AR血管穿刺研究在AVF这一特殊场景中的补充与拓展。

血液透析患者需长期、反复接受内瘘穿刺，穿刺疼痛和心理恐惧是影响其生活质量及治疗依从性的重要因素[21]。穿刺疼痛的减轻可能源于调针次数的减少和一次穿刺成功率的提高。AR引导技术通过提高一次穿刺成功率，有效避免了多次穿刺造成的疼痛刺激叠加效应。此外，患者对新型医疗技术的接纳程度及其在诊疗过程中的参与感，也可能是影响其满意度评价的重要维度。AR技术的可视化界面使患者能够直观感知穿刺路径与操作流程，有助于强化患者对医疗行为的信任感，缓解其紧张情绪，从而提升主观满意度。既往研究多局限于单次穿刺后即时测评，或聚焦AR在术前规划中的一次性应用[22]，患者满意度改善可能源于对新技术的新鲜感，而非客观穿刺损伤的减少。本研究通过6个月的纵向随访发现，AR联合B超干预组满意度评分明显高于对照组和B超干预组，穿刺疼痛评分明显低于对照组和B超干预组。双重差分结果也显示，与B超干预组及对照组相比，AR联合B超干预可明显提升患者满意度评分并降低穿刺疼痛评分，且该干预效应在随访6个月时进一步增强，改善幅度大于对照组和B超干预组。提示AR引导的满意度获益并非短暂的新奇效应，而是随重复穿刺次数累积、精准定位优势持续凸显而逐步强化，拓展了既往研究多局限于单次体验评估的方法学视野。

本研究发现随访6个月时，AR联合B超干预组总并发症发生率明显低于对照组。Cox回归分析显

示，以对照组为参照，在校正相关混杂因素后，AR联合B超干预组仍可明显降低患者并发症发生风险。内瘘并发症的发生与穿刺质量密切相关。反复穿刺可损伤血管壁，形成血肿，血肿机化可压迫血管或成为感染灶[23]；内膜损伤释放组织因子，激活凝血级联反应，促进血栓形成[24]。AR引导下的精准穿刺可减少血管壁损伤，从而降低并发症的发生风险。此外，有研究采用近红外血管成像仪辅助内瘘穿刺，虽可显示浅表血管的体表投影和走行，但无法提供血管深度、管腔内径及皮下组织结构等信息，对距皮深度≥6 mm或合并钙化、动脉瘤等复杂内瘘的引导价值有限[25]。AR联合B超不仅可实时获取并三维呈现血管全貌，更支持进针前于虚拟影像中规划最优路径、主动规避PTA扩张段及钙化灶等高风险区域，并在穿刺过程中通过同步显示的针尖虚拟投影实时校正进针角度与深度。目前，针对AR联合B超引导复杂动静脉内瘘穿刺的临床研究较为有限。本研究通过前瞻性随机对照设计，定量证实AR联合B超引导可明显减少调针次数、缩短操作时长，提升一次穿刺成功率，并降低随访期内并发症发生率，为该技术在复杂内瘘穿刺中的应用提供了临床依据。

本研究虽证实AR联合B超在复杂AVF穿刺中的临床有效性，但其推广应用仍面临现实挑战。设备成本与可及性方面，AR头戴式设备及影像融合系统购置成本较高，但随着硬件国产化加速，价格呈下降趋势。操作效率方面，本研究中AR组操作时间明显短于B超组及对照组，说明路径规划前置的获益已覆盖设备准备耗时。操作者要求方面，参与护士均经过≥4学时专项培训，操作者间一致性ICC达0.82，提示具备3年以上内瘘穿刺经验者经过短期培训即可胜任。此外，AR组并发症发生率的降低有望减少因内瘘功能丧失所致后续医疗支出，但其成本效益尚需卫生经济学评价加以验证。本研究尚存不足。受限于单中心设计及样本量，难以完全避免选择偏倚，所得结论的推广价值有待后续多中心、大样本研究予以证实。其次，随访时间仅为6个月，AR技术对内瘘长期通畅率、内瘘使用寿命等硬终点的影响尚需更长时间的追踪观察；此外，穿刺损伤组间差异无统计学意义，可能受限于样本量不足及损伤分级依赖主观观察的测量偏倚，后续研究需扩大样本量并引入客观量化指标加以验证。

综上所述，AR技术联合B超引导穿刺可明显提升复杂动静脉内瘘的一次穿刺成功率、降低穿刺损伤及并发症风险，改善患者体验感与远期血管预后。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 陆燕：研究方案设计、数据采集与分析、论文撰写；冯洁、姚红萍：数据采集、穿刺操作；华旭芬、罗春雷：数据采集、患者随访与满意度调查；边学燕：研究方案设计、临床指导、论文修改；蒋锡铭：设备调试与技术保障、AR系统维护与数据导出；徐琴鸿：研究方案设计、研究统筹与管理、论文修改与审核

参 考 文 献

[1] Zhang JJ, Wang SX, Zhang L. Evaluating serum beta-2-microglobulin levels for uremic pericarditis risk in end-stage renal disease patients[J]. Clin Lab, 2025, 71(6): 987-992.

[2] 李朝园，赵富浩，陈 莎，等. 不同血管通路对老年维持性血液透析患者的效果比较[J]. 天津医药，2024，52(12)：1266-1269.
Li CY, Zhao FH, Chen S, et al. Comparison of the effect of different vascular access routes on elderly patients with maintenance hemodialysis [J]. Tianjin Med J, 2024, 52(12): 1266-1269.

[3] 杨宇涛，李 文，阮 琳，等. 维持性血液透析患者自体动静脉内瘘血栓形成机制及危险因素研究现状[J]. 中国血液净化，2026，25(1)：40-43.
Yang YT, Li W, Ruan L, et al. Research status about the mechanism and risk factors of thrombosis in autologous arteriovenous fistula in maintenance hemodialysis patients[J]. Chin J Blood Purif, 2026, 25(1): 40-43.

[4] 吴爱纯，张 璜，吴 磊. 彩色多普勒超声引导较深动静脉新内瘘穿刺的临床应用[J]. 中国实用护理杂志，2020，36(1)：36-41.
Wu AC, Zhang H, Wu L. The clinical application of color Doppler ultrasound in guiding the puncture of new internal fistula in deep arteriovenous[J]. Chin J Pract Nurs, 2020, 36(1): 36-41.

[5] Yao YL, Mao HH, Du ZH, et al. Effect of two different techniques of arteriovenous fistula puncture on wound infection in haemodialysis patients[J]. Int Wound J, 2024, 21(3): e14659.

[6] 陈灿灿，李惠萍，黄维凤，等. 非热康普照射在B超引导下内瘘穿刺患者中的应用效果[J]. 中国医药导报，2021，18(26)：178-180，188.
Chen CC, Li HP, Huang WF, et al. Application effect of non thermal CommScope irradiation in patients with internal fistula puncture guided by B-ultrasound[J]. China Med Her, 2021, 18(26): 178-180, 188.

[7] Morillas Pérez J, Mechó Meca S, Caballero Galindo G, et al. Validation of the effectiveness of augmented reality-assisted vascular puncture: An experimental model[J]. J Vasc Access, 2024, 25(3): 971-975.

[8] 杨健炳，李晓军，曾宪冬，等. 应用移动AR定位系统辅助高血压脑出血定位穿刺引流的临床研究[J]. 临床医学进展，2025，15(10)：2449-2456.
Yang JB, Li XJ, Zeng XD, et al. Clinical study on the application of mo-

bile AR positioning system to assist the positioning puncture and drainage of hypertensive intracerebral hemorrhage[J]. Adv Clin Med,2025,15(10):2449-2456.

[9] 中国医院协会血液净化中心分会血管通路工作组.中国血液透析用血管通路专家共识(第2版)[J].中国血液净化,2019,18(6):365-381.

Vascular access working group of the blood purification center branch of the Chinese hospital association. Expert consensus on vascular access for hemodialysis in China(2nd Edition)[J]. Chin J Blood Purif,2019,18(6):365-381.

[10] 武一婷,丁丹丹,杨 冰,等.影响自体动静脉内瘘成熟因素的研究进展[J].中国血液净化,2025,24(5):398-401.

Wu YT,Ding DD,Yang B,et al. Research progress on factors affecting the maturation of autologous arteriovenous fistulas[J]. Chin J Blood Purif,2025,24(5):398-401.

[11] Lok CE,Huber TS,Lee T,et al. KDOQI clinical practice guideline for vascular access:2019 update[J]. Am J Kidney Dis,2020,75(4):S1-S164.

[12] 肖光辉,张闻娣,张丽红,等.血液透析新型单针穿刺技术在复杂自体动静脉内瘘中的应用[J].中国血液净化,2025,24(4):323-327.

Xiao GH,Zhang WD,Zhang LH,et al. Application of novel single-needle puncture technique for hemodialysis patients with complex autogenous arteriovenous fistula[J]. Chin J Blood Purif,2025,24(4):323-327.

[13] Adrian CCK,Yun YH. An unconventional hemodialysis vascular access through graft-vein fistula[J]. J Vasc Access,2024,25(6):2027-2030.

[14] 张建红,熊艳飞,马晓芹.高频彩色多普勒超声在尿毒症患者复杂难建动静脉内瘘中的应用价值[J].医学理论与实践,2020,33(17):2899-2901.

Zhang JH,Xiong YF,Ma XQ. Application value of high frequency color Doppler ultrasound in complicated arteriovenous fistula in uremia patients[J]. J Med Theory Pract,2020,33(17):2899-2901.

[15] 宋文慧,王海燕.维持性血液透析中自体动静脉内瘘建立对终末期肾病患者心血管系统的不良影响研究进展[J].山东医药,2024,64(24):108-111.

Song WH,Wang HY. Research progress on adverse effects of autologous arteriovenous fistula on cardiovascular system in patients with end-stage renal disease during maintenance hemodialysis[J]. Shandong Med J,2024,64(24):108-111.

[16] Shu P,Wang X,Wen ZP,et al. The effect of multiple single cannulation technique on complications of arteriovenous fistulae:A meta-analysis[J]. Medicine,2024,103(38):e39748.

[17] Chan AHM,Lam AHY. Effectiveness of ultrasound-guided arteriovenous fistulas cannulation in difficult hemodialysis arteriovenous access:a meta-analysis of randomised controlled trials[J]. Health,2024,16(11):994-1012.

[18] Chlorogiannis DD,Bousi SE,Zachiotis M,et al. Pre-operative ultrasound mapping before arteriovenous fistula formation:an updated systematic review and meta-analysis[J]. J Nephrol,2024,37(2):281-292.

[19] Olexa J,Kim KT,Saadon JR,et al. Apple vision pro augmented reality-assisted minimally invasive surgical treatment of spinal dural arteriovenous fistula[J]. Cureus,2024,16(7):e63657.

[20] Furuhata R,Tanji A,Yamai Y,et al. Augmented reality-assisted infraclavicular first rib resection for arterial and venous thoracic outlet syndrome:a case series[J]. J Cardiothorac Surg,2025,20(1):378.

[21] 王文倩,牛洪艳,李青枝,等.血液透析患者动静脉内瘘穿刺相关痛苦体验的质性研究[J].中华护理杂志,2025,60(19):2328-2333.

Wang WQ,Niu HY,Li QZ,et al. A qualitative study on needle-related distress of arteriovenous fistula experiences in hemodialysis patients[J]. Chin J Nurs,2025,60(19):2328-2333.

[22] 库洪彬,孟志勇,张颜礼,等.简化增强现实技术在老年幕上脑出血引流术前穿刺点定位中的应用价值分析[J].中华神经医学杂志,2021,20(4):389-392.

Ku HB,Meng ZY,Zhang YL,et al. Value of simplified augmented reality technique in location of puncture point before drainage of supratentorial hemorrhage in the elderly[J]. Chin J Neuromed,2021,20(4):389-392.

[23] 唐思凯,陈 林,张颖君,等.超声引导下自体动静脉内瘘穿刺的最佳证据总结[J].中国血液净化,2024,23(11):859-863.

Tang SK,Chen L,Zhang YJ,et al. Evidence summary for ultrasound-guided autogenous arteriovenous fistula puncture[J]. Chin J Blood Purif,2024,23(11):859-863.

[24] 张 艳,姜惠丽,刘 芳,等.维持性血液透析患者自体动静脉内瘘晚期血栓形成的影响因素分析[J].中国血液净化,2025,24(9):776-780.

Zhang Y,Jiang HL,Liu F,et al. Factors influencing the presence of late thrombosis in autogenous arteriovenous fistulas in patients on maintenance haemodialysis[J]. Chin J Blood Purif,2025,24(9):776-780.

[25] 吴庆峰,章 莉,孙秋英.血管显像仪引导下穿刺对动静脉内瘘初期穿刺成功率的影响[J].实用医学杂志,2026,42(1):146-151.

Wu QF,Zhang L,Sun QY. Clinical study on the influence of angiography guided puncture on the success rate of initial arteriovenous fistula puncture[J]. J Pract Med,2026,42(1):146-151.

(**收稿**:2026-06-09;**修回**:2026-09-03;**录用**:2026-09-07)

(责任编辑:李青颖)

本文引用格式:

陆燕,冯洁,姚红萍,等.AR-B超融合导航在复杂动静脉内瘘精准穿刺中的应用价值评估[J].重庆医科大学学报,XXXX,XX(XX):1-9.