

增强现实技术在关节外科手术规划及教学培训中的应用

刘书中, 姚思远, 杨波*

(中国医学科学院 北京协和医学院 北京协和医院 骨科, 北京 100730)

摘要: 增强现实(AR)技术不断发展和成熟,对关节外科手术计划的制定、手术方案的模拟、手术效果的改善、手术风险的降低均大有裨益。同时,AR技术也为提高年轻骨科医生对关节外科常见疾病和手术的认知、理解和实际操作技能创造了有利条件。

关键词: 增强现实技术;关节外科;手术规划;教学与培训

中图分类号:R319 文献标志码:A

Application of augmented reality technology in operation planning and clinical training of joint surgery

LIU Shu-zhong, YAO Si-yuan, YANG Bo*

(Department of Orthopaedics, Peking Union Medical College Hospital, CAMS & PUMC, Beijing 100730, China)

Abstract: Augmented reality (AR) technology has been used and is of great benefit to the formulation of operation planning, simulation of operation scheme, improvement of operation outcome and reduction of risk in joint surgery, and also creates favorable conditions for the understanding of common diseases in joint surgery and training of practical operation skills of young orthopedic surgeons.

Key words: augmented reality technology; joint surgery; operation planning; teaching and training

增强现实(augmented reality, AR)技术已逐步试用于多种骨科手术,如脊柱外科手术、关节外科手术、骨与软组织肿瘤切除、骨折复位内固定、关节镜培训及手术和其他微创手术中。初入21世纪,骨科学领域各项相关技术发展迅速,但由于骨与软组织结构和功能的复杂性,骨科疾患病种的多样性,故手术相关的各种风险和并发症发生率仍然较高。特别是在疑难、复杂的脊柱、关节、骨肿瘤、微创和创伤复位等手术中,由于解剖结构难以识别,很容易引起相关的副损伤发生,AR技术

的飞速发展有望解决这些临床难题。本文将对AR技术在关节外科手术规划及教学与培训中的应用现状进行总结。

1 增强现实(AR)技术及其在骨科领域的应用概述

近5年来,AR技术在医学领域发展迅速,其应用学科门类也越来越广泛,涵盖骨科、神经外科、耳鼻喉科、口腔科、血管外科、药物研发、医学人工智能、医学教学与培训等诸多领域^[1-2]。AR技术被定

义为计算机生成的,将集成信息与现实环境相融合的实时交互系统,其在医学领域具有广泛的应用前景^[1,3-8]。

大量临床前研究证据表明 AR 可作为术中指导和协助医生做出手术策略的利器。AR 技术可以更好地显示神经、肌肉、重要血管或肿瘤瘤体的组织特性,使其在多种关节外科手术中具备发挥关键作用的潜能,可提高手术安全性并减少完成手术所需的时间^[7-10]。骨科手术方面,AR 已试用于微创的经皮脊柱内镜手术、创伤重建、截骨术、关节镜手术、关节置换及肿瘤切除等手术中,研究内容涉及脊柱外科、关节外科、骨科创伤、关节镜手术、骨肿瘤外科和骨科康复等骨科亚专业^[4,7,11-12]。借助于 AR 技术辅助的手术模拟系统,骨科医师在进行复杂、高难度手术之前可以先进行规划、模拟、探讨可能在实际手术过程当中出现的手术入路、操作要点、高难度技术等诸多问题,进而将训练成果与操作经验运用到真实手术实践中,以期优化手术方案并缩短学习曲线^[4,7,11-12]。研究生或青年医师应用 AR 技术可以在任何适当的场所进行实践操作、手术方案设计及预演、手术模拟和理论学习,形象生动,便于记忆,亦更好地解决了培养单位医疗资源和培训资源有限的难题^[5,13-14]。

2 增强现实 (AR) 技术在关节外科手术规划及手术模拟训练中的应用

2.1 应用优势

模拟或实际手术前可在工作系统内输入患者已完成的影像学检查项目的数据(包括 X 线、CT、MRI、超声检查、造影检查、核医学检查等)。在工作系统中进行获取、处理、分析、集成和输出,以形成个体化、客观、准确、可调节的三维仿真图像,确保所拟合的三维图像与手术过程中的实际解剖位置关系高度一致。仿真图像清晰度高、分辨率高、图像结构清晰、立体感强,与实际手术场景基本保持一致。该项技术可以协助临床医生或培训者快速、准确、实时地体验和识别解剖部位、解剖层次和解剖功能在内的四维数据,分析病变特征、病变性质和解剖结构位置关系,进行交互式手术或模拟可以获得较为良好的体验^[4,7]。此外,在关节外科手术或操作中涉及的重要解剖结构(骨与关节、

韧带、肌腱、肿瘤、神经、肌肉、血管、周围毗邻组织及重要器官等)在手术或模拟前可由 AR 系统进行不同颜色或不同符号的标记,以便更快速、更准确、更直观地确定手术方案,模拟手术路径,提高了手术操作的准确性和安全性,大大降低了副损伤等并发症的发生风险,提高手术的成功率,最终使患者获益^[15]。

2.2 在关节外科手术规划及操作模拟中的应用实例

2.2.1 关节创伤手术:骨科医生使用 AR 增强型 HMD 的术中视野转移次数较常规手术操作显著减少,有效地提高了操作者的手术效率,并且研究中未发现使用者出现视力障碍或疲劳^[16]。与传统的 C 型臂相比,AR 系统有效减少了患者和操作者的辐射剂量,而手术时间并没有显著差异^[17]。一些研究还开发了类似的摄像头增强型 C 型臂来引导锁定螺钉和克氏针的置入,但尚处于临床前研究阶段。根据其具备的精准定位和实时交互的技术特性,AR 技术有望在严重骨骼畸形矫正、术前力线设计、矫正效果预测、骨缺损手术、术中精准截骨、术中力线监测等领域展现出自身独特的优势。

2.2.2 关节置换术:在髋关节置换手术操作中,AR 设备可进一步提高操作精准度,从而深入了解 AR 技术在关节置换术术前和术中的应用价值具有重要意义^[18]。在临床上,对于发育性髋关节发育异常、髋关节假体翻修术、伴有严重骨缺损的髋膝关节手术而言,术中如何准确识别解剖位置、精准放置髋臼假体和股骨假体等问题大大增加了手术难度,并可能直接影响到患者的手术效果和术后康复。AR 技术的出现有望解决这些问题,这依赖于 AR 技术可以实时协助术者完成术中解剖结构的精准识别,尤其是在伴发骨缺损、发育异常、解剖变异、术后翻修这些特殊情况时仍然可以实现上述技术优势,具有广阔的应用前景。

2.2.3 关节镜手术:利用 AR 技术可获取术前模拟的虚拟实体模型,可为骨科医师提供一个轻巧且易操作的肩关节模型,使虚拟手术的模式操作更加简单^[19]。在临床实践中,关节镜的镜下韧带重建、骨道定位、镜下翻修手术操作难度高,术中常受到关节内复杂的解剖结构、解剖变异、镜下操作视野受限、组织肿胀黏连等诸多因素的干扰,术

者往往需要较长的学习曲线。在上述研究的基础上,AR技术有望降低关节镜微创手术中骨道定位、韧带重建、镜下翻修术中新骨道的确定等手术过程的操作难度。

2.2.4 关节肿瘤手术:AR在关节肿瘤手术中的使用目前仅在猪模型中开展。应用AR技术可以开发在平板电脑上使用的计算机整合模型,可根据术前CT上肿瘤大小、骨骼特性和毗邻软组织结构之间的关系来确定手术切除范围^[20]。与传统方法相比,使用AR软件的切除切缘精度更高,且可减少操作时间并节约成本,AR技术有望应用于关节肿瘤的手术模拟和临床实践当中,更好地确定瘤体与受累关节、周围邻近组织的关系,并辅助引导假体置入过程等^[20]。

2.2.5 关节穿刺与造影术:关节造影为有创检查已少用,但对于诊断疑难的肩、髋关节病例,如:不明原因的肩、髋关节疼痛、怀疑感染性关节炎、复杂的肩袖损伤、盂唇损伤、肩袖或盂唇缝合修补术后了解愈合情况等可行关节穿刺造影术。但由于髋关节位置深在,常需透视引导下穿刺,医生和患者均不得不接受多次较长时间的射线辐射,故AR技术有望改善目前的现状。AR图像叠加技术为人体肩、髋关节造影的成功提供了准确、有效的定位指导^[21]。PicoLinker智能眼镜可以明显提高穿刺精度,缩短照射时间,缩短总插入时间^[22]。

3 增强现实(AR)技术在关节外科教学与培训中的应用

3.1 关节创伤与置换手术教学与培训

临床操作和培训的有限机会,以及在外科手术中增加干预的复杂性,引发了不同的训练和评估方式的发展和创新,如解剖模型、基于计算机的模拟器或尸体训练。然而,受训者在接受培训、评估并最终进行患者治疗时,仍然面临着陡峭的学习曲线。

在手术模拟训练方面,AR技术也有着巨大的应用前景。为了训练年轻医生的手术操作技能,开发出安全且有效的技术,对于患者安全和住院医师培养至关重要。关节微创手术目前已广泛开展,但不同于开放手术,内镜手术有着漫长而陡峭的学习曲线。由于工作时间限制、成本压力以及

患者安全问题,给骨科住院医师带来了压力,需要在更短的时间内获得越来越复杂的手术技能,而机会更少。

3.2 关节镜手术教学与培训

关节镜手术培训是骨科住院医师培训的重要组成部分,合适的模块训练不仅可以区分专业水平,而且可以有效地提高经验不足的外科医生的关节镜检查技能^[23]。有了AR技术辅助,就可以在不影响患者安全的情况下,缩短住院医师的学习曲线。AR训练缩短了外科手术学员的学习曲线,而不会影响患者治疗效果或延长手术时间。AR模拟训练在膝关节和肩关节镜检查中都显示出其优势^[23]。AR技术关节镜训练是骨科手术住院医师训练的有效环节,对于患者安全和住院医师教育至关重要^[23]。

3.3 关节肿瘤手术教学与培训

应用AR导航系统,将肿瘤显示为虚拟模板,大大提高了肿瘤切除的准确性,导航系统简便易行,不影响手术操作时间^[20]。因此,增强现实是对骨科医师培训和技能评估的有效工具,临床决策能力及技能熟练度不再需要长期的临床实践才能获得。同时,不同于实物模型训练,AR可以增加外科手术训练的乐趣。

4 增强现实(AR)技术发展的困境与挑战

AR技术的广泛临床应用仍然面临着诸多的困境和挑战:1)首先,受限于AR技术研制和应用的初衷,该项技术应用的目的更多是集中在对于人体解剖结构的识别和引导,而往往忽略了对于解剖结构功能性的识别和认知,这就使得AR技术的临床广泛应用在某种程度上受到了一定的限制,如在骨与软组织肿瘤的术前模拟和手术实践过程中,如何更好地界定癌旁组织以确定手术切除范围和边界需要手术医师在术中清晰地辨别整个瘤体的代谢情况,如果能将AR系统与PET-CT、PET/MRI等检查数据有机结合起来,则类似问题就有望得到有效解决。2)其次,既往基于AR技术的研究中所纳入分析的标本或病例数量较少,有必要进行更大样本的模拟试验,以更加明确AR技术相对于其他传统技术的优越性和可靠性。3)在明确AR技术优越性的同时,如何有效地将其应用于教学培训和临床实践过

程当中是研究者面临的重大问题,需要建立一套完整的、规范化的、统一的 AR 系统应用指南,进一步指导 AR 技术的实施和推广。4) 传输速率问题。现阶段 AR 技术在远程会诊等场景的应用中仍具有一定的延迟,相信随着 5G 技术的不断研发、应用,这一问题将会得以解决。

5 结语

随着 AR 技术和新型骨科诊疗技术的有机结合,它将在骨科疾病的诊断、治疗、教学、培训等方面发挥越来越重要的作用。要尽快建立和完善基于

AR 技术的培训体系,尽快形成完善优化的培训模式和培训效果评估体系,让骨科医生、研究生和医学生通过 AR 技术增强对骨科专业的兴趣、对相关解剖、手术计划和方案等基本理论知识的认知、对基本操作技术的掌握,不断提高手术技术和实践能力,要提出更加周密和完善的术前规划,制定更趋合理和优化的手术方案,从而最大限度地惠及患者。同时,合理配置医疗教学资源,以期加快促进青年骨科医师的教育和培养,改变多年来骨科医生培养曲线过长的现状。

参考文献:

- [1] Andress S, Johnson A, Unberath M, *et al.* On-the-fly augmented reality for orthopedic surgery using a multimodal fiducial[J]. *J Med Imaging (Bellingham)*, 2018, 5:021209. doi: 10.1117/1.JMI.5.2.021209.
- [2] Brigham TJ. Reality check: Basics of augmented, virtual, and mixed reality [J]. *Med Ref Serv Q*, 2017, 36: 171-178.
- [3] Viehofer AF, Wirth SH, Zimmermann SM, *et al.* Augmented reality guided osteotomy in hallux valgus correction [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2020, 21:438. doi: 10.1186/s12891-020-03373-4.
- [4] Madhavan K, Kolcun JPG, Chieng LO, *et al.* Augmented-reality integrated robotics in neurosurgery: are we there yet? [J]. *Neurosurg Focus*, 2017, 42:E3. doi: 10.3171/2017.2.FOCUS177.
- [5] Creighton FX, Unberath M, Song T, *et al.* Early feasibility studies of augmented reality navigation for lateral skull base surgery[J]. *Otol Neurotol*, 2020, 41: 883-888.
- [6] Elmi-Terander A, Nachabe R, Skulason H, *et al.* Feasibility and accuracy of thoracolumbar minimally invasive pedicle screw placement with augmented reality navigation technology [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2018, 43: 1018-1023.
- [7] Ma L, Zhao Z, Chen F, *et al.* Augmented reality surgical navigation with ultrasound-assisted registration for pedicle screw placement: a pilot study [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2017, 12: 2205-2215.
- [8] Denmler C, Jaberg L, Spirig J, *et al.* Augmented reality-based navigation increases precision of pedicle screw insertion [J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15:174. doi: 10.1186/s13018-020-01690-x.
- [9] Hetherington J, Lessoway V, Gunka V, *et al.* SLIDE: automatic spine level identification system using a deep convolutional neural network [J]. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2017, 12: 1189-1198.
- [10] Hu MH, Chiang CC, Wang ML, *et al.* Clinical feasibility of the augmented reality computer-assisted spine surgery system for percutaneous vertebroplasty [J]. *Eur Spine J*, 2020, 29: 1590-1596.
- [11] Vadala G, De Salvatore S, Ambrosio L, *et al.* Robotic spine surgery and augmented reality systems: a state of the art [J]. *Neurospine*, 2020, 17: 88-100.
- [12] Kosterhon M, Gutenberg A, Kantelhardt SR, *et al.* Navigation and image injection for control of bone removal and osteotomy planes in spine surgery [J]. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*, 2017, 13: 297-304.
- [13] Braga RT, O'CC, O'Connor NE, *et al.* A quality of experience assessment of haptic and augmented reality feedback modalities in a gait analysis system [J]. *PLoS One*, 2020, 15:e0230570. doi: 10.1371/journal.pone.0230570.
- [14] Chytas D, Malahias MA, Nikolaou VS, *et al.* Augmented reality in orthopedics: current state and future directions [J]. *Front Surg*, 2019, 6: 38. doi: 10.3389/fsurg.2019.00038.
- [15] Alexander C, Loeb AE, Fotouhi J, *et al.* Augmented reality for acetabular component placement in direct anterior

- total hip arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2020, 35: 1636-1641.
- [16] Ortega G, Wolff A, Baumgaertner M, *et al.* Usefulness of a head mounted monitor device for viewing intraoperative fluoroscopy during orthopaedic procedures [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2008, 128: 1123-1126.
- [17] von der Heide AM, Fallavollita P, Wang L, *et al.* Camera-augmented mobile C-arm (CamC): a feasibility study of augmented reality imaging in the operating room [J]. *Int J Med Robot*, 2018, 14: doi: 10.1002/rcs.1885.
- [18] Ogawa H, Hasegawa S, Tsukada S, *et al.* A pilot study of augmented reality technology applied to the acetabular cup placement during total hip arthroplasty[J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33: 1833-1837.
- [19] Atmani H, Merienne F, Fofi D, *et al.* Computer aided surgery system for shoulder prosthesis placement [J]. *Comput Aided Surg*, 2007, 12: 60-70.
- [20] Cho HS, Park YK, Gupta S, *et al.* Augmented reality in bone tumour resection: an experimental study [J]. *Bone Joint Res*, 2017, 6: 137-143.
- [21] Fritz J, U-Thainual P, Ungi T, *et al.* Augmented reality visualization with use of image overlay technology for MR imaging-guided interventions: assessment of performance in cadaveric shoulder and hip arthrography at 1.5 T[J]. *Radiology*, 2012, 265: 254-249.
- [22] Ogawa H, Kurosaka K, Sato A, *et al.* Does an augmented reality-based portable navigation system improve the accuracy of acetabular component orientation during THA? A randomized controlled trial [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2020, 478: 935-943.
- [23] Rose K, Pedowitz R. Fundamental arthroscopic skill differentiation with virtual reality simulation[J]. *Arthroscopy*, 2015, 31: 299-305.

新闻点击

女人在运动中呼吸比男人困难

发表在《FASEB》(*Federation of American Societies for Experimental Biology*)上新近的研究表明,尽管男女都可以在非凡的运动中取得成就,但平均而言在剧烈运动期间,女性必须比男性更努力地呼吸。

加拿大滑铁卢大学助理教授保罗·多米内利(Paolo Dominelli)博士说:“女性在给定的呼吸量下,呼吸肌要做的工作量更大。”“人们认为这是由于女性的气道比男性小,这导致气流阻力更高。”

该研究小组招募了6名男性和5名女性进行两次最大程度的运动测试,参与者逐渐增加了自己在固定周期上的运动水平,直到他们尽力而为。参与者通过附在大袋子上的烟嘴呼吸。在一个疗程中,袋子里充满了正常的室内空气。在另一期间,袋子中充满了氧气和氮气的混合物。每个袋子中都含有相同数量的氧气,并且没有告知参与者他们在哪一天呼吸的是哪种混合物。

在测试过程中,将一根小管插入参与者的鼻子和喉咙,以监测食道内部的压力。该程序使研究人员能够测量呼吸所需的工作量。当袋子中装有氮气混合物时,结果表明男女呼吸作用没有差异。当包含室内空气时,女性的呼吸工作要比男性多得多。

该实验旨在模拟男性较大的气道如何降低呼吸阻力。氮混合物的密度远小于室内空气,因此以层流方式流动。在层流中,空气分子都沿相同的方向流动,就像一条光滑河中的水一样。在湍流中,空气分子沿不同方向旋转,类似于在河中间的巨石周围形成的漩涡。气道中的湍流引起更大的阻力,这需要更多的工作来克服。

多米内利解释说:“决定气流是层流还是湍流的两个主要因素是气道的大小和流量。”“静止时,气流速率非常低,因此即使女性的气道比男性小,气流仍然是层流的。随着运动强度的增加,您的呼吸加快,并且在某些时候,气流从层流变为湍流。男性气道中的气流最终也将从层流变为湍流,但这需要比女性更高的气流率。”

刘晓荻 译

王欣 编