

人体测量指标及衍生指标与肥胖青少年儿童高尿酸血症的相关性分析

陈润鸿^{1,2}, 徐俊杰^{1,2}, 胡琳燕³, 李媛³, 赵燕³, 李春君⁴, 吕朝晖¹, 臧丽^{1*}

¹解放军总医院第一医学中心内分泌科, 北京 100853; ²解放军医学院研究生院, 北京 100853; ³解放军总医院第一医学中心儿科, 北京 100853; ⁴天津市人民医院(南开大学第一附属医院)健康管理中心和内分泌科, 天津 300122

[中图分类号] R589.9 [文献标志码] A [DOI] 10.11855/j.issn.0577-7402.1880.2025.1226

[声明] 本文所有作者声明无利益冲突

[引用本文] 陈润鸿, 徐俊杰, 胡琳燕, 等. 人体测量指标及衍生指标与肥胖青少年儿童高尿酸血症的相关性分析[J]. 解放军医学杂志, 2026, 51(1): 24-31.

[收稿日期] 2025-09-09

[录用日期] 2025-12-16

[上线日期] 2025-12-26

[摘要] **目的** 探讨人体测量指标及衍生指标与肥胖青少年儿童高尿酸血症(HUA)的相关性。**方法** 收集2023年2—12月来自北京市房山区长阳第二小学、长阳中心小学、良乡第二中学、良乡第三中学参加“儿童肥胖代谢性疾病的流行病学和监测预警体系研究”项目的120例肥胖青少年儿童的临床资料进行回顾性分析。按是否患有HUA将受试者分为HUA组($n=63$)与非HUA组($n=57$)。记录并比较两组受试者的临床资料特征, 包括身高、体重、腰围、体重指数(BMI)等基本信息, 空腹静脉血中的尿酸、血脂、胰岛素, 以及计算的脂质蓄积指数(LAP)、心脏代谢指数(CMI)、三重体重指数(TWI)、内脏脂肪指数(VAI)、甘油三酯(TG)与高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)比值(TG/HDL-C比值)等衍生指标。采用logistic回归分析探讨各指标与HUA发生的相关性, 采用受试者操作特征(ROC)曲线及曲线下面积(AUC)评价其对HUA的诊断价值, 并采用限制性立方样条(RCS)分析LAP与HUA发生风险的剂量-反应关系。**结果** 与非HUA组比较, HUA组BMI、TG、胰岛素、LAP、CMI、TWI、VAI、TG/HDL-C比值水平明显升高, 差异有统计学意义($P<0.05$)。在校正年龄、性别后, logistic回归分析显示体重、BMI、TG、胰岛素、LAP、CMI、TWI、VAI、TG/HDL-C比值是HUA发生的危险因素($P<0.05$)。ROC曲线分析结果显示, LAP的AUC值最大, 为0.69(95%CI 0.59~0.78), 其特异度为0.51(95%CI 0.39~0.63), 敏感度为0.84(95%CI 0.75~0.92)。RCS分析结果显示, LAP与HUA发生风险存在明显的非线性剂量-反应关系($P_{\text{非线性}}<0.05$)。**结论** 体重、BMI、TG、胰岛素、LAP、CMI、TWI、VAI、TG/HDL-C比值与HUA的发生密切相关。其中, LAP可作为潜在的肥胖青少年儿童HUA的预警指标。

[关键词] 肥胖青少年儿童; 高尿酸血症; 人体测量指标; 脂质蓄积指数

Correlation of anthropometric and derived indicators with hyperuricemia in obese children and adolescents

Chen Run-Hong^{1,2}, Xu Jun-Jie^{1,2}, Hu Lin-Yan³, Li Yuan³, Zhao Yan³, Li Chun-Jun⁴, Lyu Zhao-Hui¹, Zang Li^{1*}

¹Department of Endocrinology, ²Department of Pediatrics, the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

²Graduate School of Chinese PLA Medical School, Beijing 100853, China

⁴Department of Health Management Center and Endocrinology, Tianjin People's Hospital (the First Affiliated Hospital of Nankai University), Tianjin 300122, China

*Corresponding author, E-mail: zangli301@163.com

This work was supported by the National Key Research and Development Program of China (2021YFC2701900)

[Abstract] **Objective** To investigate the correlation between anthropometric and derived indicators and hyperuricemia (HUA) in obese children and adolescents. **Methods** A retrospective analysis was conducted on clinical data from 120 obese children

[基金项目] 国家重点研发计划(2021YFC2701900)

[作者简介] 陈润鸿, 硕士研究生, 主要从事内分泌代谢疾病方面的研究

[通信作者] 臧丽, E-mail: zangli301@163.com

and adolescents in Changyang No. 2 Primary School, Changyang Central Primary School, Liangxiang No. 2 Middle School, and Liangxiang No. 3 Middle School in Fangshan District, Beijing, who participated in the "Epidemiology and Monitoring Early Warning System for Childhood Obesity-Related Metabolic Diseases" project from February to December 2023. According to whether they had HUA, the subjects were divided into HUA group ($n=63$) and non-HUA group ($n=57$). The clinical characteristics of the two groups were documented and compared, including basic information such as height, weight, waist circumference, and body mass index (BMI), as well as levels of uric acid, blood lipids, and insulin, and calculated derivative indices including the lipid accumulation product (LAP), cardiometabolic index (CMI), tri-ponderal mass index (TWI), visceral adiposity index (VAI), and the triglyceride (TG)/high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) ratio. Logistic regression analysis was used to explore the association between various indices and the occurrence of HUA. The diagnostic value of each index for HUA was evaluated using the receiver operating characteristic (ROC) curve and the area under the curve (AUC). Restricted cubic splines (RCS) were applied to analyze the dose-response relationship between LAP and the risk of HUA. **Results** Compared with non-HUA group, HUA group showed significantly higher levels of BMI, TG, insulin, LAP, CMI, TWI, VAI, and the TG/HDL-C ratio ($P<0.05$). After adjusted age and gender, logistic regression analysis indicated that weight, BMI, TG, insulin, LAP, CMI, TWI, VAI, and the TG/HDL-C ratio were risk factors for HUA ($P<0.05$). ROC curve analysis suggested that LAP had the largest AUC value of 0.69 (95%CI 0.59-0.78), with a specificity of 0.51 (95%CI 0.39-0.63) and a sensitivity of 0.84 (95%CI 0.75-0.92). RCS analysis revealed a significant nonlinear dose-response relationship between LAP and the risk of HUA (P for nonlinearity <0.05). **Conclusions** Weight, BMI, TG, insulin, LAP, CMI, TWI, VAI, and the TG/HDL-C ratio are closely associated with HUA. Among these, LAP is a potential early warning indicator for HUA in obese children and adolescents.

[Key words] obese children and adolescents; hyperuricemia; anthropometric indices; lipid accumulation product

尿酸由饮食摄入及体内分解的嘌呤化合物在肝脏代谢转化产生，主要通过肾脏及消化道排泄，当尿酸生成过多和(或)排泄减少导致尿酸产生和排泄不平衡时可引发高尿酸血症(hyperuricemia, HUA)^[1]。一项涵盖 54 580 例 3~19 岁参与者的研究表明，我国青少年儿童 HUA 的总患病率为 23.3%，且随年龄增长而增高^[2]。青少年儿童 HUA 与高血压、心血管疾病、2 型糖尿病的患病密切相关，且 HUA 青少年儿童患者的死亡风险较一般青少年儿童增加^[3-6]。因此，青少年儿童 HUA 应当引起足够重视。韩国一项包含 1256 例 10~18 岁青少年儿童的横断面研究显示，肥胖受试者 HUA 患病率(22.4%)明显高于非肥胖受试者(7.7%)^[7]。Lin 等^[8]利用机器学习方法，从肥胖人群中识别高尿酸血症亚群，提示肥胖与 HUA 密切相关。为了描述个人是否处于肥胖状态，除了传统的人体测量指标，如体重指数(BMI)、腰围、腰高比，研究者还开发了诸如脂质蓄积指数(LAP)、心脏代谢指数(CMI)、三重体重指数(TWI)、内脏脂肪指数(VAI)等新型衍生指标。近年来研究显示，人体测量指标及衍生指标(如 LAP、VAI)与成人 HUA 密切相关^[9-10]。然而，目前针对人体测量指标及衍生指标与肥胖青少年儿童 HUA 关系的研究尚少。因此，本研究探讨人体测量指标及衍生指标与肥胖青少年儿童 HUA 的相关性，旨在寻找经济、准确的预警指标，为 HUA 防治提供参考。

1 资料与方法

1.1 研究对象 本研究为回顾性研究。收集 2023 年

2—12 月来自北京市房山区长阳第二小学、长阳中心小学、良乡第二中学、良乡第三中学参加“儿童肥胖代谢性疾病的流行病学和监测预警体系研究”项目的 661 名肥胖青少年儿童，经严格纳入、排除标准筛选后，最终纳入 120 名。其中，青少年儿童高尿酸血症(HUA)诊断标准为：(1)血清尿酸水平 1~12 月龄 $>500 \mu\text{mol/L}$ ，1~10 岁 $>320 \mu\text{mol/L}$ ，11~15 岁男童 $>470 \mu\text{mol/L}$ ，11~15 岁女童 $>350 \mu\text{mol/L}$ ；(2)15 岁以上同成人标准($>420 \mu\text{mol/L}$)^[11]。根据《中国儿童肥胖诊断评估与管理专家共识》，6~18 岁儿童参考《学龄青少年儿童超重与肥胖筛查》中 6~18 岁学龄儿童筛查超重与肥胖的性别年龄 BMI 参考界值点^[12-13]，判定受试者是否诊断为肥胖。纳入标准：(1)年龄 6~17 岁；(2)能配合查体、采血，资料完整；(3)符合我国 BMI 定义下诊断肥胖者。排除标准：(1)男性受试者腰围 $<65 \text{ cm}$ ，女性受试者腰围 $<58 \text{ cm}$ ；(2)基本信息不正确且无法纠正；(3)患有严重疾病，如先天性心脏病等心血管疾病、重度支气管哮喘等呼吸性疾病、活动期恶性肿瘤、其他多器官受损疾病；(4)合并严重感染疾病；(5)有精神疾病，或认知障碍等难以配合研究；(6)服用降尿酸药物。将最终纳入的 120 名肥胖儿童按是否患有 HUA 分为 HUA 组 ($n=63$) 与非 HUA 组 ($n=57$)。本研究获解放军总医院第一医学中心伦理委员会审批(S2021-665-01)，所有参与者和(或)其父母或监护人在研究开始前签署知情同意书。

1.2 数据收集

1.2.1 人体测量指标 由经过统一严格培训的医师

表1 两组肥胖青少年儿童的基线特征比较

Tab.1 Comparison of baseline characteristics between the two groups of obese children and adolescents

项目	HUA组(n=63)	非HUA组(n=57)	t/χ ² /U	P
性别[例(%)]			0.052	0.820
女	22(34.9)	22(38.6)		
男	41(65.1)	35(61.4)		
BMI[kg/m ² , M(Q ₁ , Q ₃)]	28.60(26.20, 31.60)	26.90(23.00, 29.80)	-2.383	0.017
年龄[岁, M(Q ₁ , Q ₃)]	13.00(9.59, 13.61)	13.00(9.44, 13.33)	-0.738	0.462
身高[m, M(Q ₁ , Q ₃)]	1.66(1.51, 1.71)	1.61(1.45, 1.73)	-1.188	0.236
体重[kg, M(Q ₁ , Q ₃)]	81.20(61.60, 93.80)	69.40(49.10, 87.80)	-1.921	0.055
TC[mmol/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	4.15(3.85, 4.92)	4.16(3.76, 4.50)	-0.865	0.389
HDL-C[mmol/L, $\bar{x}\pm s$]	1.22±0.22	1.28±0.23	1.380	0.172
LDL-C[mmol/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	2.51(2.14, 2.91)	2.50(2.04, 2.77)	-0.673	0.503
TG[mmol/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	1.19(0.97, 1.69)	1.00(0.73, 1.32)	-2.502	0.012
血清胰岛素[μU/ml, M(Q ₁ , Q ₃)]	19.59(11.66, 27.46)	13.81(8.72, 24.50)	-2.386	0.017
腰围[cm, M(Q ₁ , Q ₃)]	90.00(81.90, 98.00)	86.00(76.20, 95.00)	-1.698	0.090
WHtR($\bar{x}\pm s$)	0.55±0.06	0.54±0.05	-1.300	0.198
TWI[kg/m ³ , M(Q ₁ , Q ₃)]	17.38(15.76, 19.51)	16.48(15.40, 17.98)	-2.149	0.032
BRI($\bar{x}\pm s$)	4.46±1.29	4.16±0.92	-1.500	0.136
WWI[M(Q ₁ , Q ₃)]	10.37(10.00, 10.87)	10.48(10.00, 10.97)	0.539	0.592
CI[M(Q ₁ , Q ₃)]	1.22(1.14, 1.28)	1.21(1.17, 1.26)	0.032	0.977
LAP[cm·mmol/L, M(Q ₁ , Q ₃)]	31.60(21.08, 42.57)	18.58(14.58, 31.36)	-3.526	<0.001
CMI[M(Q ₁ , Q ₃)]	0.57(0.39, 0.77)	0.44(0.28, 0.59)	-2.894	0.004
VAI[M(Q ₁ , Q ₃)]	1.52(1.02, 1.95)	1.11(0.73, 1.71)	-2.523	0.012
CVAI[M(Q ₁ , Q ₃)]	62.98(34.39, 105.99)	41.04(16.55, 96.22)	-1.905	0.057
TG/HDL-C比值[M(Q ₁ , Q ₃)]	0.98(0.74, 1.38)	0.81(0.50, 1.14)	-2.439	0.015

HUA. 高尿酸血症; BMI. 体重指数; TC. 总胆固醇; HDL-C. 高密度脂蛋白胆固醇; LDL-C. 低密度脂蛋白胆固醇; TG. 甘油三酯; WHtR. 腰围身高比; TWI. 三重体重指数; BRI. 身体圆柱指数; WWI. 体重调整后的锥度指数; CI. 锥度指数; LAP. 脂质蓄积指数; CMI. 心脏代谢指数; VAI. 内脏脂肪指数; CVAI. 中国内脏脂肪指数; TG/HDL-C比值. 甘油三酯与高密度脂蛋白胆固醇比值

(95%CI 0.53~0.73)](表3)。

(续表)

表2 肥胖青少年儿童人体测量指标及衍生指标与HUA的logistic回归分析

Tab.2 Logistic regression analysis of anthropometric and derived indicators with HUA in obese children and adolescents

变量	统计指标	未校正模型	校正年龄、性别的模型
身高	OR(95%CI)	1.02(0.99~1.04)	1.03(0.98~1.08)
	Z	1.27	1.14
	P	0.205	0.253
腰围	OR(95%CI)	1.03(1.00~1.06)	1.03(0.99~1.08)
	Z	1.77	1.64
	P	0.077	0.101
BMI	OR(95%CI)	1.11(1.03~1.22)	1.18(1.06~1.33)
	Z	2.56	2.77
	P	0.011	0.006
体重	OR(95%CI)	1.02(1.00~1.04)	1.05(1.02~1.09)
	Z	2.17	2.74
	P	0.030	0.006

变量	统计指标	未校正模型	校正年龄、性别的模型
TG	OR(95%CI)	2.28(1.29~4.58)	2.39(1.32~4.96)
	Z	2.54	2.57
	P	0.011	0.010
血清胰岛素	OR(95%CI)	1.03(1.01~1.06)	1.03(1.00~1.07)
	Z	2.15	2.06
	P	0.031	0.039
LAP	OR(95%CI)	1.03(1.01~1.06)	1.04(1.01~1.06)
	Z	2.71	2.69
	P	0.007	0.007
TWI	OR(95%CI)	1.21(1.04~1.43)	1.22(1.04~1.45)
	Z	2.33	2.28
	P	0.020	0.022
CMI	OR(95%CI)	4.72(1.57~18.21)	4.83(1.57~19.16)
	Z	2.47	2.45
	P	0.014	0.014
VAI	OR(95%CI)	1.68(1.12~2.80)	1.74(1.14~2.95)
	Z	2.22	2.28
	P	0.027	0.023

(续表)

变量	统计指标	未校正模型	校正年龄、性别的模型
TG/ HDL-C 比值	OR(95%CI)	2.13(1.20~4.33)	2.15(1.20~4.44)
	Z	2.30	2.29
	P	0.021	0.022
LDL-C	OR(95%CI)	0.95(0.55~1.63)	0.95(0.55~1.63)
	Z	-0.19	-0.21
	P	0.850	0.835
HDL-C	OR(95%CI)	0.32(0.06~1.60)	0.36(0.06~1.89)
	Z	-1.37	-1.20
	P	0.171	0.231
TC	OR(95%CI)	0.95(0.61~1.47)	0.96(0.62~1.49)
	Z	-0.22	-0.18
	P	0.828	0.856
WHtR	OR(95%CI)	76.77(0.10~77 866.24)	58.34(0.07~62 745.13)
	Z	1.27	1.18
	P	0.205	0.239
WWI	OR(95%CI)	0.88(0.62~1.22)	0.90(0.61~1.30)
	Z	-0.78	-0.56
	P	0.437	0.578
BRI	OR(95%CI)	1.28(0.93~1.80)	1.26(0.91~1.78)
	Z	1.46	1.38
	P	0.144	0.169
CI	OR(95%CI)	0.68(0.03~14.84)	0.66(0.03~15.52)
	Z	-0.24	-0.26
	P	0.807	0.797

(续表)

变量	统计指标	未校正模型	校正年龄、性别的模型
CVAI	OR(95%CI)	1.01(1.00~1.02)	1.01(1.00~1.02)
	Z	1.86	1.93
	P	0.064	0.053

HUA. 高尿酸血症; BMI. 体重指数; TG. 甘油三酯; LAP. 脂质蓄积指数; TWI. 三重体重指数; CMI. 心脏代谢指数; VAL. 内脏脂肪指数; TG/HDL-C 比值. 甘油三酯与高密度脂蛋白胆固醇比值; LDL-C. 低密度脂蛋白胆固醇; HDL-C. 高密度脂蛋白胆固醇; TC. 总胆固醇; WHtR. 腰围身高比; WWI. 体重调整后的锥度指数; BRI. 身体圆柱指数; CI. 锥度指数; CVAI. 中国内脏脂肪指数

2.4 LAP与HUA发生风险的剂量-反应关系 上述分析表明, LAP是HUA发生重要的相关因素, 且具有最佳的诊断效能。因此, 应用限制性立方样条对LAP水平与HUA发生风险的剂量-反应关系进一步分析; 结果显示, 随着LAP水平升高, HUA的患病风险呈现持续上升趋势, 存在明显的非线性剂量-反应关系($P_{\text{非线性}} < 0.05$, 图1)。

3 讨论

近年来, 随着人们饮食结构的改变, HUA的患

表3 肥胖青少年儿童人体测量指标及衍生指标对HUA的诊断效能比较

Tab.3 Comparison of the diagnostic efficacy of anthropometric and derived indicators for HUA in obese children and adolescents

变量	AUC(95%CI)	截断值	特异度(95%CI)	敏感度(95%CI)
LAP	0.69(0.59~0.78)	18.66	0.51(0.39~0.63)	0.84(0.75~0.92)
CMI	0.65(0.56~0.75)	0.5	0.65(0.53~0.77)	0.67(0.56~0.78)
VAI	0.63(0.53~0.73)	1.14	0.56(0.44~0.68)	0.70(0.59~0.81)
TG	0.63(0.53~0.73)	1.02	0.54(0.42~0.67)	0.71(0.60~0.83)
TG/HDL-C 比值	0.63(0.53~0.73)	0.52	0.28(0.18~0.40)	0.92(0.84~0.98)
血清胰岛素	0.63(0.53~0.73)	16.75	0.61(0.49~0.74)	0.63(0.51~0.75)
BMI	0.63(0.53~0.73)	25.75	0.44(0.32~0.58)	0.79(0.70~0.89)
TWI	0.61(0.51~0.72)	18.16	0.79(0.68~0.89)	0.44(0.32~0.57)
体重	0.60(0.50~0.70)	82.95	0.68(0.56~0.81)	0.49(0.37~0.62)
CVAI	0.60(0.50~0.70)	28.18	0.40(0.28~0.53)	0.83(0.73~0.92)
腰围	0.59(0.49~0.69)	86.5	0.51(0.37~0.63)	0.67(0.56~0.78)
BRI	0.56(0.46~0.67)	4.94	0.82(0.72~0.91)	0.33(0.22~0.44)
身高	0.56(0.46~0.67)	1.65	0.63(0.51~0.75)	0.52(0.40~0.65)
WHtR	0.56(0.46~0.66)	0.58	0.81(0.70~0.89)	0.33(0.22~0.46)
TC	0.55(0.44~0.65)	4.67	0.86(0.77~0.95)	0.37(0.25~0.49)
年龄	0.54(0.44~0.64)	13.79	0.86(0.75~0.95)	0.24(0.14~0.35)
LDL-C	0.54(0.43~0.64)	2.62	0.67(0.54~0.79)	0.48(0.35~0.60)
CI	0.50(0.39~0.60)	1.32	0.96(0.91~1.00)	0.16(0.06~0.25)
WWI	0.47(0.37~0.58)	11.4	0.89(0.81~0.96)	0.16(0.08~0.25)
HDL-C	0.44(0.34~0.54)	1.84	1.00(1.00~1.00)	0.02(0~0.05)

HUA. 高尿酸血症; BMI. 体重指数; TC. 总胆固醇; HDL-C. 高密度脂蛋白胆固醇; LDL-C. 低密度脂蛋白胆固醇; TG. 甘油三酯; WHtR. 腰围身高比; TWI. 三重体重指数; BRI. 身体圆柱指数; WWI. 体重调整后的锥度指数; CI. 锥度指数; LAP. 脂质蓄积指数; CMI. 心脏代谢指数; VAI. 内脏脂肪指数; CVAI. 中国内脏脂肪指数; TG/HDL-C 比值. 甘油三酯与高密度脂蛋白胆固醇比值

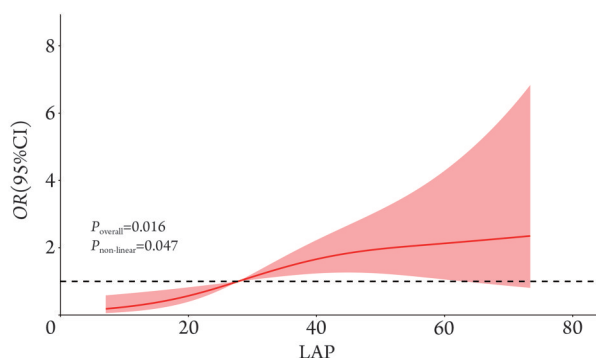


图1 肥胖青少年儿童LAP与HUA发生风险的剂量-反应关系

Fig. 1 Dose-response relationship between LAP and the risk of HUA in obese children and adolescents

LAP. 脂质蓄积指数; HUA. 高尿酸血症

病率逐年增高,在代谢性疾病中仅次于糖尿病^[1]。患有HUA的青少年儿童,高血压、高血脂、肾功能不全等多种疾病的患病风险增加,而肥胖是HUA的重要危险因素之一^[23]。人体测量指标及衍生指标,因其简便性、准确性,被广泛应用于成人HUA的筛查和早期诊断,但在肥胖青少年儿童人群中的应用较少。因此,为及早识别及预警,本研究分析了人体测量指标及衍生指标与肥胖青少年儿童HUA的关系。

世界卫生组织将肥胖定义为对健康产生不良影响的异常或者过度脂肪蓄积^[24]。研究表明,成人肥胖与HUA密切相关。一项针对8866名30~60岁北京体检人群的横断面研究显示,超重(BMI 24~28 kg/m²)和肥胖(BMI≥28 kg/m²)人群的HUA患病风险明显增加^[25]。此外,有研究表明,减轻体重,尤其是中至大幅减重(≥5 kg),可明显降低血尿酸水平^[26]。对于青少年儿童,肥胖亦与HUA密切相关。Liu等^[27]通过对1329例2~17岁肥胖儿童青少年的横断面研究提出,儿童期HUA与BMI-Z评分所表征的肥胖明显相关。目前,BMI与TWI已经被证明是可作为青少年儿童肥胖的筛查指标^[12,28]。综合性别、腰围及TG的LAP,综合TG、HDL-C及腰高比的CMI,综合性别、腰围、BMI、TG及HDL-C的VAI等指标,则是近年来出现的反映肥胖(尤其是内脏肥胖)的衍生指标^[18-20]。已有研究发现,成人中的这些衍生指标较传统肥胖指标更能预测HUA。杨媛等^[29]及张换想等^[30]分别通过纳入7848例和32374例受试者,论证了在中国成年人中LAP、CMI对HUA的良好预测能力;且已有研究显示二者与HUA的独立相关^[31-32]。Dong等^[33]在对11929例成人的研究中发现,VAI较BMI对HUA的预测价值更优。此外,TG/HDL-C比值作为胰岛素抵抗标志物^[22],在云南的成人人群中

与血清尿酸呈近似线性正相关^[34]。Hou等^[35]在兰州成人人群中证实,TG与HUA独立相关。但在青少年儿童人群中未见相关的研究。本研究发现,HUA组BMI、TG、胰岛素、LAP、CMI、TWI、VAI、TG/HDL-C比值明显高于非HUA组,且在校正年龄、性别后,logistic回归分析结果显示,上述指标与HUA的发生密切相关。进一步ROC曲线分析显示,LAP对HUA的诊断效能最佳,RCS分析提示LAP与HUA的患病风险存在持续上升的非线性剂量-反应关系。此外,对热卡填充前信息完整的数据进行敏感性分析发现,LAP仍与HUA的发生独立相关(OR=1.03,95%CI 1.01~1.06,P<0.05),且诊断效能突出(AUC=0.66,95%CI 0.55~0.76)。上述各指标的AUC值均未超过0.7,考虑该结果与HUA的复杂性相关。HUA的患病风险受遗传变异、环境因素、基因-环境相互作用,以及年龄、性别和体重等内在因素的共同影响^[36]。而人体测量指标及衍生指标主要反映肥胖及其相关的代谢负担,无法涵盖所有的致病途径。因此,单一指标的诊断效能存在理论上限,很难达到较高的水平。我国一项包含31个省市成人的横断面研究发现,LAP在总人群中对HUA诊断的AUC值为0.6835^[37],与本研究结果相近。但这并不完全否认LAP的临床价值。本研究探讨的指标(如BMI、腰围、LAP等)的核心价值在于作为初级、快速的筛查工具,而非精确的诊断工具。对于一个适用于大规模人群筛查的指标而言,LAP的AUC指数可达0.69,表明其在肥胖青少年中识别HUA高危人群方面已具备良好的应用潜力,可作为有效的预警信号。综上,LAP是肥胖青少年儿童HUA潜在的最佳预警指标。然而,本研究暂未观察到性别在非HUA组与HUA组的组间差异,亦未发现腰围、WHtR与HUA的独立相关性,这与目前的一些研究结果不一致^[38-40],可能的原因是研究对象和方法不同。此外,本研究通过logistic回归观察到WHtR的效应估计存在不稳定现象(置信区间较宽),这可能是由于目前数据中存在局部分离现象。

无论在成人还是青少年儿童中,肥胖均与HUA明显相关。王煜颖等^[41]发现,肥胖可能通过脂肪异位沉积于肾髓质,从而减少尿酸的排泄、增高黄嘌呤氧化还原酶活性使生成尿酸过度、上调尿酸盐转运体1和葡萄糖转运蛋白9表达使尿酸重吸收增加、促进脂肪酸代谢,从而产生大量ATP和游离脂肪酸等,最终导致HUA。此外,胰岛素抵抗激活肾小管Na⁺-H⁺泵,促进尿酸与钠离子的协同重吸收、减少尿酸排泄量,进一步促进HUA的发生^[42]。BMI虽然广泛用于肥胖筛查,但它不能区分脂肪与肌肉质量,也不能考虑身体脂肪分布的差异^[43]。LAP、CMI、

VAI通过结合性别、腰围、血脂水平、BMI等指标,被证实可更好地反映内脏肥胖及脂肪异位沉积^[44]。内脏脂肪具有较强的脂肪分解能力,可使血液游离脂肪酸快速增加,增强肝脏磷酸核糖焦磷酸(PRPP)合成酶活性,促进嘌呤从头合成途径,从而导致尿酸生成进一步增加^[45]。这可能是LAP、CMI、VAI比BMI更好识别HUA的原因。

杨媛等^[29]发现,LAP对HUA的预测效能较腰围、BMI、WHR、BRI、VAI等传统人体测量指标及衍生指标更好。本研究也观察到相似的现象,即在纳入的所有人体测量指标及衍生指标中,LAP对肥胖青少年儿童HUA的诊断效能最佳。LAP结合了不同性别下的腰围及TG,腰围是反映肥胖(尤其是内脏肥胖)和胰岛素抵抗的良好指标,而TG已被证实是HUA的独立危险因素^[35,46-47]。HUA与肥胖、胰岛素抵抗及脂代谢异常密切相关,LAP则可直接反映HUA患者的这些异常表现,因此对HUA具有突出的诊断效能^[38,48-50]。虽然CMI、VAI、TG、TG/HDL-C比值、胰岛素、BMI等人体测量指标及衍生指标也能在一定程度上反映肥胖和胰岛素抵抗,但这些指标或包含负向关联因子(如CMI包含HDL-C),或包含无法准确反映的内脏脂肪分布因子(如VAI包含BMI),或缺乏对内脏脂肪的直接量化能力(如胰岛素),这些局限性在一定程度上削弱了它们对HUA的诊断效能。

本研究存在一定局限性:(1)为回顾性研究,无法明确人体测量指标及衍生指标与HUA的因果关系;(2)尚未排除饮食模式、Tanner分期等混杂因素,可能造成分析存在一定程度的偏倚;(3)受试者来源于北京地区,外推结论至其他人群中应谨慎。尽管存在上述局限性,但由于所有研究对象均共享了相似的“未测量因素”背景(来自类似的地区、拥有类似的饮食习惯、存在相似的年龄段,且均为肥胖个体),这些混杂因素对各指标效应估计值的影响方向可能是相似的。此外,Chen等^[37]在成人群体的研究中,在不能排除运动和饮食等因素引起的血清尿酸浓度差异情况下,发现LAP在总人群中对HUA的AUC值为0.6835,为HUA的监测提供了新的依据。未来应纳入多中心数据,以及更多与HUA可能相关的因素,开展前瞻性研究,以探讨人体测量指标及衍生指标,尤其是LAP对肥胖青少年儿童HUA的影响及因果关系,并通过多指标联合、构建机器学习等方法以进一步提高识别效能。

综上所述,本研究通过对人体测量指标及衍生指标与肥胖青少年儿童HUA的相关性分析,发现体重、BMI、TG、胰岛素、LAP、CMI、TWI、VAI、TG/HDL-C比值与HUA的发生密切相关。其中,

LAP对肥胖青少年儿童HUA具有最佳的诊断效能,且与HUA发生风险存在持续上升的剂量-反应关系,提示LAP对肥胖青少年儿童HUA的相关筛查具有潜在应用价值,可为该人群的HUA预警提供参考依据。

【参考文献】

- [1] 方宁远,吕力为,吕晓希,等.中国高尿酸血症相关疾病诊疗多学科专家共识(2023年版)[J].中国实用内科杂志,2023,43(6):461-480.
- [2] Rao J, Ye P, Lu J, et al. Prevalence and related factors of hyperuricaemia in Chinese children and adolescents: a pooled analysis of 11 population-based studies[J]. *Ann Med*, 2022, 54(1): 1608-1615.
- [3] Hsia SH, Chou IJ, Kuo CF, et al. Survival impact of serum uric acid levels in children and adolescents[J]. *Rheumatol Int*, 2013, 33(11): 2797-2802.
- [4] Moulin-Mares SRA, Oliosa PR, Faria ER, et al. Association of uric acid with cardiovascular risk in Brazilian children and adolescents [J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2021, 31(1): 314-321.
- [5] Rao JH, Yan YK, Cheng H, et al. Uric acid mediated the relationship between obesity and hypertension in children and adolescents: a population-based cohort study[J]. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*, 2024, 34(1): 214-222.
- [6] Su HY, Liu T, Li YP, et al. Serum uric acid and its change with the risk of type 2 diabetes: a prospective study in China[J]. *Prim Care Diabetes*, 2021, 15(6): 1002-1006.
- [7] Lee JH. Prevalence of hyperuricemia and its association with metabolic syndrome and cardiometabolic risk factors in Korean children and adolescents: analysis based on the 2016-2017 Korea National Health and Nutrition Examination Survey[J]. *Korean J Pediatr*, 2019, 62(8): 317-323.
- [8] Lin Z, Feng W, Liu Y, et al. Machine learning to identify metabolic subtypes of obesity: a multi-center study[J]. *Front Endocrinol*, 2021, 12: 713592.
- [9] Hongwei L, Zhenhai S, Wei J, et al. The effects and predictive values of novel anthropometric parameters on uric acid levels and hyperuricemia in adults[J]. *Sci Rep*, 2025, 15(1): 956.
- [10] Huang X, Zhong Z, He J, et al. Association between visceral adiposity index and hyperuricemia among steelworkers: the moderating effects of drinking tea[J]. *Nutrients*, 2024, 16(18): 3221.
- [11] 王茜,朱小霞,邹和建.青少年高尿酸血症病因及发病机制研究进展[J].中华风湿病学杂志,2019,23(11):781-785.
- [12] 中华医学会儿科学分会内分泌遗传代谢学组,中华医学会儿科学分会儿童保健学组,中华医学会儿科学分会临床营养学组,等.中国儿童肥胖诊断评估与管理专家共识[J].中华儿科杂志,2022,60(6):507-515.
- [13] 学龄儿童青少年超重与肥胖筛查—中华人民共和国国家卫生健康委员会[EB/OL]. [2024-10-28]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/pqt/201803/a7962d1ac01647b9837110bfd2d69b26.shtml>.
- [14] Peterson CM, Su H, Thomas DM, et al. Tri-ponderal mass index vs body mass index in estimating body fat during adolescence[J]. *JAMA Pediatr*, 2017, 171(7): 629-636.
- [15] Thomas DM, Bredlau C, Bosy-Westphal A, et al. Relationships between body roundness with body fat and visceral adipose tissue

- emerging from a new geometrical model[J]. *Obesity*, 2013, 21(11): 2264-2271.
- [16] Park Y, Kim NH, Kwon TY, *et al.* A novel adiposity index as an integrated predictor of cardiometabolic disease morbidity and mortality[J]. *Sci Rep*, 2018, 8(1): 16753.
- [17] Valdez R. A simple model-based index of abdominal adiposity[J]. *J Clin Epidemiol*, 1991, 44(9): 955-956.
- [18] Kahn HS. The "lipid accumulation product" performs better than the body mass index for recognizing cardiovascular risk: a population-based comparison[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2005, 5: 26.
- [19] Wakabayashi I, Daimon T. The "cardiometabolic index" as a new marker determined by adiposity and blood lipids for discrimination of diabetes mellitus[J]. *Clin Chim Acta*, 2015, 438: 274-278.
- [20] Amato MC, Giordano C, Galia M, *et al.* Visceral adiposity index[J]. *Diabetes Care*, 2010, 33(4): 920-922.
- [21] Xia MF, Chen Y, Lin HD, *et al.* A indicator of visceral adipose dysfunction to evaluate metabolic health in adult Chinese[J]. *Sci Rep*, 2016, 6: 38214.
- [22] Behiry EG, El Nady NM, Abdel Haie OM, *et al.* Evaluation of TG-HDL ratio instead of HOMA ratio as insulin resistance marker in overweight and children with obesity[J]. *Endocr Metab Immune Disord Drug Targets*, 2019, 19(5): 676-682.
- [23] 卫海燕, 林一凡, 袁淑娟. 儿童青少年肥胖合并高尿酸血症的评估及营养管理[J]. *中国实用儿科杂志*, 2023, 38(10): 735-740.
- [24] No authors listed. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation[J]. *World Health Organ Tech Rep Ser*, 2000, 894: i-xii, 1-253.
- [25] 李海彬, 冯巍, 孙殿钦, 等. 北京某医院 30~60 岁体检人群体质指数与高尿酸血症的剂量-反应关系[J]. *中国心血管杂志*, 2019, 24(3): 264-267.
- [26] Fukui S, Okada M, Shinozaki T, *et al.* Weight reduction and target serum urate level: a longitudinal study of annual medical examination[J]. *Arthritis Rheumatol*, 2025, 77(3): 346-355.
- [27] Liu M, Cao B, Luo Q, *et al.* A gender-, age-, and weight status-specific analysis of the high prevalence of hyperuricemia among Chinese children and adolescents with obesity[J]. *Diabetes Metab Syndr Obes*, 2024, 17: 381-391.
- [28] Özyildirim C, Unsal EN, Ayhan NY. Performance of triponderal mass index, body mass index z scores, and body mass index performance in the diagnosis of obesity in children and adolescents[J]. *Nutrition*, 2023, 114: 112116.
- [29] 杨媛, 周光清, 李宛霖, 等. 不同肥胖指标在高尿酸血症风险预测中的应用价值比较研究[J]. *中国全科医学*, 2022, 25(4): 453-460.
- [30] 张换想, 瞿菽含, 邱洪斌, 等. 不同肥胖指标对高尿酸血症预测能力的研究[J]. *现代预防医学*, 2023, 50(10): 1908-1915.
- [31] 门美超, 刘绍辉, 唐文彬, 等. 健康体检人群脂质蓄积指数与高尿酸血症的相关性[J]. *中华健康管理学杂志*, 2023, 17(4): 253-258.
- [32] 朱建琴, 刘兴振, 徐霞, 等. 高尿酸血症与心血管代谢指数在非肥胖人群中的相关性研究[J]. *中华风湿病学杂志*, 2020, 24(7): 462-465.
- [33] Dong H, Xu Y, Zhang X, *et al.* Visceral adiposity index is strongly associated with hyperuricemia independently of metabolic health and obesity phenotypes[J]. *Sci Rep*, 2017, 7(1): 8822.
- [34] Han D, Yao Y, Wang F, *et al.* A study on the correlation between hyperuricemia and TG/HDL-c ratio in the Naxi ethnic group at high-altitude regions of Yunnan[J]. *Front Med*, 2024, 11: 1416021.
- [35] Hou Y, Yang X, Wang C, *et al.* Hypertriglyceridemia and hyperuricemia: a retrospective study of urban residents[J]. *Lipids Health Dis*, 2019, 18(1): 81.
- [36] Du L, Zong Y, Li HR, *et al.* Hyperuricemia and its related diseases: mechanisms and advances in therapy[J]. *Signal Transduct Target Ther*, 2024, 9(1): 212.
- [37] Chen D, Lu C, Chen K, *et al.* Association between anthropometric indices and hyperuricemia: a nationwide study in China[J]. *Clin Rheumatol*, 2024, 43(3): 907-920.
- [38] 郭雪梅, 肖宁婷, 敬雪明, 等. 四川省川东北地区 6~17 岁儿童青少年高尿酸血症患病情况及影响因素分析[J]. *中国儿童保健杂志*, 2023, 31(11): 1185-1190.
- [39] Wang YY, Li L, Cui J, *et al.* Associations between anthropometric parameters (body mass index, waist circumference and waist to hip ratio) and newly diagnosed hyperuricemia in adults in Qingdao, China: a cross-sectional study[J]. *Asia Pac J Clin Nutr*, 2020, 29(4): 763-770.
- [40] Huang Z, Huang B, Zhang H, *et al.* Waist-to-height ratio is a better predictor of hyperuricemia than body mass index and waist circumference in Chinese[J]. *Ann Nutr Metab*, 2019, 75(3): 187-194.
- [41] 王煜颖, 叶菲, 李雪晨. 高尿酸血症与脂肪堆积相互作用的研究进展[J]. *中华临床营养杂志*, 2024, 32(6): 378-384.
- [42] 刘英, 曾勇. 高尿酸血症与肥胖[J]. *中国心血管杂志*, 2016, 21(1): 11-13.
- [43] Rubino F, Cummings DE, Eckel RH, *et al.* Definition and diagnostic criteria of clinical obesity[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2025, 13(3): 221-262.
- [44] 秦叶叶, 李燕, 郑路, 等. 评估内脏型肥胖的新型人体测量学指标研究进展[J]. *国际内分泌代谢杂志*, 2021, 41(3): 207-211.
- [45] 伊尔潘江·库尔班, 买买提·依斯热依力, 艾克拜尔·艾力. 肥胖与高尿酸血症相关性及其肥胖合并高尿酸血症的外科治疗进展[J]. *临床外科杂志*, 2020, 28(11): 1094-1096.
- [46] Ross R, Neeland IJ, Yamashita S, *et al.* Waist circumference as a vital sign in clinical practice: a Consensus Statement from the IAS and ICCR Working Group on Visceral Obesity[J]. *Nat Rev Endocrinol*, 2020, 16(3): 177-189.
- [47] Deusdará R, de Moura Souza A, Szklo M. Association between obesity, overweight, elevated waist circumference, and insulin resistance markers among Brazilian adolescent students[J]. *Nutrients*, 2022, 14(17): 3487.
- [48] McCormick N, O'Connor MJ, Yokose C, *et al.* Assessing the causal relationships between insulin resistance and hyperuricemia and gout using bidirectional mendelian randomization[J]. *Arthritis Rheumatol*, 2021, 73(11): 2096-2104.
- [49] Han Y, Zhou Z, Zhang Y, *et al.* The association of surrogates of insulin resistance with hyperuricemia among middle-aged and older individuals: a population-based nationwide cohort study[J]. *Nutrients*, 2023, 15(14): 3139.
- [50] Zhang S, Zhang Y, Lin S, *et al.* Hyperuricemia as a possible risk factor for abnormal lipid metabolism in the Chinese population: a cross-sectional study[J]. *Ann Palliat Med*, 2021, 10(11): 11454-11463.