用于糖尿病足医学教育与培训的虚拟现实

Gabriel Riva*
ICT/UNIFESP，圣保罗联邦大学，巴西

Wellington Dores†
ICT/UNIFESP，圣保罗联邦大学，巴西

Artur Damasio‡
ICT/UNIFESP，圣保罗联邦大学，巴西

Daniel Guimar˜ães Cacione§
EPM/UNIFESP，圣保罗联邦大学，巴西

Joaquim Jorge¶INESC-ID，里斯本大学高等技术学院，葡萄牙

Ezequiel Zorzal‖INESC-ID、IST/UL、葡萄牙、ICT/UNIFESP、圣保罗联邦大学、巴西

arXiv:2302.02939v1 [cs.HC] 6 Feb 2023

摘要

糖尿病足是糖尿病最常见的并发症之一，也是全球非创伤性下肢截肢的首要原因。这些并发症可以通过早期诊断和及时治疗加以预防。然而，即使在初级卫生保健不断发展的背景下，这一问题仍在加剧，表明初级卫生保健专业人员在糖尿病足诊断和治疗方面的培训存在不足。本项目拟开发一款虚拟现实模拟器，用于培训初级卫生保健领域的学生和专业人员，旨在弥补这一不足。该应用融入了游戏化元素，以提高用户参与度。应用将通过多个临床病例模拟初级保健医疗情境，其中包括多位处于糖尿病足不同阶段的虚拟患者，力求为潜在用户提供真实且各具特色的体验。此外，我们还将评估其可用性、有效性及任何副作用（晕动症）。最后，我们计划与具备资质的学生和专业人员开展实地研究，以确定应用该技术的主要益处与障碍。

索引词： 计算方法—虚拟现实—

1 引言

糖尿病（DM）是一种影响约7.9%巴西人口（约1,680万人）的疾病 [6] ，巴西也是DM患者人数排名前五的国家之一 [1]。然而，有证据表明，其中约半数人并不知道自己患有该疾病 [26]。糖尿病足是DM最常见的并发症之一，其后果可能对患者的生活造成创伤，表现为慢性伤口（25%的糖尿病患者一生中会出现慢性伤口）和感染，甚至下肢截肢 [8]。定期检查足部有助于及早发现并及时治疗所发现的异常，从而预防相当数量的糖尿病足并发症，例如溃疡和截肢 [3]。根据卫生部（巴西）的数据，大多数非创伤性下肢截肢（约60%）发生在患有外周血管疾病和/或糖尿病的患者中 [10]。

全科医生的培训除其他主题和技能外，还应包括妥善处理在人群中常见且可能导致严重并发症和死亡的疾病。在血管外科领域，感染性糖尿病足的处理尤为重要，因为它可能导致并发症，进而可能造成截肢，损害患者的生活质量和工作能力；此外，严重脓毒症也可能导致死亡。

值得注意的是，目前可能可预防的情况是糖尿病导致的最常见健康并发症之一 [11], ，即便在卫生部所述的背景下，糖尿病患者在统一卫生系统（SUS）中依靠投资并获得医疗援助和护理 [2]。在此背景下，提高初级保健专业人员对糖尿病足的早期评估和治疗能力，对于减少可预防的下肢截肢病例及其他因未能及时治疗而引发的并发症具有重要意义。与开展此类患者情况评估相关的措施与并发症直接相关。例如，未能正确识别疾病严重程度、初始治疗中使用不适当的抗生素，以及延迟开具外科手术医嘱等因素，都与下肢截肢发生率上升、住院时间延长、重症监护时间延长及死亡有关。

大多数情况下，全科医生（在诊室、门诊或急诊室）是最先接触患者的专业人员之一，负责作出诊断并制定处理方案。在实践中，如果这位处于“第一线”的专业人员能够作出恰当的诊断并采取适当的处理措施，患者发生并发症的可能性就会降低。然而，由于这位专业人员并不跟踪患者的病情进展，因此不了解并发症的细节，也不清楚初始处理措施造成的直接后果。因此，针对全科医生开展这一主题培训的理想教学方法，应包含数量适当的临床情景，涉及病情严重程度、处理方法和结局各不相同的患者。此外，了解这些患者的病情进展及其后来出现的并发症，对学习也很重要。

为涵盖这些重要方面，本文强调在感染性糖尿病足的教学中采用模拟方法。传统教学中的模拟通常通过床边病例讨论，或由学生和住院医师介绍病例、毕业生参与讨论的方式进行。然而，这种模拟无法体现个人决策及所采取措施带来的直接后果，而且受限于医疗机构可提供的病例数量。

总体而言，技术一直是医学的重要助力，尤其是在教学和培训方面。近年来，基于虚拟现实（VR）和增强现实（AR）等交互式技术的主动教学法已得到应用，既用于支持卫生专业人员的教学与培训，也用于在外科手术过程中为他们提供支持 [29, 30]。

与此同时，游戏化已被用作一种工具，将逻辑概念和游戏元素应用于教学过程中，使学习更具吸引力和挑战性。根据 Ogawa 等人（2015）的观点， [22], 游戏化是一个在非游戏情境中使用游戏元素的过程。Basten（2017） [5] 指出，游戏化能够激励人们在不同于电子游戏的情境中学习，而电子游戏在近几十年已广泛普及。根据该作者的观点，游戏化应用已被用于解决最

*电子邮箱：gabriel.riva@unifesp.br
†电子邮箱：wellington.dores@unifesp.br
‡电子邮箱：artur.damasio@unifesp.br §电子邮箱：cacione@unifesp.br
¶电子邮箱：jorgej@acm.org‖电子邮箱：ezorzal@unifesp.br



图1：射线投射技术的使用　　用于患者护理和体格检查的交互（来源：改编自 www.mediactiv.com）　　).

多样化的学习问题。Gentry 等人（2019） [13], 评估了与传统学习相比，使用游戏化开展卫生专业人员教育的有效性。在这项关于文献的系统综述中，游戏化的效果优于传统学习，结果显示，有关其相对于传统学习有效性的证据确定性为中等至高。此外，与传统学习相比，在获得改进技能方面，也有证据表明其效果幅度从小到大不等。

采用虚拟现实（VR）作为逼真模拟的游戏化方法，使参与者能够接触各种复杂程度的场景，而不必受制于医疗服务中病例可用性的限制；他们可以在不危及患者生命或医疗基础设施（包括实体设施和医务人员）的情况下，随时随地观察并分析其行为所产生的直接后果，这是该方法的主要优势。此外，鉴于 COVID-19 疫情导致的出行限制，采用虚拟现实技术的方法在当前及未来类似情境中都可能具有重要价值 [20]。

简而言之，本项目将产生两项主要成果：超越传统医学培训现有技术水平和既定实践的新科学成果；以及一款配备虚拟现实（VR）的游戏化模拟器，可生成供用户使用和探索的概念验证。除传播所取得的成果外，分享这项技术的开发经验也将成为本项目的主要贡献。

目前，文献中探讨医疗保健情境下虚拟现实技术在糖尿病领域应用的研究还不多，这凸显了本研究的重要性。在患者教育方面，Neira-Tovar 等人 [21] 介绍了一款虚拟现实电子游戏的开发，该游戏旨在鼓励锻炼、对抗抑郁，从而预防糖尿病带来的一些后果。Singleton 等人 [27] 使用非沉浸式虚拟现实模拟，向护理专业学生讲授糖尿病患者的治疗方法；一项随机对照试验发现，在低血糖知识方面，这种方法显著优于常规教学方法。Mallik 等人与 Oxford Medical Simulation 合作，开发了与糖尿病相关的沉浸式虚拟现实临床情境，并采用柯克帕特里克培训评估模型，对英国 2 家医院的 39 名非专科临床医生进行评估，结果发现，培训后他们应对糖尿病急症的信心有所增强。

2 材料与方法

虚拟现实模拟器将根据 Preece 等人（2002）提出的生命周期模型进行开发 [24]。选择这一生命周期模型，是因为可以依据检查评估结果修订项目需求。此外，原型设计是一种有用的技术有助于在各个阶段收集用户对设计的反馈。为明确需求，除了在上一阶段通过文献综述开展的深入研究外，我们还将访谈目标受众，以进一步了解初级保健中实际护理体验的开展方式，以及卫生专业人员与患者之间的互动形式，并收集护理流程各个阶段的信息。要创建尽可能贴近真实体验的沉浸式应用程序，这种了解至关重要。

应用程序在原型设计、最小可行产品（MVP）和最终产品阶段的开发将使用 Unity 引擎工具完成。应用程序所包含的情景、物体和虚拟形象将使用 Blender 3D 进行三维建模。确定模拟器的需求后，我们将开发具有不同交互方式的原型，并通过专家用户反馈寻找最佳方案；反馈将通过测试和半结构化访谈收集。针对虚拟环境中的交互方式，我们将开发并测试以下形式：在三维环境中与虚拟平板电脑交互；通过射线投射进行选择和操控；使用手部追踪或虚拟现实控制器。

与虚拟控件交互时（图1），我们将开发一个三维模型，呈现一个可插入模拟器的平板电脑。这样，用户便可直观地对其进行操作，以查看不同类型的信息并使用各种控制选项。我们将使用用户的手部追踪功能来访问虚拟控制器并与之交互。手部追踪将通过 Oculus Quest 2 头戴式设备或类似设备上的由内向外摄像头实现。这样，头戴式设备便能检测双手的位置和朝向，以及用户手指的姿态。这种追踪技术广泛应用于需要解放用户双手的场景，并且已是 Oculus Quest 2 头戴式设备及类似设备所具备的功能。通过用户在头戴式设备视野范围内的手部动作和手势，用户即可选择虚拟控件并执行特定交互。

射线投射技术是虚拟现实中的一种普遍交互方式 [18, 28]。用户通过控制一束光线瞄准虚拟物体。光线击中物体后，用户即可选中并进一步操作该物体，从而与超出直接触及范围的物体进行交互。图2展示了我们计划开发的一种草图，作为模拟器中另一种交互方式。指向特定位置时，屏幕上会出现一个标示明确的虚拟菜单，其中显示可用选项，用户可据此进行交互并作出选择。

通过手部或触控进行交互时，用户将能够使用自己的双手，在虚拟环境中选择和操纵附近的物体。与虚拟控制器的交互方式相同，我们将



图2：在虚拟环境中使用平板电脑通过虚拟控制进行交互（来源：改编自 www.mediactiv.com）。

利用头戴式设备现有的资源来追踪用户的双手。我们计划实现指向特定物体以进行选择等手势，以及用手指做出类似捏合的动作，以抓取和移动虚拟环境中的物体。需要注意的是，我们计划将这些交互功能与 Oculus Quest 2 头戴式设备或类似设备配备的 Touch 控制器结合使用，使头戴式设备能够在用户放下或重新拿起控制器时，自动切换为使用双手或实体控制器进行操作。

根据 Edwards 等人（2016年） [12], , 常用的游戏化技术包括个人得分、排名、奖励、虚拟形象、徽章、竞赛和挑战。两位研究人员均指出，这些技术可以应用于多种游戏化系统，以激励用户完成任务。基于这一观点，我们计划在模拟器中开发并融入以下游戏化技术：

- 个人计分：用户成功完成活动后将获得个人积分。需要注意的是，不同类型活动的得分可能有所不同；
- 损失厌恶：管理员可以选择使用损失厌恶系统，并设定用户未能达到特定模拟目标时可能损失的积分数；
- 奖励：管理员可以根据既定规则配置奖励的发放方式。当用户达到特定得分或成功完成挑战时，可以通过徽章或其他奖品奖励用户；
- 时间限制：可将模拟器配置为限制每项挑战的时长。
- 排名：模拟器能够显示排名表（排名），列出每位用户的个人得分。

我们计划在支持 MySQL 的 Web服务器上存储用户数据，例如得分、等级和偏好设置，以便检索每位用户的信息。

2.1 模拟步骤

模拟将在一个虚拟环境中进行，该环境模拟一间医生诊室，包含两个主要区域。第一个区域设有一张桌子、几把椅子，以及桌面上的一些物品。第二个区域用于模拟体格检查，配有一张担架，供虚拟患者躺下和坐着，此外还备有进行无菌操作和检查所需的物品及器械。

开始模拟时，用户将位于桌子的一侧，而所选病例的虚拟患者虚拟形象将坐在桌子的另一侧，正对着用户。桌上放着平板电脑或虚拟控制器，它们是待测试的交互方式之一。用户可以通过平板电脑查看患者档案，其中包含姓名首字母、年龄、性别、体重、身高、生命体征，以及主诉和所报告问题的持续时间。桌上还会提供一块写字板，作为查看书面信息的替代方式。用户可以按下平板电脑上的按钮，或通过射线投射指向虚拟患者，进入后续模拟阶段，首先进行病史采集（图3）。

模拟将包含五个连续阶段：病史采集、体格检查、辅助检查、诊断和随访。每个阶段都将通过多种互动形式进行模拟，并生成得分以实现游戏化，反映用户的表现。最后一个阶段将展示用户表现报告，随后模拟将返回主病例菜单界面。

2.2 结果评估

为了评估用户对模拟器中所实现功能的感知，包括其有用性和可用性，我们将采用出声思维协议，与用户开展定性评估。除此之外，还将使用系统可用性量表（SUS）问卷 [7]测量可用性，并使用NASA任务负荷指数（NASA-TLX） [15] 问卷评估用户感知的工作负荷，以衡量原型的有效性。在测试过程中，将通过任务完成度、错误率和时间等定量指标评估虚拟现实头戴设备的影响。性能评估将



图3：病史采集：这一阶段是与患者进行“访谈”，医生会向患者提问，以更好地了解其主诉并协助诊断。

分析学习结果、培训后学生的主观评价，以及与当前技术相比所获得的熟练程度。如果已验证方差齐性和残差正态分布的假设，则可进行方差分析检验 [17]，以检测各应用平均值之间是否存在统计学显著差异。否则，将使用非参数方法（如弗里德曼检验）分析数据。完成适当的检验后，应进行事后检验，以执行多重两两比较（例如，Tukey检验或邓恩检验）。有关这些检验的更多详细信息，请参见Bailey（2008） [4]。所有统计分析将使用统计软件R [25]完成。

3 结论

本研究旨在开发一款虚拟现实模拟器，用于培训医疗专业人员掌握糖尿病足的诊断和治疗。该模拟器将采用 Unity 游戏引擎开发，并针对 Oculus Quest 平台进行优化，同时融入游戏化元素。用户将通过虚拟控制器、射线投射、手部追踪和 Touch 控制器与模拟器互动。这些沉浸式技术有望成为改进医疗实践的有力助力。此外，本项目的研究成果可用于评估这些技术在糖尿病足感染这一重要医疗问题中的应用。本研究还为今后在医学其他领域开发此类应用奠定了基础，有望在中长期对患者的教学与护理产生重要影响。

致谢

本研究由国家研究委员会（CNPq）资助，资助编号为 423521/2021-7；并获得葡萄牙科学基金会资助，资助编号为 2022.09212.PTDC；同时得到联合国教科文组织人工智能与扩展现实教席的支持。

参考文献

[1] 国际糖尿病联盟糖尿病地图集——第十版。https://diabetesatlas.org/。（访问日期：2023年1月7日）。[2] 初级卫生保健秘书处门户网站。https://aps.saude. gov.br/noticia/10336。（访问日期：2023年1月7日）。[3] J. Ahmad. 糖尿病足。《糖尿病与代谢综合征：临床研究与评论》，10(1):48–60，2016年1月。[4] R. A. Bailey. 《比较实验设计》，第25卷。剑桥大学出版社，2008年。[5] D. Basten. 游戏化。《*IEEE* 软件》，34(05):76–81，2017年。[6] B. A. Binhardi, C. R. de Souza Teixeira, B. de Almeida-Pititto, F. Barbosa-Junior, L. J. Franco, K. F. S. de Melo, D. A. C. Malerbi, and R. E. M. de Oliveira. 巴西2019冠状病毒病疫情期间的糖尿病自我护理实践与韧性：网络调查结果：DIA-BETESvid。《糖尿病学与代谢综合征》，13(1)，2021年8月。[7] J. Brooke et al. SUS——一种快速简便的可用性量表。《工业可用性评估》，189(194):4–7，1996年。[8] C. A. Chastain, N. Klopfenstein, C. H. Serezani, and D. M. Aronoff. 糖尿病足感染的临床综述。《足病医学与外科诊所》，36(3):381–395，2019年7月。[9] N. Correia, L. Alves, H. Correia, L. Romero, C. Morgado, L. Soares, J. C. Cunha, T. Rom˜ao, A. E. Dias, and J. A. Jorge. Instory：一个用于实体空间移动信息访问、讲故事和游戏活动的系统。载于*2005*年*ACM SIGCHI*娱乐计算技术进展国际会议论文集，ACE '05，第102–109页，纽约，美国，2005年。计算机协会。[10] 卫生部。截肢者护理指南。https: //bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_atencao_pessoa_amputada.pdf。（访问日期：2023年1月7日）。[11] A. A. S. da Silva, A. A. Castro, L. G. de Bomfim, and G. B. B. Pitta. 巴西各州和各地区因糖尿病而接受下肢截肢的情况。《研究、社会与发展》，10(4):e11910413837，2021年4月。[12] E. A. Edwards, J. Lumsden, C. Rivas, L. Steed, L. Edwards, A. Thiya- garajan, R. Sohanpal, H. Caton, C. Griffiths, M. Munaf˙o, et al. 用于健康促进的游戏化：智能手机应用中行为改变技术的系统综述。BMJ Open，6(10):e012447，2016年。[13] S. V. Gentry, A. Gauthier, B. L. Ehrstrom, D. Wortley, A. Lilienthal, L. T. Car, S. Dauwels-Okutsu, C. K. Nikolaou, N. Zary, J. Campbell, et al. 卫生专业教育中的严肃游戏与游戏化：系统综述。Journal of Medical Internet Research，21(3):e12994，2019年。[14] D. J. Gonc،alves and J. A. Jorge. 个人文档空间的实证研究。载于J. A. Jorge, N. Jardim Nunes, and J. Falc˜ao e Cunha编，《交互系统：设计、规范与验证》，第46–60页，柏林、海德堡，2003年。Springer Berlin Heidelberg。[15] S. G. Hart and L. E. Staveland. NASA-TLX（任务负荷指数）的开发：实证与理论研究结果。载于《心理学进展》，第52卷，第139–183页。爱思唯尔，1988年。[16] J. Jorge and F. Samavati. 基于草图的界面与建模。Springer Science & Business Media，2011年。[17] J. Kaufmann and A. Schering. 方差分析（ANOVA），2014年9月。[18] Y. Lu, C. Yu, and Y. Shi. 探究用于光线投射的气泡机制，以改进虚拟现实中的三维目标获取。载于2020年IEEE虚拟现实与三维用户界面会议（VR）。IEEE，2020年3月。[19] R. Mallik, M. Patel, B. Atkinson, and P. Kar. 探索虚拟现实在支持临床糖尿病培训中的作用——一项试点研究。Journal of Diabetes Science and Technology，16(4):844–851，2021年7月。[20] C. Moreira, F. P. M. Simoes, M. J. W. Lee, E. R. Zorzal, R. W. Lin- demann, J. M. Pereira, K. Johnsen, and J. Jorge. 迈向虚拟现实中的虚拟现实：评估虚拟会议中的参与度与社交互动。IEEE Access，第1–1页，2022年。[21] L. Neira-Tovar and I. Castilla Rodriguez. 一种用于改善慢性疾病影响的虚拟现实工具——案例：2型糖尿病的情绪影响。载于S. Lackey and J. Chen编，《虚拟、增强与混合现实》，第417–425页，尚，2017年。Springer International Publishing。[22] A. N. Ogawa, G. G. Magalh˜aes, A. C. T. Klock, and I. Gasparini. 教育环境中游戏化的分析。RENOTE，13(2)，2016年1月。[23] J. a. P. Pereira, J. A. Jorge, V. A. Branco, N. F. Silva, T. D. Cardoso, and F. N. Ferreira. 用于歧义书法交互的级联识别器。载于首届Eurographics基于草图的界面与建模会议论文集，SBM'04，第63–72页，德国戈斯拉尔，2004年。Eurographics协会。[24] J. Preece, Y. Rogers, and H. Sharp. 交互设计流程。载于《交互设计：超越人机交互》，第章。John Wiley & Sons，纽约，2002年。[25] M. L. Rizzo. 使用R进行统计计算。Chapman and Hall/CRC，2019年。[26] D. S. Sartorelli and L. J. Franco. 巴西糖尿病的发展趋势：营养转型的作用。《公共卫生手册》，19(suppl 1):S29–S36，2003年。[27] H. Singleton, J. James, L. Falconer, D. Holley, J. Priego-Hernandez, J. Beavis, D. Burden, and S. Penfold. 非沉浸式虚拟现实模拟对护理专业学生2型糖尿病教育的影响：一项随机对照试验。Clinical Simulation in Nursing，66:50–57，2022年5月。[28] H. Tu, S. Huang, J. Yuan, X. Ren, and F. Tian. 使用虚拟现实头戴式显示器的基于穿越的选择。载于2019年CHI计算机系统中的人为因素会议论文集。ACM，2019年5月。[29] E. R. Zorzal, J. M. C. Gomes, M. Sousa, P. Belchior, P. G. da Silva, N. Figueiredo, D. S. Lopes, and J. Jorge. 结合增强现实的腹腔镜手术。Journal of Biomedical Informatics，107:103463，2020年7月。[30] E. R. Zorzal, S. F. Paulo, P. Rodrigues, J. J. Mendes, and D. S. Lopes. 用于牙种植体植入的沉浸式教育工具：一项关于用户接受度的研究。International Journal of Medical Informatics，146:104342，2021年2月。