中华高血压杂志（中英文）
CHINESE JOURNAL OF HYPERTENSION
ISSN 1673-7245
CN 11-5540/R
主管：国家疾病预防控制局
主办：中华预防医学会
福建医科大学

男性青年学生体重指数与右臂短暂缺血后的臂间舒张压差变化值的相关性

刘光耀，邓嘉晟，曾嘉乐，吴宇强，苏 海

在线阅读 View online: https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2025-0244

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

体质量指数与臂间收缩压差的关联

中华高血压杂志. 2023, 31(3): 234-240 https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.03.008

生命八要素评分与臂间收缩压差的相关性

中华高血压杂志. 2025, 33(7): 661-668 https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2024-0401

老年血脂异常患者体重指数与高血压患病风险的关系

中华高血压杂志. 2025, 33(4): 370-377 https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2025.04.011

不同年龄人群臂间收缩压差增大的影响因素

中华高血压杂志. 2023, 31(4): 353-359 https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.04.010

我国年龄≥35岁人群臂间收缩压差及影响因素

中华高血压杂志. 2023, 31(3): 227-233 https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2023.03.007

青年女性月经初潮年龄与动态血压参数的相关性

中华高血压杂志. 2024, 32(12): 1161-1167 https://doi.org/10.16439/j.issn.1673-7245.2024.12.010

关注微信公众号，获得更多资讯信息

•论 著•

男性青年学生体重指数与右臂短暂缺血后的臂间舒张压差变化值的相关性

刘光耀，邓嘉晟，曾嘉乐，吴宇强，苏海
南昌大学第二临床学院，第二附属医院心内科，江西 南昌 330019

摘要：目的 探讨青年学生体重指数(BMI)与右臂短暂缺血后引发的臂间舒张压差变化值(Δ d-IAD)之间的关联，为评估青年学生血管内皮功能提供简易方法。**方法** 入选男性青年学生 137 例。根据 BMI 水平分为三组：正常组(BMI 18.5～＜24 kg/m^2，n = 53)，超重组(24～＜28 kg/m^2，n = 44)和肥胖组(≥28 kg/m^2，n = 40)。安静休息 10 min 后，用 2 台同型号电子血压计同步测量两臂血压 2 次，其均值为基础血压；然后用水银血压计的袖带放置在右上臂，充气使袖带压力高于收缩压 30 mmHg 并维持 5 min 造成短时右臂缺血，然后再用电子血压计同步测量两臂血压，计算基础以及缺血后的两臂舒张压差值(d-IAD)。应用相关分析及多因素回归分析评估 BMI 与 Δd-IAD 的关系。**结果** 缺血前，三组的基线 d-IAD 差异无统计学意义(H = 4.918，P = 0.086)。缺血后，从正常体重到超重状态，Δd-IAD 显著降低，而超重至肥胖状态的变化趋势则相对平缓[正常组Δd-IAD 为 7.33（3.08, 11.42）mmHg，超重组为 3.00（0.42, 6.79）mmHg，肥胖组为 1.50（−0.96, 2.83）mmHg，正常组与超重组比较，U = 637.00，P＜0.001，超重组与肥胖组比较，U = 633.00，P = 0.027]。多因素分析表明，BMI 是 Δd-IAD 的负性独立影响因素(标准化系数 β = –0.362，P＜0.001)。**结论** 在青年男性中，BMI 与右臂短暂缺血后的Δd-IAD 呈独立负相关。

关键词： 体重指数； 臂间舒张压差； 缺血

Correlation between body mass index and change in inter-arm diastolic pressure difference after transient right arm ischemia in young male students

LIU Guangyao, DENG Jiasheng, ZENG Jiale, WU Yuqiang, SU Hai
The Second Clinical College of Nanchang University, Department of Cardiology, The Second Affiliated Hospital of Nanchang University, Nanchang, Jiangxi 330019, China

Abstract: Objective To evaluate the relationship of inter-arm diastolic pressure difference (d-IAD) after right arm ischemia with body mass index (BMI) in young males, so as to provide simple methods for assessing vascular endothelial function in young students. **Methods** A total of 137 young males were selected. Based on the BMI, the participants were divided into three groups: normal group (BMI 18.5 to ＜24 kg/m^2, 53 cases), overweight group (24 to ＜28 kg/m^2, 44 cases) and obesity group (≥28 kg/m^2, 40 cases). After 10 min rest, the blood pressure of both arms was measured twice by two electronic blood pressure monitors, with the average taken as the baseline blood pressure. A cuff of a mercury sphygmomanometer was then placed on the right upper arm and inflated to 30 mmHg above the systolic blood pressure for 5 minutes to induce transient right-arm ischemia. Subsequently, blood pressure in both arms was measured simultaneously using an electronic device. The diastolic blood pressure differences (Δd-IAD) between the two arms were calculated at baseline and after ischemia. Correlation analysis and multiple regression analysis were used to evaluate the relationship between BMI and Δd-IAD. **Results** Before ischemia, there were no significant differences in the baseline d-IAD among the three groups (H = 4.918, P = 0.086). After ischemia, Δd-IAD decreased significantly from normal weight to overweight, whereas the change from overweight to obesity was relatively modest. The Δd-IAD values were 7.33 (3.08, 11.42) mmHg in the normal-weight group, 3.00 (0.42, 6.79) mmHg in the overweight group, and 1.50 (–0.96, 2.83) mmHg in the obesity group. Comparison between the normal-weight and overweight groups yielded U = 637.00, P＜0.001, and between the overweight and obesity groups, U = 633.00, P = 0.027. Multivariable analysis showed that BMI was an independent negative

doi: 10.16439/j.issn.1673-7245.2025-0244
通信作者(Corresponding author)： 苏海(SU Hai)

determinant of Δd-IAD (β = −0.362, P< 0.001). **Conclusion** In young males, BMI is independently and negatively correlated with Δd-IAD after short-term ischemia in the right arm.

Keywords: body mass index; inter-arm diastolic pressure difference; ischemia

目前临床上内皮功能相关检测指标包括血流介导的血管舒张功能(flow mediated dilation, FMD)和外周动脉张力(peripheral artery tonometry, PAT)[1-4]。2002 年美国心脏病学会杂志(*Journal of the American College of Cardiology*, *JACC*)的超声指南指出，FMD 是一个有用的指标，FMD 的检测过程：先行 5 min 的束臂使肱动脉缺血，在恢复血流后，血管内皮受剪切力增加的影响，内源性一氧化氮释放增加，血管扩张，评估血管内径的变化率来评价血管内皮功能，即 FMD(%)=(舒张反应后动脉内径−基础动脉内径)/基础动脉内径。现已证明，FMD 与血压、血糖、血脂、年龄、体重指数(body mass index, BMI)等心血管危险因素之间呈负相关[5-6]。

以往的研究证实，短暂的单臂(通常为右臂)缺血或运动均可诱发该侧上臂的反应性充血[7]，此时该上臂的舒张压下降，引起臂间舒张压差(inter-arm diastolic blood pressure difference, d-IAD)变化[4]，同时缺血后的 d-IAD 变化值(Δd-IAD)与 FMD 的程度明显相关，其原理与 FMD 相似，均基于反应性充血后内皮依赖性血管舒张。也就是说Δd-IAD 能反映肱动脉的扩张程度[8]。既往研究显示，Δd-IAD 与超声检测的 FMD 程度正相关(r = 0.71, P< 0.01)[8]。因此，Δd-IAD 的降低(即缺血后舒张压差反应减弱)可被解读为血管内皮功能受损的标志。这一方法简便，可用于临床。内皮功能障碍是动脉粥样硬化的早期关键事件，因此，通过Δd-IAD 这一简易指标识别早期内皮功能异常，对于心血管风险的早期评估和干预具有潜在的临床意义。

已知超重是亚健康状态，而肥胖是导致心血管疾病风险的一个重要因素，引发血管功能障碍和心血管疾病。肥胖患者的动脉血管内皮功能下降，这种异常改变与血管周围脂肪组织的异质性表型有关[9]，肥胖患者中血管内皮细胞的排列方式改变与内皮功能损伤有关，因为内皮网络中细胞的分布是决定整体血管反应的关键[10]。即使在儿童阶段，肥胖患者的血管功能障碍程度与 1 型糖尿病的儿童相似[9]。

本研究设想在青年学生阶段，超重和肥胖可以导致动脉血管内皮功能的损害，采用右臂短暂缺血和 d-IAD 的简单方法可以检出这种差异。本研究旨在证实这一设想，进一步证实，即使在青年学生阶段，超重和肥胖也可以导致动脉血管内皮功能的损害；并且验证右臂短暂缺血后的 d-IAD 评价血管内皮功能损害的价值。

1　对象与方法

1.1　对象　选取南昌某大学医学部的 137 名青年男性大学生志愿者作为研究对象，年龄为 16～22 岁，平均年龄(19.09±1.21)岁；通过问卷调查和体格检查，获取基本信息和 BMI。所有参与者无明显心血管疾病，有完整的调查与统计资料。研究方案经南昌大学第二附属医院伦理委员会审查，伦理审批号：医研伦审〔2024〕第(02)号，因为双臂血压测量属于无创性的血压测量项目，获研究对象口头同意。

1.2　血压测量　参与者在研究期间有良好的用餐习惯，定时进餐；保证每天睡眠时间达到 8 h；避免高糖、高脂食物摄入。使用的血压计包括 2 台欧姆龙血压计(HEM-7200, 中国)和水银血压计(XJ11D, 中国)。研究在不同日的同一时间段进行。测量时间统一安排在 20：00—22：00，以尽量减少日内变异的影响。

测压时间：进餐至少 2 h 以上。测血压前 1 h 禁浓茶、咖啡、剧烈运动、憋尿等。受试者于室内 25 ℃休息 10 min[9]，安静状态下，使用 2 台欧姆龙血压计(HEM-7200)对受试者双臂同时测量收缩压和舒张压，连续测量 2 次，每次间隔 1～2 min，取其均值作为基础血压。

右臂缺血后 d-IAD：将袖带固定于右上臂(肘窝上方 2 cm)，袖带充气至高于收缩压 30 mmHg(1 mmHg = 0.133 kPa)，维持 5 min 以导致右臂缺血；之后迅速将袖带放气，记录放气后第 3、4、5 min 时间点血压值，取这三个时间点血压的平均值，作为缺血后血压，计算右臂短暂缺血后的 d-IAD 和缺血前后的 d-IAD 变化值(Δ d-IAD = 缺血后 d-IAD−缺血前 d-IAD)。

1.3　BMI　测量身高和体重。受试者脱去鞋帽、身穿轻薄衣物，使用校准的身高体重测量仪(MSG003S)进行测量。身高精确到 0.1 cm，体重精确到 0.1 kg。BMI = 体重(kg)/身高^2(m^2)。

1.4　评价标准　BMI：18.5～<24 kg/m^2 为正常；24～<28 kg/m^2 为超重；≥ 28 kg/m^2 为肥胖[11]。

运动习惯：本研究中的运动习惯是指近 1 个月的运动。运动指低强度及以上的身体活动，运动强度以代谢当量(metabolic equivalent of task, METs)划分。低强度活动指 1.5 ≤ METs<3.0 的活动(如慢走，瑜伽，台球等)；中等强度活动是 3.0 ≤ METs<6.0 的活动(如快

走，慢跑，太极拳等)；高强度活动是 METs ≥ 6.0 的活动(如快速骑行，篮球比赛)。运动习惯较差：低强度活动日平均运动时长＜30 min；周平均运动时长＜150 min。运动习惯中等：中、低强度活动日平均运动时长为 30 ～＜ 45 min；周平均运动时长为 150 ～＜ 225 min。运动习惯良好：中强度活动日平均运动时长 ≥ 45 min；周平均运动时长 ≥ 225 min，或高强度活动日平均运动时长 ≥ 30 min；周平均运动时长 ≥ 150 min[12]。运动习惯差、运动习惯中等、运动习惯良好分别赋予分值 1，2，3。

家族史：志愿者三代以内直系亲属中含有 1 例及以上糖尿病或高血压患者，即认定具有相应的糖尿病或高血压家族史。

1.5 统计学方法 资料用 Excel2003 建库，应用 SPSS17.0 统计软件处理和分析数据，采用 GraphPad prism10 软件绘图。符合正态分布的计量资料采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示，非正态分布的以中位数(P_{25}，P_{75})表示。计数资料以例数(%)表示。符合正态分布的计量资料，三组间比较采用单因素方差分析，若组间差异有统计学意义，使用 LSD 法进行事后多重比较；非正态分布的计量资料，组间比较采用 Kruskal-Wallis 检验。计数资料组间比较采用 χ^2 检验。相关性分析采用 Spearman 相关分析。采用单因素线性回归分析初步筛选Δd-IAD 的潜在影响因素。潜在影响因素纳入多因素线性回归分析，以明确Δd-IAD 的独立影响因素。在构建多因素线性回归模型时进行共线性分析，根据共线性分析的方差膨胀系数(variance inflation factor，VIF)判断是否存在高相关变量，以 VIF＜10 判定变量不存在多重共线性，剔除存在多重共线性的变量。以 P＜0.05 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 基本信息 与正常组比较，超重组收缩压和舒张压更高，心率也较快。但三组的年龄差异无统计学意义；三组间的运动习惯差异有统计学意义。见表 1。

表 1 不同 BMI 组男性青年学生右臂短暂缺血前的血压和心率等信息

Table 1 Baseline blood pressure, heart rate, and other information of young male students in different BMI groups before transient right arm ischemia

组别 Group	例数 n	年龄(岁) Age (years)	BMI (kg/m^2)	收缩压(mmHg) SBP	舒张压(mmHg) DBP
正常 Normal	53	19.19±1.29	21.30±1.64	113.45±8.24	68.97±5.56
超重 Overweight	44	19.16±1.22	25.75±1.04[a]	118.36±10.28[a]	73.89±5.56[a]
肥胖 Obesity	40	18.90±1.08	30.58±1.94[ab]	117.11±9.62	71.83±5.97[a]
F/χ^2值		0.742	394.264	3.649	9.197
P值		0.478	＜0.001	0.029	＜0.001

组别 Group	心率(次/min) Heart rate (beats/min)	高血压家族史[n(%)] Family history of hypertension	糖尿病家族史[n(%)] Family history of diabetes	运动习惯评分 Exercise habits score
正常 Normal	72.90±8.54	9 (16.98)	7 (13.21)	2.36±0.59
超重 Overweight	78.10±8.89[a]	13 (29.55)	8 (18.18)	1.89±0.58[a]
肥胖 Obesity	73.71±7.97[b]	12 (30.00)	9 (22.50)	1.67±0.69[a]
F/χ^2值	4.985	2.847	1.382	15.118
P值	0.008	0.241	0.501	＜0.001

注：正态分布的计量资料采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示。BMI为体重指数。与正常组比较，[a]P＜ 0.05；与超重组比较，[b]P＜0.05。

The normal-distributed measurement data are expressed as ($\bar{x}\pm s$). Abbrevations: BMI, body mass index; SBP, systolic blood pressure; DBP, diastolic blood pressure. Compared with the normal group, [a]P＜0.05; compared with the overweight group, [b]P＜0.05.

2.2 不同 BMI 患者缺血后 d-IAD 和 Δd-IAD 的差异 三组间的基线 d-IAD 差异无统计学意义(P ＞ 0.05)。然而，在经历 5 min 右臂缺血后，三组间的缺血后 d-IAD 和 Δd-IAD 均出现差异。正常组的 Δd-IAD 最大[中位数(P_{25}，P_{75})：7.33 (3.08，11.42) mmHg]，超重组降低至 3.00 (0.42，6.79) mmHg，肥胖组进一步减小至 1.50 (−1.96，2.83) mmHg。

Kruskal-Wallis 检验显示三组间 Δd-IAD 的总体差异有统计学意义(H = 27.118，P＜0.001)。随后采用 Mann-Whitney U 检验进行两两比较，并对检验水准进行 Bonferroni 校正(校正后检验水准 α = 0.0167)。结果显示，正常组与超重组(U = 637.00，P＜0.001)以及正常组与肥胖组(U = 448.50，P＜0.001)间的差异均有统计学意义；而超重组与肥胖组之间的差异无统计学意

义(U = 633.00, P = 0.027)。这表明，从正常体重到超重状态，Δd-IAD 显著降低，而超重至肥胖状态的变化趋势则相对平缓。见表 2。

表 2　不同 BMI 受试者右臂缺血前、后的 s-IAD 和 d-IAD　[中组数(P_{25}, P_{75})]

Table 2　s-IAD and d-IAD of subjects with different BMI before and after right arm ischemia　median(P_{25}, P_{75})

组别 Group	例数 n	基线s-IAD(mmHg) Baseline s-IAD	缺血后s-IAD(mmHg) Post-ischemia s-IAD	基线d-IAD(mmHg) Baseline d-IAD	缺血后d-IAD(mmHg) Post-ischemia d-IAD	Δd-IAD (mmHg)
正常 Normal	53	4.00 (2.50, 6.00)	4.67 (2.67, 6.00)	3.00 (2.00, 5.25)	10.33 (7.83,14.00)	7.33 (3.08, 11.42)
超重 Overweight	44	3.50 (2.50, 5.78)	3.83 (3.08, 5.25)	4.75 (2.00, 6.88)	8.33 (6.33,10.58)[a]	3.00 (0.42, 6.79)[a]
肥胖 Obesity	40	3.50 (2.50, 5.38)	2.50 (2.00, 4.92)	4.50 (2.50, 6.75)	5.50 (3.33,7.83)[ab]	1.50 (–0.96, 2.83)[a]
H值		2.391	6.814	4.918	22.929	27.118
P值		0.303	0.033	0.086	＜0.001	＜0.001

注：BMI为体重指数；s-IAD为臂间收缩压差值；d-IAD为臂间舒张压差值；Δd-IAD为右臂短暂缺血后的d-IAD 和缺血前后的d-IAD变化值。Bonferroni校正后，与正常组比较，[a]P＜0.0167；与超重组比较，[b]P＜0.0167。

Abbrevations: BMI, body mass index; s-IAD, systolic inter-arm pressure difference; d-IAD, diastolic inter-arm pressure difference; Δd-IAD, the difference between post-ischemic and pre-ischemic d-IAD values. After Bonferroni correction, compared with the normal group, [a]P＜ 0.0167, compared with the overweight group, [b]P＜0.0167.

2.3　BMI 与臂间舒张压的相关性　与缺血前 d-IAD 间存在轻度正相关(r_s = 0.210, P = 0.014)，BMI 与缺血后的 d-IAD 之间存在中度负相关(r_s = –0.433, P＜0.001)。另外，BMI 与Δ d-IAD 呈负相关(r_s = –0.491, P＜0.001)。

2.4　BMI 与 Δd-IAD 关系的单因素、多因素线性回归分析　尽管 Δd-IAD 分布略偏离正态性，但残差分析显示模型拟合良好，且 Spearman 与 Pearson 相关结果高度一致，支持线性回归结果的稳健性。单因素线性回归分析结果显示，BMI 与 Δd-IAD 相关，此外，运动习惯、高血压家族史、糖尿病家族史也与 Δd-IAD 相关。见表 3。

表 3　Δd-IAD 相关因素的单因素线性分析(n = 137)

Table 3　Univariate linear analysis of factors related to Δd-IAD

变量 Variable	B	SE	β	t值	P值
年龄 Age	–0.309	0.369	–0.072	–0.837	0.404
BMI	–0.634	0.094	–0.504	–6.779	＜0.001
缺血后s-IAD Post-ischemia s-IAD	0.109	0.139	0.067	0.781	0.436
运动习惯 Exercise habit	3.535	0.510	0.464	6.091	＜0.001
高血压家族史 Family history of hypertension	–6.027	0.877	–0.509	–6.873	＜0.001
糖尿病家族史 Family history of diabetes	–5.025	1.086	–0.370	–4.627	＜0.001

注：Δd-IAD为右臂短暂缺血后的d-IAD(臂间舒张压差值)和缺血前后的d-IAD变化值；BMI为体重指数；s-IAD为臂间收缩压差值。

Abbrevations: Δd-IAD, the difference between post-ischemic and pre-ischemic d-IAD values; BMI, body mass index; s-IAD, systolic inter-arm pressure difference.

控制年龄、基础血压、运动习惯及家族史等潜在混杂因素的影响，构建多因素线性回归模型。在该模型中，以Δd-IAD 为因变量，以 BMI(连续变量)为核心解释变量，其他变量作为协变量纳入模型进行调整[缺血后臂间收缩压差值(inter-arm systolic blood pressure difference, s-IAD)被保留为协变量，其更能反映缺血后血管状态对Δd-IAD 的潜在影响；模型比较显示其纳入不影响主效应，且避免了与基线 d-IAD 的共线性问题]。结果显示，在调整了年龄、运动习惯、高血压家族史和糖尿病家族史等混杂因素后，BMI 仍与Δd-IAD 呈负相关(标准化系数 β = −0.362, P＜0.001)。此外，高血压家族史也显示出独立的负相关关系(β = −0.313, P＜0.001)。见表 4。

3　讨　论

本研究对象为青年男性学生，该群体虽非动脉粥样硬化性心血管疾病(atherosclerotic cardiovascular disease,

ASCVD)的临床高危人群,但正是评估早期、亚临床血管功能损害的理想窗口期。本研究通过多因素线性回归分析证实,在调整了潜在混杂因素后,BMI 是青年男性学生右臂缺血后Δd-IAD 的独立负性影响因素。这一发现表明,BMI 越高,由缺血激发的血管内皮功能(以Δd-IAD 为表征)越弱。这强烈提示,即使在青年学生阶段,超重和肥胖也已对动脉血管内皮功能造成了可检测的损害,强调了在人生早期阶段控制体重对预防未来心血管疾病的重要性。本研究结果为在该人群中进行早期健康干预提供了证据。

表 4 BMI 与Δ d-IAD 关系的多因素回归分析(n = 137)

Table 4 Multivariate regression analysis of the relationship between BMI and Δd-IAD

变量 Variable	*B*	*SE*	*β*	*t*值	*P*值	容差 Tolerance	VIF
BMI	–0.456	0.096	–0.362	–4.769	＜0.001	0.742	1.347
运动习惯 Exercise habit	0.796	0.632	0.105	1.260	0.210	0.620	1.612
高血压家族史 Family history of hypertension	–3.703	0.952	–0.313	–3.890	＜0.001	0.651	1.513
糖尿病家族史 Family history of diabetes	–1.685	1.068	–0.124	–1.578	0.117	0.691	1.447

注:BMI为体重指数;Δ d-IAD为臂间舒张压差变化值;VIF为方差膨胀系数。VIF＜10,认为变量不存在多重共线性。

Abbrevations: BMI, body mass index; Δd-IAD, the difference between post-ischemic and pre-ischemic d-IAD values; VIF, variance inflation factor. A VIF value of less than 10 is considered to indicate no problematic multicollinearity.

右臂短暂缺血后诱发的Δd-IAD 被既往研究证实是评估血管内皮功能的一个有效替代指标。其生理学基础是反应性充血。当右臂袖带放气后,血流恢复产生的剪切应力会刺激血管内皮细胞释放一氧化氮等舒血管物质,导致该侧血管扩张、阻力下降,从而引起右臂舒张压相较于左臂更大幅度的下降(即Δd-IAD 增大)。研究证实,由单臂缺血引发的Δd-IAD 与超声检测的金标准——FMD 具有正相关关系[8]。因此,Δd-IAD 的减小,可以合理地解释为内皮依赖性的血管舒张功能受损。本研究表明,BMI 增加可以导致右臂 5 min 缺血后的Δd-IAD 降低,两者呈负相关,故可以推测 BMI 增高的青年学生的动脉内皮功能已有下降,也就是缺血后的充血反应能力低下。

肥胖患者的动脉血管内皮功能下降已有许多研究证实。这种异常改变与血管周围脂肪组织的异质性表型有关[9],也与血管内皮细胞的排列方式改变有关[10]。肥胖者存在的脂肪组织炎症、一氧化氮-生物利用度、胰岛素抵抗和氧化低密度脂蛋白可以导致内皮功能障碍[13-14]。即使肥胖儿童的血管功能障碍程度也与 1 型糖尿病的儿童相似[9]。本研究表明,即使是在尚未出现临床心血管疾病的年轻群体中,由超重和肥胖所表征的 BMI 升高,已与内皮依赖性的血管反应性功能指标(Δd-IAD)的衰减密切相关。

高血压有一定程度的遗传度[15]。本研究发现在男性青年学生中,在调整了 BMI 的影响后,高血压家族史仍显示出与Δd-IAD 降低的独立关联,但其影响程度不如 BMI 大。有高血压史的青年学生,即使目前血压正常,但已有一定程度的动脉内皮功能障碍。可以推测,其中部分青年学生以后可能出现高血压,提示动脉内皮功能障碍在高血压发生之前就已经存在。对于有高血压家族史的青年学生,预防超重和肥胖就显得更为重要。

虽然单因素分析显示糖尿病家族史是右臂短暂缺血后的 d-IAD 降低的一个因素,但是多因素分析将糖尿病家族史排除在外,表明其影响程度不如高血压家族史强,也可能与糖尿病家族史的例数较少有关。以往研究表明糖尿病患者的子代较常人更易存在内皮功能障碍。关于糖尿病家族史与右臂短暂缺血后臂间舒张压降低的关联值得今后扩大样本量的深入观察。

值得注意的是,良好的运动习惯在单因素分析中显示与Δd-IAD 相关,是动脉血管内皮功能的一个保护因素,但是多因素分析没有证实运动习惯是独立因素。这一结果的合理解释是:运动对血管内皮的有益影响很大程度是通过降低 BMI 或改善体成分来实现的。换言之,可能常运动者的 BMI 更低,运动习惯的作用被 BMI 掩盖。这从另一个侧面印证了控制体重是改善血管健康的核心环节。与对照组比较,肥胖者的肱动脉扩张明显受损,但运动训练可显著改善肱动脉扩张,即使 8 周的运动训练没有明显降低皮下脂肪质量或体重指数[16]。

本研究中青年学生的年龄范围为 16～22 岁,没有显示年龄与右臂短暂缺血后的Δd-IAD 降低有关。目前有血管老化的一种提法,血管老化是指随着年龄增加,血管结构和功能降低。血管老化可用 FMD 和 Δd-IAD 的方法诊断。本研究的结果证明,即使在青年学生中,超重和肥胖使血管提前“老化”,与此前研究结果相呼应[17-18],应当引起广泛的关注。

与正常组比较,超重组收缩压和舒张压稍高,心率

也较快。这表现可能导致两臂舒张压差(d-IAD)增加，因为 d-IAD 与基础血压相关，可以解释基线时 BMI 与缺血前 d-IAD 间存在轻度正相关。

本研究结果为在青年学生人群中进行早期健康干预提供了证据。但本实验的样本量较小，可能存在一定取样偏差。研究为横断面性质，需要进一步扩大样本量，进行纵向研究。另外，本次研究受试者仅纳入男性青年学生，这是考虑到女性月经周期对相关内皮功能的影响。此结论向女性、中老年或其他种族人群的外推性仍需未来设计更完善、样本量更大的研究加以验证。另外，本研究没有测定参与者的血脂和血糖水平，如有这些资料则可进行更为详细的分析。

利益冲突声明　所有作者均声明不存在任何潜在的利益冲突

作者贡献声明　苏海负责研究概念与设计、研究监督、论文撰写、稿件最终审阅与批准；刘光耀负责统计分析、论文撰写、稿件修改；邓嘉晟，曾嘉乐，吴宇强负责数据收集、数据整理。所有作者均已阅读并同意稿件发表

本主题国内外已有的结论

• 右臂 5 min 缺血导致的Δd-IAD 之间存负相关关系。

• 较高的 BMI 是动脉血管内皮功能下降的一个原因。

本文特色与见解

• 在青年男性学生中，BMI 和高血压病家族史与右臂 5 min 缺血导致的Δd-IAD 之间呈负相关。

参考文献

[1] Corretti MC, Anderson TJ, Benjamin EJ, et al. Guidelines for the ultrasound assessment of endothelial-dependent flow-mediated vasodilation of the brachial artery: a report of the International Brachial Artery Reactivity Task Force[J]. J Am Coll Cardiol, 2002, 39(2): 257-265.

[2] Mućka S, Miodońska M, Jakubiak GK, et al. Endothelial function assessment by flow-mediated dilation method: a valuable tool in the evaluation of the cardiovascular system[J]. Int J Environ Res Public Health, 2022, 19(18): 11242.

[3] Maruhashi T, Kajikawa M, Kishimoto S, et al. Diagnostic criteria of flow-mediated vasodilation for normal endothelial function and nitroglycerin-induced vasodilation for normal vascular smooth muscle function of the brachial artery[J]. J Am Heart Assoc, 2020, 9(2): e013915.

[4] Hong D, Wang J, Su H, et al. One arm exercise induces significant interarm diastolic blood pressure difference[J]. Blood Press Monit, 2011, 16(3): 134-137.

[5] 赵敏, 沈小梅, 张红灵, 等. 原发性高血压患者血清胱抑素 C 与血管内皮功能的相关性[J]. 中华高血压杂志, 2015, 23(9): 832-835.

[6] 陆红红, 谢丽娟, 王庆航, 等. 中青年原发性高血压患者单核细胞与高密度脂蛋白胆固醇比值及血流介导的血管舒张功能与动脉硬化的关系[J]. 中华高血压杂志, 2023, 31(7): 642-648.

[7] Hu WT, Li JX, Wang JW, et al. Aging attenuates the interarm diastolic blood pressure difference induced by one-arm exercise[J]. Blood Press Monit, 2013, 18(2): 107-110.

[8] Hu W, Li J, Su H, et al. The inter-arm diastolic blood pressure difference induced by one arm ischemia: a new approach to assess vascular endothelia function[J]. PLoS One, 2014, 9(1): e84765.

[9] Koenen M, Hill MA, Cohen P, et al. Obesity, adipose tissue and vascular dysfunction[J]. Circ Res, 2021, 28(7): 951-968.

[10] Wilson C, Zhang X, Lee MD, et al. Disrupted endothelial cell heterogeneity and network organization impair vascular function in prediabetic obesity[J]. Metabolism, 2020, 111: 154340.

[11] 中国肥胖问题工作组. 中国成人超重和肥胖症预防与控制指南 (节录)[J]. 营养学报, 2004, 26(1): 1-4.

[12] Bull FC, Al-Ansari SS, Stuart B, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour[J]. Br J Sports Med, 2020, 54(24): 1451-1462.

[13] Peña AS, Wiltshire E, MacKenzie K, et al. Vascular endothelial and smooth muscle function relates to body mass index and glucose in obese and nonobese children[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2006, 91(11): 4467-4471.

[14] Engin A. Endothelial dysfunction in obesity[J]. Adv Exp Med Biol, 2017, 960: 345-379.

[15] Wilson C, Zhang X, Buckley C, et al. Increased vascular contractility in hypertension results from impaired endothelial calcium signaling[J]. Hypertension, 2019, 74(5): 1200-1214.

[16] Manosroi W, Williams GH. Genetics of human primary hypertension: focus on hormonal mechanisms[J]. Endocr Rev, 2019, 40(3): 825-856.

[17] Xia N, Li H. The role of perivascular adipose tissue in obesity-induced vascular dysfunction[J]. Br J Pharmacol, 2017, 174(20): 3425-3442.

[18] Climie RE, Alastruey J, Mayer CC, et al. Vascular ageing: moving from bench towards bedside[J]. Eur J Prev Cardiol, 2023, 30(11): 1101-1117.

收稿日期：2025-08-03　**修回日期**：2025-12-30
录用日期：2026-02-02　**责任编辑**：刘莉