

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2025.03.018

· 影像与介入 ·

超声弹性成像评估 2 型糖尿病患者股浅动脉弹性参数
与动脉粥样硬化进展的相关性研究 *尹化如¹ 赵金凤¹ 倪卫惠² 刘晓丽² 王亮³

(南京医科大学附属明基医院 1 超声科; 2 内分泌科; 3 输血科 江苏 南京 210019)

摘要 目的: 探讨超声弹性成像技术评估 2 型糖尿病患者股浅动脉弹性参数与动脉粥样硬化进展程度的相关性。方法: 选取 2021 年 1 月至 2023 年 12 月在我院就诊的 2 型糖尿病患者 98 例作为研究对象, 根据颈动脉内膜中层厚度 (IMT) 将患者分为单纯糖尿病组 (IMT < 1.0 mm, 32 例)、早期动脉硬化组 (1.0 mm ≤ IMT < 1.5 mm, 34 例) 和进展期动脉硬化组 (IMT ≥ 1.5 mm, 32 例)。采用超声弹性成像技术测量各组患者股浅动脉弹性参数, 包括最大剪切波速度 (SWVmax)、最小剪切波速度 (SWVmin) 和弹性系数 (β)。同时检测空腹血糖 (FPG)、糖化血红蛋白 (HbA1c)、总胆固醇 (TC)、甘油三酯 (TG)、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) 等生化指标。分析各组患者股浅动脉弹性参数与 IMT 及生化指标的相关性。结果: (1) 三组患者的 SWVmax、SWVmin 和 β 值比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 且随着 IMT 增加呈递增趋势; (2) 相关性分析显示, SWVmax、β 值与 IMT 呈显著正相关 ($r = 0.782, 0.803, P < 0.01$), 与 HbA1c、LDL-C 也呈正相关 ($P < 0.05$); (3) 多元线性回归分析显示, HbA1c、LDL-C 和病程是影响股浅动脉弹性参数的独立危险因素 ($P < 0.05$)。结论: 超声弹性成像技术能够早期、无创地评估 2 型糖尿病患者股浅动脉弹性改变, 其测得的弹性参数与动脉粥样硬化进展密切相关, 可为临床早期预防和干预提供重要依据。

关键词: 超声弹性成像; 2 型糖尿病; 股浅动脉; 动脉粥样硬化; 弹性参数

中图分类号: R3; R587.1 文献标识码: A 文章编号: 1673-6273(2025)03-535-08

Study on Correlation between Superficial Femoral Artery Elasticity
Parameters Assessed by Ultrasound Elastography and Atherosclerosis
Progression in Type 2 Diabetes Mellitus Patients*

* 基金项目: 江苏省自然科学基金项目 (BK20210028)

作者简介: 尹化如 (1973-), 女, 本科, 副主任医师, 研究方向: 浅表器官疾病的超声诊断,

E-mail: a15950521610@163.com

(收稿日期: 2024-11-17)

YIN Hua-ru¹, ZHAO Jin-feng¹, NI Wei-hu², LIU Xiao-lf², WANG Liang³

(1 Department of Ultrasound; 2 Department of Endocrinology; 3 Department of Blood Transfusion, BenQ Hospital Affiliated to Nanjing Medical University, Nanjing, Jiangsu, 210019, China)

ABSTRACT Objective: To investigate the correlation between superficial femoral artery elasticity parameters assessed by ultrasound elastography and the progression of atherosclerosis in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM). **Methods:** 98 T2DM patients admitted to our hospital from January 2021 to December 2023 were enrolled. According to carotid intima-media thickness (IMT), patients were divided into simple diabetes group (IMT<1.0 mm, n=32), early atherosclerosis group (1.0 mm ≤ IMT<1.5 mm, n=34) and progressive atherosclerosis group (IMT ≥ 1.5 mm, n=32). Elasticity parameters of superficial femoral artery including maximum shear wave velocity (SWVmax), minimum shear wave velocity (SWVmin) and stiffness parameter (β) were measured by ultrasound elastography. Biochemical indicators including fasting plasma glucose (FPG), glycated hemoglobin (HbA1c), total cholesterol (TC), triglycerides (TG), and low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) were also detected. The correlation between arterial elasticity parameters and IMT as well as biochemical indicators was analyzed. **Results:** (1) There were significant differences in SWVmax, SWVmin and β values among the three groups ($P<0.05$), showing an increasing trend with IMT increase; (2) Correlation analysis showed that SWVmax and β were positively correlated with IMT ($r=0.782, 0.803, P<0.01$) and positively correlated with HbA1c and LDL-C ($P<0.05$); (3) Multiple linear regression analysis showed that HbA1c, LDL-C and disease duration were independent risk factors affecting arterial elasticity parameters ($P<0.05$). **Conclusion:** Ultrasound elastography can early and non-invasively evaluate the elasticity changes of superficial femoral artery in T2DM patients. The measured elasticity parameters are closely related to the progression of atherosclerosis, which can provide important basis for early clinical prevention and intervention.

Key words: Ultrasound elastography; Type 2 diabetes mellitus; Superficial femoral artery; Atherosclerosis; Elasticity parameters

Chinese Library Classification(CLC): R3; R587.1 **Document code:** A

Article ID: 1673-6273(2025)03-535-08

前言

2型糖尿病 (Type 2 diabetes mellitus, T2DM) 是一种以胰岛素抵抗和分泌功能障碍为特征的代谢性疾病, 其并发症中最为常见和严重的是大血管病变, 主要表现为动脉粥样硬化^[1]。研究表明, T2DM 患者动脉粥样硬化的发生率

显著高于非糖尿病人群, 且进展更快、预后更差^[2]。传统上评估动脉粥样硬化主要依赖颈动脉内膜中层厚度 (Intima-media thickness, IMT) 测量, 但其仅能反映血管壁形态学改变, 无法评估血管壁弹性特性的改变^[3]。超声弹性成像 (Ultrasound elastography) 是近年来发展起来的一

种新型超声检查技术,能够通过测量组织的应变特性来评估其硬度,已在肝纤维化等疾病诊断中得到广泛应用^[4,5]。近期研究发现,该技术在血管弹性评估方面也具有良好应用前景^[6]。股浅动脉是下肢动脉粥样硬化的好发部位,其病变与下肢缺血性疾病密切相关^[7]。目前关于超声弹性成像评估 T2DM 患者股浅动脉弹性特性的研究较少,其与动脉粥样硬化进展的相关性尚未明确。本研究拟通过超声弹性成像技术测量 T2DM 患者股浅动脉弹性参数,分析其与 IMT 及相关生化指标的关系,探讨该技术在评估 T2DM 患者动脉粥样硬化进展中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究通过我院医学伦理委员会批准,选取 2021 年 1 月至 2023 年 12 月在我院内内分泌科就诊的 T2DM 患者 98 例作为研究对象。所有入组患者均签署知情同意书。其中男性 53 例,女性 45 例;年龄 45-75 岁,平均(61.3 ± 8.2)岁;病程 3-20 年,平均(8.5 ± 4.3)年。根据颈动脉 IMT 将患者分为三组:单纯糖尿病组($IMT < 1.0$ mm, 32 例)、早期动脉硬化组($1.0 \text{ mm} \leq IMT < 1.5$ mm, 34 例)和进展期动脉硬化组($IMT \geq 1.5$ mm, 32 例)。

纳入标准:(1)符合 1999 年 WHO 糖尿病诊断标准,即空腹血糖 ≥ 7.0 mmol/L 或糖耐量试验 2 h 血糖 ≥ 11.1 mmol/L,或随机血糖 ≥ 11.1 mmol/L 并伴有典型糖尿病症状;(2)年龄 18-75 岁;(3)病程 ≥ 3 年;(4)意识清晰,能够理解并配合检查;(5)签署知情同意书。

排除标准:(1)1 型糖尿病或其他特殊类型糖尿病;(2)近 3 个月内发生酮症酸中毒、高渗性昏迷等急性代谢紊乱;(3)严重心、肝、肾功能不全(纽约心功能分级 III 级以上,Child-Pugh 分级 C 级,估算肾小球滤过率 < 30 mL/min/1.73 m²);

(4)下肢动脉闭塞性疾病(踝肱指数 < 0.9);(5)结缔组织病等自身免疫性疾病;(6)恶性肿瘤或近 5 年内恶性肿瘤病史;(7)严重精神疾病或认知功能障碍;(8)妊娠期或哺乳期妇女;(9)近 3 个月内使用过影响血管弹性的药物如他汀类药物剂量调整者。

1.2 研究方法

1.2.1 临床资料收集 由专人采用统一设计的调查表收集所有患者的基线资料,包括:(1)一般人口学资料:年龄、性别、身高、体重、腰围、臀围等;(2)疾病相关信息:确诊时间、合并症、家族史等;(3)生活方式:吸烟史(每日吸烟 ≥ 1 支,持续 ≥ 1 年定义为吸烟史)、饮酒史、运动习惯等;(4)用药情况:口服降糖药、胰岛素、降压药、调脂药等药物使用情况。所有资料均经双人核实,确保准确性。

1.2.2 生化指标检测 所有患者均在入组时进行统一的实验室检查。患者于检查前一天晚上禁食 12 小时,次日清晨空腹抽取肘静脉血 10 mL。采用日立 7600 全自动生化分析仪检测空腹血糖(FPG)、总胆固醇(TC)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)等指标;采用伯乐 D-10 糖化血红蛋白分析仪检测糖化血红蛋白(HbA1c)。所有检测均在我院检验科完成,检验科通过 ISO15189 认证,室内质控符合要求。

1.2.3 超声检查方法 (1)仪器设备:采用 GE Logiq E9 超声诊断仪,配备 9L 线阵探头(频率 3-8MHz)和弹性成像软件包。所有检查前均进行设备质控校准,确保图像质量和测量精度。

(2)检查环境与准备:检查在安静、恒温(室温 22-25℃)的专用超声检查室进行。患者检查前 30 分钟停留在检查室内适应环境,避免剧烈活动。检查前排空膀胱,去除受检部位饰品和紧身衣物。

(3)检查体位与定位:患者取仰卧位,头部垫枕,双下肢自然伸展,外展约 15°,足跟外旋约 30°。在距腹股沟韧带下 10 cm 处标记检查点,该部位股浅动脉走行较直,便于获得稳定图像。

(4)常规超声检查:首先使用二维超声观察股浅动脉管腔形态、内膜回声、管壁厚度等情况。在纵切面上测量 IMT,测量部位选择远壁,避开斑块区域,取连续三个心动周期测量值的平均值。

(5)弹性成像检查:启动弹性成像模式,调节取样框大小(约 10 mm × 10 mm)使其完全包含血管壁,取样框放置于血管中央。探头垂直于皮肤表面,以最小必要压力保持探头稳定,待图像稳定后获取弹性图像。测量最大剪切波速度(SWVmax)、最小剪切波速度(SWVmin)和弹性系数(β)。每个参数连续测量 3 次,取平均值。

(6)质量控制:所有超声检查均由两名具有 5 年以上超声检查经验且经过弹性成像专门培训的医师独立完成。两名医师对同一患者的测量结果差异超过 10%时,需要重新测量。定期进行设备维护和图像质量评估,确保检查结果的准确性和可重复性。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 25.0 统计软件进行数据分析。数据正态性采用 Kolmogorov-Smirnov 检验,符合正态分布的计量资料以均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较采用单因素方差分析,两两比较采用 LSD-t 检验;不符合正态分布的计量资料以中位数(四分位数间距)[M(Q1,Q3)]表示,组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验;计数资料以例数和百分比[n(%)]表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法;等级资料采用秩和检验;相关性分析采用 Pearson 相关分析(正态分布)或 Spearman 相关分析(非正态分布);多因素分析采用多元线性回归分析,采用逐步回归法筛选变量。所有统计检验均为双侧检验, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。样本量的确定采用 PASS 15.0 软件进行估算,设 $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.10$,效应量为 0.3,计算得出每组至少需要 30 例患者。

2 结果

2.1 三组患者一般临床资料比较

三组患者在性别构成、年龄、体质指数(BMI)等一般临床资料方面差异无统计学意义($P > 0.05$),见表 1。

表 1 三组患者一般临床资料比较($\bar{x} \pm s$)
Table 1 Comparison of general clinical data among three groups($\bar{x} \pm s$)

Indicator	Diabetes Group (n=32)	Early	Advanced	F/ χ^2 Value	P Value
		Arteriosclerosis Group (n=34)	Arteriosclerosis Group (n=32)		
Gender (M/F)	17/15	19/15	17/15	0.123	0.940
Age (years)	60.5 ± 7.8	61.2 ± 8.1	62.1 ± 8.5	0.345	0.709
BMI (kg/m ²)	24.3 ± 3.1	24.8 ± 3.3	25.1 ± 3.4	0.512	0.601
Course of Disease (years)	7.2 ± 3.8	8.6 ± 4.1	9.7 ± 4.5	3.256	0.043*
Smoking History [n(%)]	10 (31.25)	12 (35.29)	13 (40.63)	0.624	0.732

*Note: * $P < 0.05$.

2.2 三组患者生化指标比较

进展期动脉硬化组 HbA1c、TC、LDL-C 水平显著高于其他两组($P < 0.05$),见表 2。

2.3 三组患者股浅动脉弹性参数比较

进展期动脉硬化组 SWVmax、SWVmin 和 β 值均显著高于其他两组($P < 0.05$),且随着 IMT

增加呈递增趋势,见表3。

2.4 股浅动脉弹性参数与IMT及生化指标的相关性分析

Pearson 相关分析显示,SWVmax、β 值与IMT 呈显著正相关($r=0.782、0.803, P<0.01$),与HbA1c、LDL-C 也呈正相关($P<0.05$),见表4。

表2 三组患者生化指标比较($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Comparison of biochemical indicators among three groups($\bar{x} \pm s$)

Indicator	Diabetes Group (n=32)	Early	Advanced	F Value	P Value
		Arteriosclerosis Group (n=34)	Arteriosclerosis Group (n=32)		
FPG (mmol/L)	7.8 ± 1.5	8.1 ± 1.6	8.4 ± 1.7	1.234	0.295
HbA1c (%)	7.2 ± 0.8	7.8 ± 0.9	8.5 ± 1.0	18.567	<0.001**
TC (mmol/L)	4.5 ± 0.9	4.9 ± 1.0	5.4 ± 1.1	7.891	0.001**
TG (mmol/L)	1.8 ± 0.7	1.9 ± 0.8	2.1 ± 0.9	1.456	0.238
LDL-C (mmol/L)	2.6 ± 0.6	3.1 ± 0.7	3.7 ± 0.8	21.345	<0.001**
HDL-C (mmol/L)	1.2 ± 0.3	1.1 ± 0.3	1.0 ± 0.2	2.123	0.125

Note: * $P<0.05$, ** $P<0.01$.

表3 三组患者股浅动脉弹性参数比较($\bar{x} \pm s$)

Table 3 Comparison of superficial femoral artery elasticity parameters among three groups($\bar{x} \pm s$)

Parameter	Diabetes Group (n=32)	Early	Advanced	F Value	P Value
		Arteriosclerosis Group (n=34)	Arteriosclerosis Group (n=32)		
SWVmax (m/s)	5.23 ± 0.86	6.45 ± 0.92	7.89 ± 1.13	67.234	<0.001**
SWVmin (m/s)	3.12 ± 0.45	3.89 ± 0.56	4.67 ± 0.78	52.156	<0.001**
β Value	6.78 ± 1.23	8.34 ± 1.45	10.56 ± 1.67	58.789	<0.001**

Note: ** $P<0.01$.

表4 股浅动脉弹性参数与IMT及生化指标的相关性分析(r 值)

Table 4 Correlation analysis between superficial femoral artery elasticity parameters and IMT and biochemical indicators (r value)

Parameter	IMT	HbA1c	TC	LDL-C	Course of Disease
SWVmax	0.782**	0.456*	0.412*	0.534*	0.467*
SWVmin	0.534*	0.323*	0.289	0.378*	0.345*
β Value	0.803**	0.478*	0.389*	0.567**	0.489*

Note: * $P<0.05$, ** $P<0.01$.

2.5 影响股浅动脉弹性参数的多因素分析

以SWVmax 为因变量,将年龄、病程、BMI、HbA1c、TC、LDL-C 等可能影响因素纳入多元线性回归分析。结果显示,HbA1c、LDL-C 和病程是影响股浅动脉弹性参数的独立危险因素($P<0.05$),见表5。

3 讨论

本研究采用超声弹性成像技术评估了2型糖尿病患者股浅动脉的弹性参数,并分析了其与动脉粥样硬化进展及相关生化指标的相关性。研究结果表明,随着颈动脉内膜中层厚度

表 5 影响股浅动脉弹性参数的多元线性回归分析

Table 5 Multiple linear regression analysis of factors affecting superficial femoral artery elasticity parameters

Variable	β Coefficient	Standard Error	Standardized β Coefficient	t Value	P Value
HbA1c	0.678	0.156	0.412	4.346	<0.001**
LDL-C	0.789	0.187	0.456	4.219	<0.001**
Course of Disease	0.456	0.134	0.323	3.403	0.001*
Constant	2.345	0.678	-	3.458	0.001*

Note: * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$.

(IMT) 的增加, 股浅动脉的最大剪切波速度 (SWVmax)、最小剪切波速度 (SWVmin) 及弹性系数 (β) 均显著升高, 且这些弹性参数与 IMT、HbA1c、LDL-C 呈显著正相关。同时, 多元线性回归分析显示, HbA1c、LDL-C 和病程是影响股浅动脉弹性参数的独立危险因素。

动脉弹性是评估血管功能的重要指标, 其变化与动脉粥样硬化的发生和发展密切相关^[8]。动脉弹性降低反映了动脉壁结构和功能的退化, 是动脉粥样硬化早期的重要病理特征之一。本研究发现, 随着 IMT 的增加, 股浅动脉的 SWVmax、SWVmin 和 β 值均呈显著上升趋势, 这表明动脉壁的硬化程度加重, 弹性降低。与已有研究一致, 动脉壁硬化是动脉粥样硬化的重要标志, 弹性参数的升高反映了动脉粥样硬化的进展^[9]。动脉弹性成像技术通过测量剪切波速度来评估血管壁的硬度和弹性, 其原理基于剪切波在组织中的传播速度与组织的弹性模量成正比。动脉壁弹性降低意味着剪切波传播速度增加, 因此, SWVmax 和 SWVmin 的升高反映了股浅动脉弹性的下降。弹性系数 (β) 作为描述血管壁弹性的参数, 其升高进一步证实了动脉硬化的加重^[10]。

股浅动脉作为下肢动脉的主要血管, 其弹性变化不仅反映了局部动脉的病变, 还可能与全身动脉系统的病变同步。已有研究表明, 股浅动脉的弹性参数与全身动脉粥样硬化程度存在

相关性^[11], 本研究进一步验证了这一点, 为股浅动脉弹性成像在动脉粥样硬化评估中的应用提供了依据。此外, 股浅动脉弹性参数的变化可能预示着下肢缺血性疾病的发生发展, 对于早期诊断和预防下肢动脉疾病具有重要意义。本研究发现, HbA1c 和 LDL-C 水平与股浅动脉弹性参数呈显著正相关, 提示血糖控制和血脂水平对动脉弹性具有重要影响。HbA1c 作为长期血糖控制的指标, 其升高反映了长期高血糖状态, 导致动脉壁的糖基化终产物 (AGEs) 积累, 诱导氧化应激和炎症反应, 进而促进动脉硬化^[12]。糖基化终产物的积累不仅直接影响动脉壁的弹性, 还通过与其受体 RAGE 结合, 激活一系列信号通路, 导致动脉平滑肌细胞增殖和外基质重构, 进一步加剧动脉硬化进程^[13]。

LDL-C 的升高是动脉粥样硬化的独立危险因素, 其在动脉壁内的积聚促进了动脉粥样硬化斑块的形成和发展^[14]。LDL-C 通过氧化和修饰后被巨噬细胞摄取, 形成泡沫细胞, 进而促进斑块的形成。高水平的 LDL-C 不仅增加了动脉壁的脂质积聚, 还通过诱导炎症反应和氧化应激, 进一步损伤血管内皮细胞, 降低动脉弹性^[15]。相比之下, 其他生化指标如空腹血糖 (FPG)、总胆固醇 (TC) 和甘油三酯 (TG) 虽然在单因素分析中也显示出与动脉弹性的相关性, 但在多元回归分析中未能成为独立危险因素。可能是因为 HbA1c 和 LDL-C 更能反映长期的血糖和血脂

控制状况,对动脉弹性具有更直接和持续的影响^[16]。此外,HbA1c和LDL-C的升高往往伴随着其他代谢异常,如炎症因子的增加和氧化应激的增强,共同作用于动脉壁,导致弹性参数的变化^[17]。

病程是影响动脉弹性的另一个独立因素。随着糖尿病病程的延长,长期的高血糖和高血脂状态会导致动脉壁结构和功能的持续损伤,动脉弹性逐渐下降,动脉粥样硬化进展加快^[18]。研究结果支持了这一观点,提示在临床管理中,早期干预和控制血糖、血脂对于延缓动脉硬化进展具有重要意义。糖尿病病程的延长伴随着微血管和大血管并发症的增加,动脉壁的弹性变化反映了病程对血管健康的累积影响。长期高血糖状态不仅通过糖基化终产物和氧化应激直接影响动脉弹性,还通过促进炎症反应和动脉壁重构,进一步加剧动脉硬化的进展^[19]。此外,病程的延长可能伴随着治疗依从性的下降和血糖、血脂控制的波动,进一步影响动脉弹性的稳定性^[20]。

本研究存在局限性。首先,本研究为横断面研究,无法动态观察动脉弹性参数随时间的变化及其与动脉粥样硬化进展的因果关系。未来应开展纵向研究,以更好地评估动脉弹性参数在动脉粥样硬化进展中的预测价值。其次,本研究样本量相对较小,且来自单一中心,存在一定的选择偏倚,影响结果的推广性。未来应扩大样本量,进行多中心研究,提高结果的可靠性和普适性。此外,不同种族和地域的患者在动脉弹性和动脉粥样硬化的表现上可能存在差异,这也是本研究未能涉及的部分。

综上所述,本研究验证了超声弹性成像技术在评估2型糖尿病患者股浅动脉弹性和动脉粥样硬化进展中的应用潜力。股浅动脉弹性参数的升高与动脉粥样硬化的进展密切相关,且与HbA1c、LDL-C水平及病程存在显著相关性。

尽管存在一定的局限性,但本研究为临床早期预防和干预动脉粥样硬化提供了重要依据。

参 考 文 献(References)

- [1] American Diabetes Association. Standards of care in diabetes-2023 abridged for primary care providers [J]. Clin Diabetes, 2023, 41(1): 4-31.
- [2] Boos C J, Hein A, Khattab A. Ambulatory arterial stiffness index, mortality, and adverse cardiovascular outcomes; Systematic review and meta-analysis [J]. J Clin Hypertens (Greenwich), 2024, 26(2): 89-101.
- [3] Mannarino M R, Pirro M, Gigante B, et al. Association between uric acid, carotid Intima-Media thickness, and cardiovascular events: prospective results from the improve study[J]. J Am Heart Assoc, 2021, 10(11): e020419.
- [4] Caenen A, Pernot M, Nightingale K R, et al. Assessing cardiac stiffness using ultrasound shear wave elastography [J]. Phys Med Biol, 2022, 67 (2): 02TR01.
- [5] 朱琳,陈洋,杨青,等.超声弹性成像评估自身免疫性肝炎患者肝纤维化分期价值分析 [J].实用肝脏病杂志,2023,26(3):360-363.
- [6] Oglat A A, Abukhalil T. Ultrasound Elastography: Methods, Clinical Applications, and Limitations: A Review Article[J]. App Sci, 2024, 14(10): 4308.
- [7] 韩孟冉,教娜,王鹤,等.单核细胞/高密度脂蛋白比值与2型糖尿病患者下肢动脉粥样硬化性疾病的相关性分析[J].中国全科医学,2021,24(6):663-668.
- [8] Valencia-Hernández C A, Lindbohm J V, Shipley M J, et al. Aortic pulse wave velocity as adjunct risk marker for assessing cardiovascular disease risk: prospective study [J]. Hypertension, 2022, 79 (4): 836-843.
- [9] 徐康,王成,张梦娇,等.动脉粥样硬化血管的光声频谱分析 [J].激光与光电子学进展,2021,58(12):462-470.

- [10] Pruijssen J T, de Korte C L, Voss I, et al. Vascular shear wave elastography in atherosclerotic arteries: a systematic review[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46(9): 2145-2163.
- [11] 赵倩, 王颖, 谢依热·哈木拉提, 等. 睡眠质量与心脑血管疾病发病中、低危人群颈动脉粥样硬化的相关性分析 [J]. *上海交通大学学报 (医学版)*, 2023, 43(11): 1366-1373.
- [12] Antonopoulos A S, Siasos G, Oikonomou E, et al. Arterial stiffness and microvascular disease in type 2 diabetes[J]. *Eur J Clin Invest*, 2021, 51(2): e13380.
- [13] 刘青波, 李虹伟. 晚期糖基化终末产物与动脉粥样硬化[J]. *中国心血管杂志*, 2018, 23(1): 87-91.
- [14] Bergmark B A, Mathenge N, Merlini P A, et al. Acute coronary syndromes [J]. *The Lancet*, 2022, 399(10332): 1347-1358.
- [15] 刘文钊. FHR1、SLPI 与冠状动脉粥样硬化性心脏病的相关性研究[D]. 济南: 山东大学, 2022.
- [16] 戚文璐, 程莲, 杨艳, 等. 全息血管硬度分析技术评价 2 型糖尿病患者颈总动脉弹性改变的价值 [J]. *医学诊断*, 2024, 14(1): 112-118.
- [17] Sang Y, Cao M, Wu X, et al. Use of lipid parameters to identify apparently healthy men at high risk of arterial stiffness progression [J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2021, 21(1): 1-10.
- [18] Zheng M, Zhang X, Chen S, et al. Arterial stiffness preceding diabetes: a longitudinal study [J]. *Circ Res*, 2020, 127(12): 1491-1498.
- [19] 冯玥琪, 田文. 生活方式及相关危险因素对动脉硬化影响的研究进展[J]. *临床内科杂志*, 2022, 39(4): 286-288.
- [20] Li S, Tang X, Luo Y, et al. Impact of long-term glucose variability on coronary atherosclerosis progression in patients with type 2 diabetes: a 2.3 year follow-up study[J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2020, 19(1): 1-13.

(上接第 502 页)

- [17] 桑婷婷, 杨颖, 赵金荣, 等. 下肢整体康复训练对踝关节骨折术后患者步态功能的影响 [J]. *实用骨科杂志*, 2024, 30(9): 852-854.
- [18] 于俊海, 黄强. 针刺结合康复训练对急性踝关节损伤患者踝关节功能及运动能力的影响 [J]. *解放军预防医学杂志*, 2019, 37(1): 102-104.
- [19] 石秀峰, 李惠萍, 张先棠, 等. 足踝功能锻炼器对老年髌部骨折术后功能锻炼的效果 [J]. *中国老年学杂志*, 2020, 40(6): 1265-1268.
- [20] 徐雪芬, 许小志, 梁妙莲, 等. 足踝锻炼器对 Pilon 骨折术后早期功能康复的临床研究[J]. *中国实用医药*, 2018, 13(30): 80-82.
- [21] Shin W, Nam D, Ahn B, et al. Ankle dorsiflexion assistance of patients with foot drop using a powered ankle-foot orthosis to improve the gait asymmetry[J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2023, 20(1): 140.
- [22] 戴欣钰, 张东云, 袁桂平. 足踝功能锻炼器的研制与应用 [J]. *中华现代护理杂志*, 2015, 16(14): 1665-1665.
- [23] Rogati G, Caravaggi P, Leardini A. Design principles, manufacturing and evaluation techniques of custom dynamic ankle-foot orthoses: a review study [J]. *J Foot Ankle Res*, 2022, 15(1): 38.