

doi:10.3969/j.issn.1005-3697.2026.01.006

✦ 临床医学研究 ✦

# 基于 mHealth 对 2 型糖尿病患者发生疼痛性糖尿病周围神经病变的影响因素分析

杨卫红<sup>1</sup>, 郭向飞<sup>2</sup>

(1. 北京中医药大学东直门医院肾病内分泌科四区, 北京 101121; 2. 首都医科大学附属北京安贞医院麻醉中心疼痛科, 北京 100029)

**【摘要】目的:** 利用 mHealth 技术剖析 2 型糖尿病进展为痛性糖尿病周围神经病变(PDPN)的危险因素。**方法:** 按是否发生 PDPN 将 102 例 2 型糖尿病患者分为病变组( $n=30$ )与未病变组( $n=72$ ), 收集患者的临床资料, 包括年龄、性别、糖尿病病程、体质量指数(BMI)、空腹血糖、糖化血红蛋白、甘油三酯; mHealth 应用相关数据: mHealth 应用使用频率、使用时长、患者对 mHealth 干预的满意度、mHealth 干预依从性等; 比较两组患者各指标的差异, 分析 2 型糖尿病患者发生 PDPN 的独立危险因素; 并通过绘制受试者工作特征(ROC)曲线, 评估各危险因素对 PDPN 的预测价值。**结果:** 两组患者在空腹血糖、糖化血红蛋白、甘油三酯、mHealth 使用频率及时长等指标比较, 差异均具有统计学意义( $P<0.05$ )。糖化血红蛋白( $OR=13.441$ )、甘油三酯( $OR=8.851$ )为发生 PDPN 的独立危险因素( $P<0.05$ ), mHealth 使用频率( $OR=0.430$ )和时长( $OR=0.728$ )为发生 PDPN 的保护因素( $P<0.05$ )。ROC 曲线显示, 四者预测 PDPN 的曲线下面积(AUC)均 $>0.75$ , 并且糖化血红蛋白(0.887)和 mHealth 使用频率(0.879)的预测价值更高。**结论:** 控制糖化血红蛋白、甘油三酯水平, 提高 mHealth 使用频率和时长, 可降低 PDPN 发生风险。

**【关键词】** mHealth; 2 型糖尿病; 疼痛性糖尿病周围神经病变; 影响因素

**【中图分类号】** R587.1 **【文献标志码】** A

## Analysis of influencing factors of painful diabetic peripheral neuropathy in patients with type 2 diabetes based on mHealth

YANG Wei-hong<sup>1</sup>, GUO Xiang-fei<sup>2</sup>

(1. Zone 4, Department of Nephrology and Endocrinology, Dongzhimen Hospital, Beijing University of Chinese Medicine, Beijing 101121; 2. Department of Pain, Anesthesia Center, Beijing Anzhen Hospital, Capital Medical University, Beijing 100029, China)

**【Abstract】Objective:** Leveraging mobile health (mHealth) technology, to examine the risk factors of type II diabetes mellitus to painful diabetic peripheral neuropathy (PDPN). **Methods:** Based on the presence of PDPN, the 102 type 2 diabetic patients were split into two groups; 30 were lesioned and 72 were not. Age, gender, duration of diabetes, body mass index (BMI), fasting blood glucose, glycosylated hemoglobin, and triglycerides were among the clinical data gathered. Patient satisfaction with the mHealth intervention, adherence to the mHealth intervention, frequency of use, and duration of use were among the data pertaining to mHealth applications. The independent risk factors of PDPN in type 2 diabetes patients were analyzed by comparing the differences of various indicators between the two groups. ROC prediction curves were plotted to evaluate each risk factor's predictive value for PDPN. **Results:** Significant between-group disparities were observed in fasting plasma glucose, glycosylated hemoglobin, triglycerides, mHealth usage frequency and duration ( $P<0.05$ ). Glycosylated hemoglobin ( $OR=13.441$ ) and triglycerides ( $OR=8.851$ ) were independent risk factors, while mHealth usage frequency ( $OR=0.430$ ) and duration ( $OR=0.728$ ) were protective factors. ROC curve showed that the AUC of the four factors in predicting PDPN was all  $>0.75$ , especially glycosylated hemoglobin (0.887) and mHealth usage frequency (0.879) with prominent efficiency. **Conclusion:** Controlling the levels of glycosylated hemoglobin and triglycerides and increasing the frequency and duration of mHealth usage can reduce the risk of PDPN.

**【Key words】** mHealth; Type 2 diabetes mellitus; Painful diabetic peripheral neuropathy; Influencing factors

**基金项目:** 国家卫生健康委能力建设和继续教育中心项目(PMT1001-14);北京市通州区科技计划项目(KJ2022CX064)

**作者简介:** 杨卫红(1981-),女,博士,主治医师。E-mail: yangweihong2004@163.com

**通讯作者:** 郭向飞,博士。E-mail: gxfwt@163.com

伴随生活方式改变与人口结构老龄化,全球 2 型糖尿病患者率持续攀升<sup>[1-2]</sup>。疼痛性糖尿病周围神经病变(painful diabetic peripheral neuropathy, PDPN)作为 2 型糖尿病常见且严重的慢性并发症之一,严重影响患者的生活质量<sup>[3]</sup>。患者往往伴有肢体疼痛、麻木及感觉异常等表现,这些症状不仅会导致患者睡眠障碍、心理负担加重,还会诱发足部溃疡、感染等并发症,增加截肢风险<sup>[4-5]</sup>。移动健康(mHealth)作为一种新兴的医疗模式,借助移动通信技术和智能设备,能够为糖尿病患者提供便捷、实时的健康管理服务<sup>[6]</sup>。mHealth 应用程序可实现血糖监测数据的自动记录与分析、饮食运动的个性化指导、药物治疗的提醒与管理等功能<sup>[7]</sup>。通过这些功能,mHealth 能够帮助患者更好地控制血糖水平,提高自我管理能力,进而有可能降低疼痛性糖尿病周围神经病变的发生风险。然而,目前关于 mHealth 在 2 型糖尿病患者发生 PDPN 影响因素中发挥何种作用的研究仍相对较少,相关机制尚未完全明确。因此,本研究利用 mHealth 收集并分析 2 型糖尿病患者临床数据,旨在探究促发 PDPN 的关键因素。这不仅有助于深入了解 mHealth 在糖尿病管理中的作用机制,还为优化 mHealth 干预策略提供科学依据,从而有效降低 PDPN 的发生率。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

纳入 2023 年 1 月至 2024 年 6 月北京中医药大学东直门医院收治的 2 型糖尿病患者作为研究对象。纳入标准:(1)符合 2 型糖尿病诊断标准<sup>[8]</sup>;(2)年龄 $\geq 18$  岁;(3)患者配有智能手机并能理解和掌握智能管理系统的使用方法。排除标准:(1)合并其他类型糖尿病;(2)合并严重心、肝、肾等重要脏器功能障碍;(3)3 个月内使用过可能影响神经功能的药物,如化疗药物、免疫抑制剂等。最终纳入符合要求的患者 102 例。分组依据<sup>[9]</sup>:以典型症状(肢体疼痛、麻木或感觉障碍)为基础,结合神经电生理示传导速度下降或波幅减小,即确诊 PDPN。根据患者是否发生 PDPN,将其分为病变组( $n=30$ )和未病变组( $n=72$ )。本研究已经过北京中医药大学东直门医院伦理委员会审批。

### 1.2 临床资料收集

收集的患者一般临床资料,包括年龄、性别、糖尿病病程、体质量指数(BMI)、空腹血糖、糖化血红蛋白、甘油三酯;mHealth 应用相关数据:mHealth 应用使用频率、使用时长、如血糖监测记录频率、饮食运动计划执行情况、患者对 mHealth 干预的满意

度、mHealth 干预依从性。

### 1.3 指标检测

进行 mHealth 干预前,采取患者肘静脉血 3 mL,使用高效液相色谱方法检测糖化血红蛋白水平;抽取患者空腹肘静脉血 5 mL,采用己糖激酶法检测空腹血糖水平,并采用甘油磷酸氧化酶法检测甘油三酯水平。

### 1.4 统计学方法

采用 SPSS 26.0 对收集的数据进行分析。计量资料符合正态分布使用( $\bar{x} \pm s$ )表示,组间比较采用独立样本  $t$  检验;计数资料以 $[n(\%)]$ 表示,组间比较采用独立样本  $\chi^2$  检验;采用多因素 Logistic 回归分析 2 型糖尿病患者发生 PDPN 的独立危险因素;并通过绘制 ROC 预测曲线,评估各危险因素对 PDPN 的预测价值。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 发生病变组与未发生病变组临床特征

比较两组患者的临床特征,结果显示,病变组患者的空腹血糖、糖化血红蛋白、甘油三酯水平均高于未发生病变组( $P < 0.05$ );mHealth 使用频率、mHealth 使用时长、血糖监测记录频率、患者满意度、饮食运动计划执行情况良好患者均低于未发生病变组( $P < 0.05$ );其余指标无统计学差异( $P > 0.05$ )。见表 1。

表 1 发生病变组与未发生病变组临床特征比较  
[ $\bar{x} \pm s, n(\%)$ ]

特征	病变组( $n=30$ )	未病变组( $n=72$ )	$t/\chi^2$ 值	$P$ 值
年龄(岁)	49.67 $\pm$ 6.25	50.43 $\pm$ 6.04	-0.576	0.566
病程(年)	6.23 $\pm$ 1.67	6.38 $\pm$ 1.28	-0.445	0.659
性别			0.003	0.959
男	16(53.33)	38(52.78)		
女	14(46.67)	34(47.22)		
身高(cm)	171.80 $\pm$ 6.52	169.55 $\pm$ 6.20	1.648	0.103
体质量(kg)	69.66 $\pm$ 5.56	70.89 $\pm$ 5.74	-0.991	0.324
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	23.71 $\pm$ 2.64	24.74 $\pm$ 2.54	-1.859	0.066
空腹血糖(mmol/L)	8.79 $\pm$ 1.13	7.43 $\pm$ 0.98	6.101	<0.001
糖化血红蛋白(%)	8.54 $\pm$ 0.83	7.14 $\pm$ 0.75	8.306	<0.001
甘油三酯(mmol/L)	2.31 $\pm$ 0.74	1.65 $\pm$ 0.39	4.607	<0.001
mHealth 使用频率(次/周)	2.90 $\pm$ 1.06	5.11 $\pm$ 1.56	-7.093	<0.001
mHealth 使用时长(min/d)	21.89 $\pm$ 7.94	32.09 $\pm$ 6.50	-6.755	<0.001
血糖监测记录频率(次/周)	4.36 $\pm$ 0.72	6.25 $\pm$ 0.92	-11.144	<0.001
患者满意度	7.30 $\pm$ 1.15	7.76 $\pm$ 0.85	-10.603	<0.001
饮食运动计划执行情况			7.985	0.005
良好	10(33.33)	46(63.89)		
不良	20(66.67)	26(36.11)		
依从性			0.672	0.412
良好	14(46.67)	40(55.56)		
不良	16(53.33)	32(44.44)		

## 2.2 PDPN 的危险因素分析

以是否发生病变为因变量,将空腹血糖、糖化血红蛋白、甘油三酯、mHealth 使用频率、mHealth 使用时长、血糖监测记录频率以原值纳入;运动饮食计划(良好=1,不良=2)纳入多因素 Logistic 回归进行分析。结果显示,糖化血红蛋白、甘油三酯过高是导致 PDPN 的独立危险因素( $P < 0.05$ );而 mHealth 使用频率、mHealth 使用时长是 PDPN 发生的保护因素( $P < 0.05$ )。见表 2。

表 2 发生 PDPN 影响因素的 Logistic 回归分析

因素	$\beta$ 值	SE 值	Wald 值	P 值	OR(95%CI)
空腹血糖	0.675	0.508	1.766	0.184	1.963(0.726 ~ 5.309)
糖化血红蛋白	2.598	1.090	5.685	0.017	13.441(1.588~113.762)
甘油三酯	2.180	1.054	4.279	0.039	8.851(1.121~69.861)
mHealth 使用频率	-0.844	0.377	5.006	0.025	0.430(0.205 ~ 0.901)
mHealth 使用时长	-0.318	0.141	5.110	0.024	0.728(0.552 ~ 0.959)
血糖监测记录频率	-0.164	0.390	0.177	0.674	0.849(0.395 ~ 1.824)
运动饮食计划	1.850	1.330	1.933	0.164	6.358(0.469~86.234)
常量	-19.948	8.825	5.110	0.024	-

## 2.3 ROC 评估危险因素对 PDPN 的预测价值

将多因素 Logistic 回归分析中得到的危险因素进行 ROC 分析,糖化血红蛋白、甘油三酯、mHealth 使用频率、mHealth 使用时长的 AUC 值分别为 0.887、0.761、0.879、0.813。见表 3 及图 1。

表 3 ROC 评估危险因素对 PDPN 的预测价值

因素	AUC 值	特异度	敏感度	截断值	95%CI	P 值
糖化血红蛋白	0.887	0.764	0.833	7.81%	0.048~0.178	<0.001
甘油三酯	0.761	0.875	0.633	2.10 mmol/L	0.116~0.362	<0.001
mHealth 使用频率	0.879	0.967	0.708	4.5 次/周	0.813~0.946	<0.001
mHealth 使用时长	0.813	0.667	0.750	26.75 min/d	0.719~0.907	<0.001

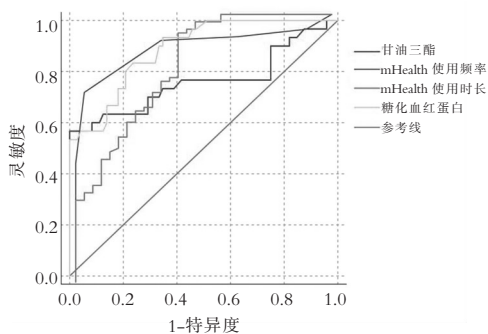


图 1 危险因素预测 PDPN 发生的 ROC 曲线

## 3 讨论

根据最新的流行病学调查数据<sup>[10]</sup>,全球成年人糖尿病患病率已超过 14%,其中 2 型糖尿病占绝大多数。2 型糖尿病患者中,PDPN 的患病率介于 20%~60%<sup>[11]</sup>。mHealth 是指利用移动通信技术和设备提供医疗和健康服务的新兴领域<sup>[12]</sup>。目前,

已有多项研究<sup>[13]</sup>表明,mHealth 技术在糖尿病患者的血糖控制、生活方式改善等方面取得了一定的成效。但在 PDPN 的防治方面,相关研究相对较少,其影响因素尚不完全明确。因此,深入探究基于 mHealth 的 2 型糖尿病患者发生 PDPN 的影响因素具有重要的临床意义。

在本研究中,对发生病变组和未发生病变组患者的临床特征进行比较后发现,两组在年龄、病程方面均无差异( $P > 0.05$ ),这与以往研究结果存在差异。一些研究<sup>[14-15]</sup>认为年龄和病程是 PDPN 的危险因素,随着年龄的增长和病程的延长,会增加神经损伤的风险。然而,本研究中未观察到这种关联。可能原因在于研究对象的选择存在局限性,纳入的患者年龄和病程分布相对集中,导致差异不明显。发生病变组的空腹血糖、糖化血红蛋白、甘油三酯水平平均高于未发生病变组。高血糖可通过多元醇通路、蛋白激酶 C(protein kinase C,PKC)通路等多种机制损伤神经<sup>[16]</sup>。在多元醇通路中,高血糖使神经组织中的葡萄糖含量升高,经醛糖还原酶催化转化为山梨醇和果糖,这些物质在神经细胞内堆积,导致细胞内渗透压升高,水分进入细胞,引起细胞水肿,进而损伤神经<sup>[17]</sup>。血脂异常,尤其是甘油三酯升高,在 PDPN 的发生发展中至关重要。高甘油三酯水平升高会导致血液黏稠度增加,血流速度减慢,影响神经的血液供应,使神经细胞缺氧缺血,从而损伤神经<sup>[18]</sup>。有研究<sup>[19-20]</sup>证明,高甘油三酯能通过炎症反应、氧化应激等机制损伤神经,炎症细胞浸润神经组织,释放炎症因子,破坏神经细胞的结构和功能;氧化应激产生的自由基会攻击神经细胞膜和细胞器,导致神经细胞损伤。发生病变组的 mHealth 使用频率和使用时长明显低于未发生病变组,多因素分析表明,mHealth 使用频率和使用时长是影响病变发生的保护因素。其作用机制可能在于,mHealth 使用频率高和使用时长足够,能够使患者更频繁地获取健康管理信息,如血糖监测提醒、饮食运动建议等,更好地控制血糖水平,减少高血糖对神经的损伤,降低病变发生风险。患者通过 mHealth 应用频繁记录血糖数据,能够及时发现血糖波动,调整饮食和运动,避免血糖过高或过低对神经造成损害;经常查看饮食运动建议并按照建议执行,有助于改善代谢状况,减轻神经病变的发生风险。血糖监测记录频率在单因素分析与病变发生相关,然而,多因素 Logistic 回归该指标并不具有统计学意义。这可能是由于血糖监测记录频率虽然反映了患者对血糖监测的重视程度,但在实际情况中,单纯的血糖监测记录并不能直接决定血糖控制的效果,还受到患者是否根据监测结果及时调整治疗方案、生活方式等多种因素的影响。患者虽然频繁记录血糖,但

如果不根据血糖值调整饮食和运动,或者不按时服药,血糖仍然可能控制不佳,从而无法有效预防病变。这也解释了为什么发生病变组饮食运动计划执行不良的比例更高。

通过绘制 ROC 曲线评估各危险因素对 PDPN 的预测价值,结果显示,糖化血红蛋白的 AUC 为 0.887,表明其对病变具有较高的预测能力。糖化血红蛋白可回溯患者近 2~3 个月平均血糖水平。其水平升高说明患者长期血糖控制不佳,而长期高血糖是导致 PDPN 的关键因素。因此,通过检测糖化血红蛋白水平,能够较好地预测患者发生病变的可能性。当患者的糖化血红蛋白水平高于最佳截断值 7.81% 时,临床医生应高度警惕患者发生 PDPN 的风险,及时采取干预措施,如调整降糖方案、加强血糖监测等。mHealth 使用频率和 mHealth 使用时长的 AUC 分别为 0.879 和 0.813,也具有较高预测价值。这说明 mHealth 的使用情况与病变发生密切相关,通过了解患者 mHealth 的使用频率和使用时长,能够在一定程度上预测患者发生 PDPN 的风险。对于 mHealth 使用频率低、使用时长不足的患者,提示其自我管理可能较差,血糖控制不佳的风险较高,进而发生病变的可能性也较大。临床医生可针对这类患者,加强对 mHealth 使用的指导和督促,提高患者的使用频率和时长,以降低病变发生风险。这些危险因素的预测价值为临床早期诊断和干预疼痛性糖尿病周围神经病变提供了重要依据。临床医生可根据这些指标,对 2 型糖尿病患者进行风险分层,对于高风险患者,采取更积极的预防和治疗措施,如加强血糖和血脂控制、优化 mHealth 干预方案等,降低疼痛性糖尿病周围神经病变的发生率和严重程度,提高患者的生活质量。

综上,糖化血红蛋白、甘油三酯、mHealth 使用频率、mHealth 使用时长对 PDPN 具有较高的预测价值。通过检测这些指标,临床医生可对患者进行风险分层,针对高风险患者采取更积极的预防和治疗措施,实现疾病的早发现、早治疗。

## 参考文献

[1] Mohan S, Egan AM. Diagnosis and treatment of hyperglycemia in pregnancy: type 2 diabetes mellitus and gestational diabetes [J]. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, 2024, 53(3): 335-347.

[2] 王琦, 翟爱华, 刘玉林, 等. Apelin 在糖尿病和糖尿病微血管病变中作用的研究进展 [J]. *中国老年学杂志*, 2023, 43(21): 5362-5366.

[3] Zhang EX, Yazdi C, Islam RK, *et al.* Diabetic neuropathy: A guide to pain management [J]. *Current Pain and Headache Reports*, 2024, 28(10): 1067-1072.

[4] Savelieff MG, Elafros MA, Viswanathan V, *et al.* The global and regional burden of diabetic peripheral neuropathy [J]. *Nature Reviews Neurology*, 2025, 21(1): 17-31.

[5] Salinas LF, Trujillo-Condes VE, Tecuatil C, *et al.* Impaired rate-dependent depression of the H-reflex in type-2 diabetes, prediabetes, overweight and obesity: a cross-sectional study [J]. *Medicine*, 2022, 101(43): e31046.

[6] Ruiz-Leon AM, Casas R, Castro-Barquero S, *et al.* Efficacy of a mobile health-based behavioral treatment for lifestyle modification in type 2 diabetes self-management: greenhabit randomized controlled trial [J]. *Journal of Medical Internet Research*, 2025, 27: e58319.

[7] 伍莎, 易琦峰, 肖倩, 等. 移动健康在糖尿病足延续护理中的应用进展 [J]. *解放军护理杂志*, 2021, 38(3): 53-56.

[8] 许琳. 糖尿病的形成机理(病因)及其临床诊断标准 [J]. *基因组学与应用生物学*, 2021, 40(3): 1426-1429.

[9] Mittal R, McKenna K, Keith G, *et al.* Diabetic peripheral neuropathy and neuromodulation techniques: a systematic review of progress and prospects [J]. *Neural Regeneration Research*, 2025, 20(8): 2218-2230.

[10] WHO 网站. 2022 年全球糖尿病成人患病率达 14% [J]. *中国卫生政策研究*, 2024, 17(11): 74.

[11] Yang Y, Wang Q. Three genes expressed in relation to lipid metabolism considered as potential biomarkers for the diagnosis and treatment of diabetic peripheral neuropathy [J]. *Scientific Reports*, 2023, 13(1): 8679.

[12] Buawangpong N, Sivoiroj P, Pinyopornpanish K, *et al.* Transcultural adaptation, validation, psychometric analysis, and interpretation of the 22-item Thai senior technology acceptance model for mobile health apps: cross-sectional study [J]. *JMIR Aging*, 2025, 8: e60156.

[13] Kolivas D, Fraser L, Schweitzer R, *et al.* A 6-month mHealth low-carbohydrate dietary intervention ameliorates glycaemic and cardiometabolic risk profile in people with type 2 diabetes [J]. *Nutrients*, 2025, 17(6): 937.

[14] 于易真, 吴敏, 黄淑玉. 男性 2 型糖尿病患者周围神经病变影响因素分析 [J]. *微循环学杂志*, 2023, 33(4): 64-68.

[15] 冯琳, 高凌. 中年 2 型糖尿病周围神经病变患者认知功能特点及影响因素的研究 [J]. *临床内科杂志*, 2025, 42(2): 136-139.

[16] Kim J. The pathophysiology of diabetic foot: a narrative review [J]. *Journal of Yeungnam Medical Science*, 2023, 40(4): 328-334.

[17] 张长龙, 李阳, 田源, 等. 针灸基于高血糖引发代谢通路治疗糖尿病周围神经病变研究进展 [J]. *辽宁中医药大学学报*, 2024, 26(9): 157-163.

[18] Hu S, Sun Q, Xu F, *et al.* Age-related hearing loss and its potential drug candidates: a systematic review [J]. *Chinese Medicine*, 2023, 18(1): 121.

[19] 冯浩英华, 房广庆, 严玥, 等. 益气活血固肾颗粒通过调节 Nox4 抑制炎症和氧化应激改善糖尿病肾脏肾脏纤维化 [J]. *中药新药与临床药理*, 2025, 36(6): 888-898.

[20] 李捷, 徐赛, 徐云生. 糖异平调控 NLRP3 炎性小体介导的细胞焦亡对糖耐量减低大鼠糖脂代谢的改善作用 [J]. *中华中医药杂志*, 2023, 38(6): 2897-2901.

(收稿日期: 2025-08-07

修回日期: 2025-09-26)