

流行病学

成人 BMI 与踝臂指数的相关性分析

黄亚廷¹ 王琴¹ 高媛¹ 陆心怡¹ 廖深根¹ 郑旭辉¹ 祝绪¹ 张海锋¹

[摘要] 目的:研究成年健康人群 BMI 与踝臂指数(ankle-brachial index, ABI)的相关性。方法:纳入 2009 年 12 月—2010 年 5 月在江苏高邮随机招募的 4353 例社区居民。采用经过验证的全自动 VP-1000PWV/ABI 分析仪无创测量 ABI。根据人群 BMI 分为低体重组(BMI<18.5 kg/m²)、正常体重组(18.5 kg/m²≤BMI<24 kg/m²)、超重组(24 kg/m²≤BMI<28 kg/m²)和肥胖组(BMI≥28 kg/m²)。采用单因素、多因素线性回归分析和限制性立方样条函数研究 BMI 与 ABI 的相关性。结果:ABI 在低体重组为 1.04±0.08,正常体重组为 1.09±0.08,超重组为 1.11±0.08,肥胖组为 1.11±0.08。多因素线性回归模型显示,以正常体重为参照,在低体重组、超重组、肥胖组中,BMI 与 ABI 呈正相关(β 分别为 -0.039、0.013、0.017,均 $P<0.001$)。限制性立方样条函数显示,BMI 与 ABI 呈非线性相关($P<0.001$)。结论: BMI 与 ABI 呈非线性正相关。

[关键词] BMI;踝臂指数;相关性

DOI:10.13201/j.issn.1001-1439.2021.03.017

[中图分类号] R54 **[文献标志码]** A

Correlation between body mass index and ankle-brachial index in the general adult population

HUANG Yating WANG Qin GAO Yuan LU Xinyi LIAO Shengeng
ZHENG Xuhui ZHU Xu ZHANG Haifeng

(Department of Cardiology, the First Affiliated Hospital with Nanjing Medical University, Nanjing, 210029, China)

Corresponding author: GAO Yuan, E-mail: Yuangao_nanjing@163.com

Abstract Objective: To investigate the correlation between body mass index(BMI) and ankle-brachial index (ABI) in a general population. **Methods:** A total of 4353 community residents were randomly enrolled from December 2009 to May 2010 in Gaoyou, Jiangsu Province. The ABI was measured non-invasively using the automatic VP-1000PWV/ABI analyzer. According to the BMI, participants were divided into low body weight group(BMI<18.5 kg/m²), normal body weight group(18.5 kg/m²≤BMI<24 kg/m²), overweight group(24 kg/m²≤BMI<28 kg/m²), and obese group(BMI≥28 kg/m²). Univariate and multivariate linear regression analysis and restrictive cubic spline function were used to analyze the correlation between BMI and ABI. **Results:** ABI was 1.04±0.08 in the low body weight, 1.09±0.08 in the normal body weight, 1.11±0.08 in the overweight body, and 1.11±0.08 in the obese group, respectively. Multivariate linear regression model showed that BMI was positively correlated with ABI in the low body weight group, overweight group, and obese group($\beta = -0.039, 0.013, 0.017$, all $P<0.001$). The restricted cubic spline function further showed that BMI was non-linearly correlated with ABI($P<0.001$). **Conclusion:** BMI and ABI have a non-linear positive correlation.

Key words body mass index; ankle-brachial index; correlation

外周动脉疾病(peripheral arterial disease, PAD)是亚临床冠心病的一个重要标志,患病率随着年龄的增长而急剧增加^[1]。既往研究表明,PAD与心血管疾病发病率和病死率的升高显著相关^[2-4]。肥胖已经是世界范围内常见的健康问题,被认为是冠心病可控制的危险因素之一。目前,对于 BMI 与 PAD 之间的关系尚未明确界定,仍存在争议。虽然有研究表明肥胖与 PAD 的高患病率有关^[5],但其他研究却未能重复这种相关性^[6]。既往

研究定性分析了 BMI 与踝臂指数(ankle-brachial index, ABI)(ABI 是否小于 0.9 诊断 PAD)的相关性,并未对其进行定量分析。因此,本研究采用随机筛选的社区人群来定量分析 BMI 与 ABI 之间的相关性。

1 对象与方法

1.1 对象

研究方法已在相关文章发表^[7-8]。在高邮市八桥镇和送桥镇招募 18~75 岁的研究对象,根据年龄、性别进行随机分层。在 6000 例受邀人群中,4536 例研究对象签署了书面知情同意书(应答率

¹南京医科大学第一附属医院心内科(南京,210029)
通信作者:高媛, E-mail: Yuangao_nanjing@163.com

为 75.6%)。本次研究排除缺乏 ABI、BMI 和协变量的研究对象 183 例,最终纳入统计分析的研究对象为 4353 例。南京医科大学第一附属医院机构评审委员会批准了该研究方案。本研究同时符合赫尔辛基宣言对健康人群的横断面调查要求。

1.2 ABI 测量

采用全自动 VP-1000PWV/ABI 分析仪无创地测量 ABI,所有技师进行统一培训,培训合格后测量受检者 ABI。ABI 为踝动脉收缩压和肱动脉收缩压的比值。左右两侧均进行测量,取两侧的平均值为 ABI 最后结果。

1.3 BMI 计算及分组

BMI 是由测量的体重(公斤)除以身高(米)的平方来计算的。根据 BMI,将所纳入人群分为低体重组(BMI < 18.5 kg/m²)、正常体重组(18.5 kg/m² ≤ BMI < 24 kg/m²)、超重组(24 kg/m² ≤ BMI < 28 kg/m²)和肥胖组(BMI ≥ 28 kg/m²)^[8]。

1.4 血液和血压测量

采集的静脉血统一在南京医科大学第一附属医院中心化实验室,用全自动生化分析仪测量空腹后静脉血总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)、肌酐、甘油三酯(TG)和血糖等。血压采用水银血压计测量。水银血压计在测量前进行校准。将带有 12~24 cm 充气囊的袖带套在右臂上,以大约 2 mmHg/s 的速度放气。参与者坐位休息至少 5 min 后,连续观察 3 个血压读数,并取其平均值用于分析。

1.5 其他指标收集

采用调查问卷的形式进行吸烟史、饮酒史和糖

尿病史的调查。吸烟根据目前是否吸烟来判断,饮酒根据目前是否仍有规律饮酒来判断,糖尿病史根据是否既往诊断为糖尿病或目前正在进行胰岛素或使用其他降糖药物治疗来判断。

1.6 统计学处理

符合正态分布的计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用单因素方差分析;计数资料采用例(%)表示,组间比较采用 χ^2 检验。应用单因素线性回归分析年龄、性别、收缩压、血糖、TC、LDL-C、HDL-C、TG、肌酐、吸烟史、饮酒史、糖尿病史、降压治疗、BMI 等因素与 ABI 的关系。将单因素分析中 $P < 0.05$ 的变量纳入线性回归模型行多因素分析。采用四节点(5th、35th、65th、95th)限制性立方样条函数校正多因素线性回归模型中的变量探索 BMI 与 ABI 的定量关系。如发现 BMI 与 ABI 呈非线性相关,拟合分段线性回归,分段线性回归的结果与线性回归的拟合效果采用似然比检验进行对比。采用 Stata14.0 进行分析, $P < 0.05$ 被认为具有统计学意义。

2 结果

2.1 基线资料特征

本研究共纳入 4353 例研究对象,总体年龄为(51.9 ± 12.3)岁,46.6%为男性。人群 BMI 为(24.5 ± 3.13) kg/m²,1.6%为低体重,44.8%为正常体重,40.0%为超重,13.6%为肥胖。低体重组饮酒和糖尿病比例最少,肥胖组心率最快,并合并有最高的血压、血糖、LDL-C 及血肌酐。各 BMI 分组特征见表 1。

表 1 基线特征
 Table 1 General data

项目	低体重组(69 例)	正常体重组(1951 例)	超重组(1742 例)	肥胖组(591 例)	$\bar{x} \pm s$ P 值
年龄/岁	52.0 ± 16.7	51.6 ± 13.2	52.1 ± 11.3	51.9 ± 11.2	0.698
男性/例(%)	39(56.5)	897(46.0)	820(47.1)	274(46.4)	0.362
ABI	1.04 ± 0.08	1.09 ± 0.08	1.11 ± 0.08	1.11 ± 0.08	<0.001
心率/(次·min ⁻¹)	77.2 ± 12.5	73.7 ± 9.8	73.2 ± 9.3	73.7 ± 9.3	0.004
收缩压/mmHg	126 ± 18.1	132 ± 20.0	138 ± 20.4	143 ± 20.0	<0.001
舒张压/mmHg	79.7 ± 11.2	82.4 ± 10.1	86.8 ± 10.3	90.6 ± 10.0	<0.001
血糖/(mmol·L ⁻¹)	5.52 ± 0.76	5.58 ± 1.11	5.80 ± 1.27	5.91 ± 1.31	<0.001
TC/(mmol·L ⁻¹)	4.52 ± 0.84	4.77 ± 0.95	5.07 ± 0.98	5.20 ± 1.01	<0.001
HDL-C/(mmol·L ⁻¹)	1.50 ± 0.35	1.40 ± 0.34	1.27 ± 0.31	1.19 ± 0.27	<0.001
LDL-C/(mmol·L ⁻¹)	2.54 ± 0.59	2.80 ± 0.67	3.05 ± 0.69	3.17 ± 0.73	<0.001
TG/(mmol·L ⁻¹)	0.92 ± 0.32	1.19 ± 0.90	1.76 ± 1.59	2.21 ± 1.81	<0.001
尿素/(mmol·L ⁻¹)	5.68 ± 1.81	5.55 ± 1.81	5.60 ± 1.56	5.56 ± 1.66	0.737
肌酐/(μmol·L ⁻¹)	66.3 ± 13.5	65.5 ± 15.8	66.6 ± 15.2	68.4 ± 21.9	0.002
吸烟/例(%)	27(39.1)	636(32.6)	540(31.0)	176(29.8)	0.274
饮酒/例(%)	7(10.1)	346(17.7)	401(23.0)	126(21.3)	<0.001
糖尿病/例(%)	0(0)	23(1.2)	47(2.7)	12(2.0)	0.005
降压治疗/例(%)	4(5.8)	179(9.2)	277(15.9)	156(26.4)	<0.001

2.2 BMI 与 ABI 的相关性

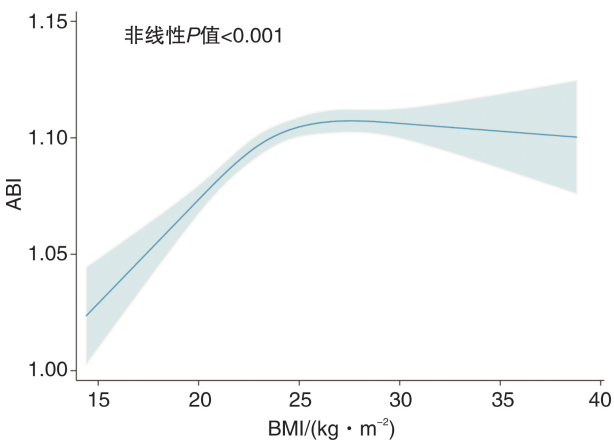
单因素线性回归分析显示,年龄、性别、收缩压、血糖、TC、LDL-C、TG、肌酐、吸烟史、饮酒史、降压治疗、BMI 均与 ABI 相关。将 BMI 纳入多因素线性回归模型,校正上述单因素分析中 $P < 0.05$ 的变量,结果显示,以正常体重为参照,低体重组、超重组与肥胖组中,BMI 与 ABI 呈正相关性($\beta = -0.039, 0.013, 0.017$,均 $P < 0.001$)。见表 2。

限制性立方样条函数显示,BMI 与 ABI 呈非线性相关。分段线性回归结果显示截断点为 22.6 kg/m^2 。当 $\text{BMI} \leq 22.6 \text{ kg/m}^2$ 时,BMI 每增加 1 kg/m^2 ,ABI 增加 0.010 单位($95\% \text{CI}: 0.007 \sim 0.013; P < 0.001$);当 $\text{BMI} > 22.6 \text{ kg/m}^2$ 时,BMI 每增加 1 kg/m^2 ,ABI 增加 0.001 单位($95\% \text{CI}: 0.000 \text{ } 04 \sim 0.002; P = 0.043$)。似然比检验证实分段线性回归优于拟合线性回归模型。见图 1 和表 3。

表 2 相关性分析结果

Table 2 Correlation analysis results

项目	单因素分析		多因素分析	
	$\beta(95\% \text{CI})$	P 值	$\beta(95\% \text{CI})$	P 值
年龄	0.002(0.002~0.002)	<0.001	0.001(0.001~0.001)	<0.001
男性	0.018(0.013~0.022)	<0.001	0.009(0.002~0.016)	0.016
心率	-0.002(-0.002~-0.002)	<0.001	-0.002(-0.002~-0.002)	<0.001
收缩压	0.001(0.001~0.001)	<0.001	0.001(0.000~0.001)	<0.001
血糖	0.003(0.001~0.005)	0.015	0.001(-0.001~0.003)	0.428
TC	0.005(0.002~0.007)	<0.001	0.007(0.001~0.013)	0.029
HDL-C	0.000(-0.008~0.007)	0.920		
LDL-C	0.005(0.001~0.008)	0.007	-0.013(-0.021~-0.005)	0.002
TG	0.002(0.000~0.003)	0.078		
肌酐	0.000(0.000~0.001)	<0.001	0.000(0.000~0.000)	0.270
吸烟	0.014(0.009~0.019)	<0.001	-0.005(-0.012~0.002)	0.155
饮酒	0.015(0.009~0.022)	<0.001	0.001(-0.006~0.008)	0.768
糖尿病	0.005(-0.013~0.024)	0.556		
降压治疗	0.023(0.016~0.030)	<0.001	0.000(-0.007~0.007)	0.930
BMI				
正常体重组	参照组		参照组	
低体重组	-0.047(-0.066~-0.027)	<0.001	-0.039(-0.058~-0.021)	<0.001
超重组	0.017(0.012~0.022)	<0.001	0.013(0.008~0.018)	<0.001
肥胖组	0.022(0.014~0.030)	<0.001	0.017(0.010~0.025)	<0.001



注:实线部分为 ABI 的预计值,阴影部分为预计值的 95%CI。分析校正了年龄、性别、收缩压、血糖、TC、LDL-C、TG、肌酐、吸烟史、饮酒史和降压治疗等因素。

图 1 BMI 与 ABI 的限制性立方样条回归分析

Figure 1 Restricted cubic spline regression analysis

表 3 BMI 与 ABI 相关阈值效应的截点

Table 3 The cut-off values of threshold effect of BMI and ABI

BMI 组别	$\beta(95\% \text{CI})$	P 值	似然比检验 P 值
$\leq 22.6 \text{ kg/m}^2$	0.010(0.007,0.013)	<0.001	
$> 22.6 \text{ kg/m}^2$	0.001(0.000 04,0.002)	0.043	<0.001

注:分析校正了年龄、性别、收缩压、血糖、TC、LDL-C、TG、肌酐、吸烟史、饮酒史和降压治疗等因素。

3 讨论

本研究发现,BMI 与 ABI 呈非线性正相关,即便在校正了多个已知的动脉粥样硬化性心血管疾病危险因素后,这种相关性仍然存在。研究表明,BMI 减低可能是 PAD 的一个很强的独立危险因素。

既往多项研究评估了 BMI 与 PAD 的相关性。

这些研究表明,BMI与PAD患病率呈正相关、负相关、J型、U型或完全不相关^[6,9-13]。Heffron等^[12]纳入3 250 350例人群的一项横断面研究表明,BMI与PAD患病呈J型曲线关系,低体重和肥胖均与高PAD患病率相关。这种趋势在女性中更为明显,女性BMI增加可能是PAD的重要独立危险因素,而男性只有在过度肥胖(BMI>42 kg/m²)时才有可能增加PAD患病风险。这种动脉粥样硬化的性别差异机制仍需进一步研究。Murabito等^[10]研究发现,在招募的中年男性和女性人群中,多因素分析后BMI与PAD无明确相关性。在一项纳入610例中国台湾2型糖尿病患者PAD患病率及危险因素的研究中发现,BMI与低PAD患病风险相关^[13]。这些研究都是根据ABI截点定性分析其与PAD的相关性,目前尚少见定量分析ABI与BMI非线性关系的研究。

本研究发现BMI与ABI呈非线性正相关。在低体重人群中外周动脉硬化更严重。本研究与既往研究BMI与同样反映动脉粥样硬化的肱踝脉搏波传导速度(baPWV)呈负相关的结果是相符的^[9]。肥胖者外周动脉粥样硬化程度较轻可能是因为肥胖者有较高的心血管和肺代谢储备,脂肪组织可能产生特定的激素和细胞因子,也减少了交感神经的激活。虽然肥胖可能是动脉重构的一个重要因素,可损害血管功能并导致血流动力学改变,但肥胖患者的血管内皮功能仍可能是正常的^[14-15]。

本研究存在以下不足:首先,本研究是横截面研究,只能探究BMI与ABI的相关性,而不能推断两者的因果关系;其次,虽然经过多因素分析,但仍不能排除其他混杂因素对结果的影响;最后,未检测血液的生物标志物,包括炎症因子、氧化应激参数、缩血管物质等,未对机制进行深入探讨。尽管存在着这些局限性,但本研究仍提供了一个重要的发现,后期需要一些前瞻性队列研究进一步证实其因果关系。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Selvin E, Erlinger TP. Prevalence of and risk factors for peripheral arterial disease in the United States: results from the National Health and Nutrition Examination Survey, 1999–2000[J]. *Circulation*, 2004, 110(6):738-743.
- [2] Geisel MH, Bauer M, Hennig F, et al. Comparison of coronary artery calcification, carotid intima-media thickness and ankle-brachial index for predicting 10-year incident cardiovascular events in the general population[J]. *Eur Heart J*, 2017, 38(23):1815-1822.
- [3] Murphy TP, Dhangana R, Pencina MJ, et al. Ankle-brachial index and cardiovascular risk prediction: an analysis of 11,594 individuals with 10-year follow-up[J]. *Atherosclerosis*, 2012, 220(1):160-167.
- [4] Thomsen M, Nordestgaard BG. Myocardial infarction and ischemic heart disease in overweight and obesity with and without metabolic syndrome[J]. *JAMA Intern Med*, 2014, 174(1):15-22.
- [5] Desormais I, Aboyans V, Guerchet M, et al. Body mass index and peripheral arterial disease, a "U-shaped" relationship in elderly African population—the EPIDEMCA study[J]. *Vasa*, 2020, 49(1):50-56.
- [6] Ix JH, Biggs ML, Kizer JR, et al. Association of body mass index with peripheral arterial disease in older adults: the Cardiovascular Health Study[J]. *Am J Epidemiol*, 2011, 174(9):1036-1043.
- [7] Yao WM, Zhang HF, Zhu ZY, et al. Genetically elevated levels of circulating triglycerides and brachial-ankle pulse wave velocity in a Chinese population[J]. *J Hum Hypertens*, 2013, 27(4):265-270.
- [8] Lu YC, Lyu P, Zhu HY, et al. Brachial-ankle pulse wave velocity compared with mean arterial pressure and pulse pressure in risk stratification in a Chinese population[J]. *J Hypertens*, 2018, 36(3):528-536.
- [9] Tang B, Luo F, Zhao J, et al. Relationship between body mass index and arterial stiffness in a health assessment Chinese population [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2020, 99(3):e18793.
- [10] Murabito JM, Evans JC, Nieto K, et al. Prevalence and clinical correlates of peripheral arterial disease in the Framingham Offspring Study[J]. *Am Heart J*, 2002, 143(6):961-965.
- [11] Hooi JD, Kester AD, Stoffers HE, et al. Incidence of and risk factors for asymptomatic peripheral arterial occlusive disease: a longitudinal study[J]. *Am J Epidemiol*, 2001, 153(7):666-672.
- [12] Heffron SP, Dwivedi A, Rockman CB, et al. Body mass index and peripheral artery disease[J]. *Atherosclerosis*, 2020, 292:31-36.
- [13] Tseng CH. Prevalence and risk factors of peripheral arterial obstructive disease in Taiwanese type 2 diabetic patients[J]. *Angiology*, 2003, 54(3):331-338.
- [14] Kappus RM, Fahs CA, Smith D, et al. Obesity and overweight associated with increased carotid diameter and decreased arterial function in young otherwise healthy men[J]. *Am J Hypertens*, 2014, 27(4):628-634.
- [15] Fahs CA, Smith DL, Horn GP, et al. Impact of excess body weight on arterial structure, function, and blood pressure in firefighters[J]. *Am J Cardiol*, 2009, 104(10):1441-1445.

(收稿日期:2020-08-17;修回日期:2020-09-08)