

• 专科护理 •
• 论 著 •

基于 Wagner 分级的糖尿病足溃疡智能分级系统的构建及验证

叶莹¹, 赵楠², 戴薇薇³, 韩辉武^{4,5}, 罗文静¹, 李欣仪¹, 许景灿^{4,5}, 白姣姣⁶, 周秋红^{4,7,8}

摘要:目的 基于 Wagner 分级构建糖尿病足溃疡智能分级评估系统,并验证其与伤口治疗师对同一足溃疡图片评估结果的同质性。方法 根据人工标注后的 1 042 张足溃疡图像,利用深度学习方法识别足溃疡图像各区域并进行分割,构建智能分级评估系统实现对足溃疡的自动分级。选取就诊的 68 例糖尿病足患者的 150 张足溃疡图片作为验证组,评价智能分级系统和国际伤口治疗师对 150 张足溃疡图片 Wagner 分级结果的一致性。结果 糖尿病足智能分级评估系统与伤口治疗师对足溃疡分级的加权 Kappa 值为 0.643($P<0.01$)。结论 基于 Wagner 分级的糖尿病足溃疡智能分级评估系统可实现临床同质化评价,辅助临床医护人员对足溃疡进行分级评估,根据分级结果实施针对性的治疗及护理措施,从而提高护理质量与效果。

关键词:糖尿病; 足溃疡; Wagner 分级; 智能分级系统; 深度学习; 伤口治疗师; 伤口护理

中图分类号:R473.5 **文献标识码:**A **DOI:**10.3870/j.issn.1001-4152.2022.10.023

Development and verification of an intelligent classification system for diabetic foot ulcer based on Wagner grades Ye Ying, Zhao Nan, Dai Weiwei, Han Huiwu, Luo Wenjing, Li Xinyi, Xu Jingcan, Bai Jiaojiao, Zhou QiuHong, Xiangya Nursing School of Central South University, Changsha 410013, China

Abstract: **Objective** To develop an intelligent classification system for diabetic foot ulcer based on Wagner grades, and to test its consistency with the assessment result by wound therapist. **Methods** According to 1 042 manually labeled foot ulcer images, deep learning method was used to identify and segment the areas of foot ulcer images, and an intelligent classification system was developed to realize automatic grading of foot ulcer. Totally 150 foot ulcer images of 68 hospitalized diabetes patients were selected as the verification group, and the consistency of Wagner grading results of the images by the intelligent classification system and international wound therapist was evaluated. **Results** The weighted Kappa value of diabetic foot intelligent classification system and wound therapist was 0.643 ($P<0.01$). **Conclusion** The intelligent classification system of diabetic foot ulcer based on Wagner grades can realize clinical homogeneous evaluation, assist clinical medical staff to assess and grade diabetic foot ulcer, then implement targeted treatment and nursing, so as to improve nursing quality and effect.

Key words: diabetes; foot ulcer; Wagner grades; intelligent classification system; deep learning; wound therapist; wound care

糖尿病足溃疡(Diabetic Foot Ulcer, DFU)是糖尿病最常见、最严重的慢性并发症之一,10%~15%的糖尿病患者最终会发展为足溃疡^[1]。糖尿病患者发生足溃疡不仅会增加其截肢率和病死率,且极易复发。研究显示,糖尿病足溃疡患者溃疡愈合后 1、3、5 年复发率分别达 40%、60%、65%^[2]。糖尿病足治疗困难,花费巨大,给患者、家庭及社会带来极大负担。有文献报道,糖尿病足溃疡和截肢所需医疗费用几乎与其他糖尿病并发症所需的总费用相当^[3],我国糖尿病足患者次均住院费用已超过 2.18 万元^[4]。分级评估是处理糖尿病足溃疡的第一步,准确分级对于糖尿

病足的治疗和护理至关重要。目前可用于评估糖尿病足溃疡的分级系统包括 Wagner 分级系统、Texas 分类系统、IDSA/IWGDF 感染分类系统、SINBAD 系统和 WIFI 系统等^[5]。Wagner 分级法简单实用,依据溃疡深度将糖尿病足分为 0~5 级^[6],是目前临床中最为经典且广泛使用的糖尿病足溃疡分级方法^[7]。临床上医务人员由于诊疗水平和护理经验参差不齐,对同一足溃疡的 Wagner 评级易受主观因素影响,导致评估结果不一致。本研究基于 Wagner 分级,利用深度学习算法对足溃疡图片进行分割和识别,构建糖尿病足溃疡智能分级系统,并对系统进行验证,以促进临床足溃疡分级评估的同质化。

1 资料与方法

1.1 一般资料 采取便利抽样方法,选取 2020 年 1 月至 2021 年 1 月在中南大学湘雅医院糖尿病足防治中心就诊的患者,对构建的糖尿病足智能分级系统进行验证。纳入标准:①符合糖尿病诊断标准^[8]和糖尿病足 Wagner 分级 1~4 级^[6]的成年人(≥ 18 岁);②自愿参与本次研究,并签署知情同意书。排除标准:有潜行、窦道、瘰管的足溃疡。最终入选糖尿病足患

作者单位:1.中南大学湘雅护理学院(湖南 长沙,410013);2.西安交通大学第二附属医院护理部;3.中南大学湘雅医院伤口中心;4.中南大学湘雅医院临床护理学教研室;5.中南大学湘雅医院护理部;6.复旦大学附属华东医院护理部;7.中南大学湘雅医院国家老年疾病临床医学研究中心;8.中南大学湘雅医院糖尿病足防治中心

叶莹:女,硕士在读,学生

通信作者:周秋红,928555448@qq.com

科研项目:中南大学湘雅医院管理研究基金(智库专项)资助项目(2021GL11)

收稿:2021-12-01;修回:2022-01-12

者 68 例,共拍摄足溃疡图像 150 张。其中男 37 例,女 31 例;年龄 45~72(58.02±8.73)岁。均为 2 型糖尿病;病程 8~20(13.03±3.98)年。本研究通过中南大学湘雅护理学院伦理委员会批准(E202021)。

1.2 方法

1.2.1 糖尿病足溃疡智能分级评估系统的构建

1.2.1.1 糖尿病足溃疡图片建模资料库的收集 由经过专业培训的 3 名国际伤口治疗师收集本中心 2012~2020 年的足部溃疡照片并形成图片集资料库。对资料库中的足溃疡图片进行筛选,剔除不合格的照片。最终纳入 362 例糖尿病足患者的 1 042 张足溃疡图像构建糖尿病足溃疡智能分级评估系统。

1.2.1.2 人工标注糖尿病足溃疡图像 3 名本中心的专业国际伤口治疗师经过统一培训后,使用 labelme 软件对 1 042 张足溃疡图像进行溃疡组织及颜色区域的描记标注,溃疡组织及颜色区分为红色、黄色、黑色、白色和粉色 5 个类别,分别与临床上肉芽、腐肉、坏死、渗出、上皮组织对应,由于肌腱无颜色对应,直接使用“肌腱”作为类别名,标注为多边形掩膜。由于一些足溃疡组织分界不清,图片可能存在多个组织颜色区域嵌套的情况,使人工描点对溃疡组织范围的标记无法达到完全精准。

1.2.1.3 基于掩膜区域的卷积神经网络(Mask RCNN)分割建模 对 1 042 张足溃疡图像进行人工标注后,技术人员采用深度学习中的 Mask RCNN 网络架构对图像中的溃疡组织进行分割建模,将标注好的足溃疡图像融入模型中。Mask RCNN 采用 Res-Net101-FPN 为主干网络提取溃疡区域的特征得到特征图(Feature Map),输出端分别接 2 个预测头,1 个接全连接层做分类与回归,将足部溃疡各区域进行框选;另一个接全卷积网络做掩膜分割,识别出溃疡的轮廓。最终合并伤口的 2 个输出端结果,对输入组织颜色嵌套的掩膜区域做差集处理,以避免嵌套的 2 个掩膜区域在卷积过程中共用交集的像素特征,以提升溃疡识别的准确度。

1.2.1.4 检测组织颜色,获取像素点坐标 采用 Mask RCNN 对溃疡组织区域进行分割后,利用 opencv 框架的轮廓检测区分不同组织颜色区域为 1 个单独的掩膜,并获取轮廓边界所有的像素点坐标。统计轮廓内部非零像素点,以此为依据计算各颜色的占比。颜色占比反映组织占比,根据各颜色和占比数值结合 Wagner 分级规则得出分级结果。根据 1 042 张人工标注后的足溃疡图像,利用 Mask RCNN 识别足溃疡图像各区域并进行分割,实现对足溃疡的自动分级。

1.2.2 糖尿病足溃疡智能分级评估系统的验证

1.2.2.1 智能分级评估系统的验证图像收集 向研究对象介绍并讲解本次研究的目的和内容,取得患者知情同意后,对纳入的糖尿病足患者进行足溃疡创面

拍摄。室内拍照时光线适宜、固定,关闭闪光灯。对溃疡完成清创后,将患肢放于脚托或水平位置,使用一次性伤口尺(推荐联盟专用伤口尺)测量创面;保持尺子与伤口在同一平面,正向平放至伤口下缘 1~2 cm 处,倾斜角度小于 10°。手持标尺时,保持标尺平直,勿覆盖标尺上的数字和刻度;拍摄时对焦伤口和标尺区域,伤口背景统一、干净、整洁为原则,一般使用一次性方巾。若为皮肤皱褶处伤口,人工拉伸皮肤后拍照。按照拍摄规范最终纳入 68 例糖尿病足患者的 150 张足溃疡图像对已构建的糖尿病足溃疡智能分级评估系统进行验证。其中 Wagner1~4 级分别有 28、68、16、38 张照片。

1.2.2.2 智能分级评估系统的验证方法 整个深度学习框架已完成软件开发,由专业的 IT 团队将糖尿病足智能分级评估系统置入糖尿病足智慧医疗 App,即“掌上益足”的“伤口测量”模块。医务人员通过 App 上传采集符合要求的足溃疡图像,系统便自动显示糖尿病足溃疡分级结果、伤口颜色占比等内容。由 2 名国际伤口治疗师于 2020 年 1 月至 2021 年 1 月分别对纳入的 68 例患者的足部溃疡进行现场 Wagner 分级,分级结果不一致时由第 3 名伤口治疗师介入,共同商讨后决定。分级后按照拍摄规范对溃疡拍照并记录分级结果,最后形成 150 张足溃疡图像。由 2 名护理研究生使用“掌上益足”App 识别 150 张足溃疡图片,记录 App 的分级结果。

1.2.3 统计学方法 对所有资料进行整理,双人核对后录入。运用 SPSS26.0 软件进行统计分析,计数资料用频数、百分数(%)进行统计描述,采用加权 Kappa 检验进行两者分级一致性的比较。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

伤口治疗师与 App 评估糖尿病足 Wagner 分级一致 98 处,不一致 52 处。不同评价方法糖尿病足等级分布比较,见表 1。

表 1 不同评价方法糖尿病足等级分布比较

		处(%)			
评估方法	处数	1 级	2 级	3 级	4 级
治疗师评估	150	28(18.7)	68(45.3)	16(10.7)	38(25.3)
App 评估	150	35(23.3)	54(36.0)	14(9.3)	47(31.3)

注:两种评价方法等级分布比较, $Z=0.282,P=0.778$ 。两者分级一致性比较,加权 $Kappa=0.643,P=0.000$ 。

3 讨论

3.1 糖尿病足智能分级评估系统评价结果分析 深度学习是人工智能中一类算法的集合,其灵感来自于大脑中生物神经元的结构,通过建立模拟人脑的分层结构来实现对外部输入数据进行从低级到高级的特征提取,从而达到解释外部数据的目的^[9]。现在人工智能和深度学习已在疾病预测与诊断、慢病管理、医

学影像识别等方面广泛应用^[10]。Gargeya 等^[11]采用深度学习方法初步筛查糖尿病患者是否并发视网膜病变,模型具有较高的灵敏度和特异性。这些技术为更高效便捷地实现糖尿病足溃疡的评估、分级和规范化干预提供了新思路。

本研究结果显示,糖尿病足智能分级评估系统与伤口治疗师对 150 张足溃疡图片的分级结果一致 98 处,不一致 52 处。两者的加权 $Kappa$ 值为 0.643 ($P < 0.01$),说明两者评估糖尿病足 Wagner 分级的一致性较强,本研究构建的糖尿病足智能分级评估系统能达到与专业伤口治疗师对足溃疡准确评价与分级的结果基本一致。本研究采用深度学习方法构建糖尿病足智能分级评估系统,将 Mask RCNN 与 opencv 框架等融入足溃疡分级过程,实现了分级的智能化,增加了临床分级的便利,对促进基层医疗机构糖尿病足同质化诊疗有重要意义^[12]。构建的糖尿病足智能分级评估系统实现了足溃疡的自动分级,促进临床同质化评价,以实现疾病诊疗和管理的同质化。

3.2 构建糖尿病足智能分级评估系统的临床实践意义 对于经验丰富的伤口治疗师和内分泌专科护士而言,对糖尿病足溃疡进行分级是比较基础和简单的基本功,他们能在较短时间内对足溃疡准确分级,并根据分级实施护理干预。基层医务人员对糖尿病足问题的严重性、复杂性认识不足,往往不能准确、充分地评估足溃疡^[12],疾病的诊治和管理方面缺乏同质化。本研究构建的智能分级评估系统可以辅助不同层级、不同经验水平的护士准确地对糖尿病足溃疡进行 Wagner 分级,减小主观差距,还能减轻护士对糖尿病足溃疡分级的工作负担,为临床工作节省时间,提高工作效率。根据糖尿病足溃疡 Wagner 等级制订相应的治疗与护理策略,可以有效改善患者临床症状,减少足部溃疡及复发,降低截肢致残率,提高患者生存质量^[13-15]。基于 Wagner 分级构建的糖尿病足智能分级评估系统,通过上传足溃疡图片,系统会自动显示分级结果,提升足溃疡分级的一致性,促进糖尿病足溃疡的临床同质化评价,医务人员根据分级结果对患者采取针对性的诊疗护理措施^[16],有利于提高护理质量与护理效果。

3.3 本研究的不足 本研究构建的糖尿病足智能分级系统尚处于初步应用阶段,后续需进一步提高其分级准确性、使用稳定性和普及率;未来还需要多中心、大样本、更加全面的研究以进一步验证该智能分级评估系统在临床中的应用效果。此外,在临床推广中,应特别注意对医务人员进行糖尿病足伤口拍摄规范的培训,以确保医护人员严格按规范进行拍照,使智能分级系统的分级结果更具有参考价值,更好地服务

于临床。

参考文献:

- [1] Ghotaslou R, Memar M Y, Alizadeh N. Classification, microbiology and treatment of diabetic foot infections [J]. J Wound Care, 2018, 27(7): 434-441.
- [2] Armstrong D G, Boulton A, Bus S A. Diabetic foot ulcers and their recurrence [J]. N Engl J Med, 2017, 376(24): 2367-2375.
- [3] 陆晔, 谢雯俊, 刘彦. 糖尿病足风险分级管理对患者自我管理能力和足溃疡发生的影响 [J]. 护理学杂志, 2015, 30(13): 33-35.
- [4] Lu Q, Wang J, Wei X, et al. Cost of diabetic foot ulcer management in China: a 7-year single-center retrospective review [J]. Diabetes Metab Syndr Obes, 2020, 13: 4249-4260.
- [5] Monteiro-Soares M, Russell D, Boyko E J, 等. 国际糖尿病足工作组: 糖尿病足溃疡分类指南——《国际糖尿病足工作组: 糖尿病足防治国际指南(2019)》的一部分 [J]. 感染、炎症、修复, 2019, 20(4): 231-237.
- [6] 罗文静, 李欣仪, 赵楠, 等. 糖尿病足分级系统临床应用进展 [J]. 感染、炎症、修复, 2020, 21(2): 115-118.
- [7] National Institute For Health and Care Excellence. Diabetic foot problems: prevention and management (NG19) [EB/OL]. (2019-10-11) [2020-06-25]. <https://www.nice.org.uk/guidance/ng19>.
- [8] American Diabetes Association. 2. Classification and diagnosis of diabetes; standards of medical care in diabetes—2018 [J]. Diabetes Care, 2018, 41(Suppl 1): S13-S27.
- [9] Zhu T, Li K, Herrero P, et al. Deep learning for diabetes: a systematic review [J]. IEEE J Biomed Health Inform, 2021, 25(7): 2744-2757.
- [10] 周丹, 尹安春. 人工神经网络在护理领域的应用研究进展 [J]. 护理学杂志, 2020, 35(3): 94-97.
- [11] Gargeya R, Leng T. Automated identification of diabetic retinopathy using deep learning [J]. Ophthalmology, 2017, 124(7): 962-969.
- [12] 王飞英, 杨莹. 基层医疗机构糖尿病足诊治中存在的问题及对策 [J]. 中华糖尿病杂志, 2017, 9(6): 403-405.
- [13] 邱锦媚. Wagner 分级糖尿病足的护理研究进展 [J]. 护理实践与研究, 2019, 16(22): 49-51.
- [14] Khashim Z, Samuel S, Duraisamy N, et al. Potential biomolecules and current treatment technologies for diabetic foot ulcer: an overview [J]. Curr Diabetes Rev, 2019, 15(1): 2-14.
- [15] 杜鸣, 刘佳霖, 许鑫, 等. 不同 Wagner 分级糖尿病足患者创面分离病原菌分布特点 [J]. 中国感染控制杂志, 2018, 17(2): 121-125.
- [16] 周雁琼, 孙丽凯, 刘运娣. Wagner 0 级糖尿病足患者危险等级评估及护理管理策略 [J]. 护理学杂志, 2016, 31(9): 40-42.

(本文编辑 李春华)