

基于生物电阻抗法测量的体脂肪量对儿童血压和血糖代谢异常的预测价值

李海波^{1,2} 程红¹ 侯冬青¹ 高爱钰³ 朱忠信⁴ 郝兆仓⁵
王宏健⁶ 赵小元¹ 肖培^{1,2} 黄贵民¹ 米杰⁷

(1.首都儿科研究所流行病学研究室,北京 100020; 2.北京协和医学院研究生院,北京 100730;
3.东城区中小学卫生保健所,北京 100009; 4.密云区中小学卫生保健所,北京 101500;
5.通州区中小学卫生保健所,北京 201100; 6.房山区中小学卫生保健所,北京 102400;
7.国家儿童医学中心儿童慢病管理中心首都医科大学附属北京儿童医院,北京 100045)

【摘要】 目的 探讨基于生物电阻抗法(BIA)测量的儿童体脂肪量对血压和血糖代谢异常的预测价值。
方法 采用分层整群抽样的方法选取6~16岁学生进行问卷调查和体格测量,通过BIA仪器测量体脂肪量,计算体重指数(BMI)、体脂肪指数(FMI)和体脂肪率(FMP),并检测空腹血糖水平。**结果** 纳入的14 293名儿童中男童占49.89%。在男女儿童中分别以FMI和FMP通过LMS法拟合的百分位数值(P_{60} 、 P_{65} 、 P_{70} 、 P_{75} 、 P_{80} 、 P_{85} 、 P_{90} 、 P_{95})逐个作为切点,受试者工作特征曲线分析显示,对血压异常和血糖代谢异常预测价值较好的体脂过多切点为 P_{70} 值。控制FMI或FMP在 P_{70} 以下,可减少8.53%~43.24%的儿童发生血压和血糖代谢异常。**结论** 基于FMI和FMP评价肥胖状态对于儿童高血压和高血糖筛查具有一定的公共卫生价值,在今后儿童肥胖和相关慢性疾病防治工作中可进一步验证。
【关键词】 体脂肪指数;体脂肪率;血压;血糖;生物电阻抗法;儿童

Value of body fat mass measured by bioelectrical impedance analysis in predicting abnormal blood pressure and abnormal glucose metabolism in children

LI Hai-Bo, CHENG Hong, HOU Dong-Qing, GAO Ai-Yu, ZHU Zhong-Xin, YU Zhao-Cang, WANG Hong-Jian, ZHAO Xiao-Yuan, XIAO Pei, HUANG Gui-Min, MI Jie. Department of Epidemiology, Capital Institute of Pediatrics, Beijing 100020, China (Mi J, Email: mijie@bch.com.cn)

Abstract: Objective To study the value of body fat mass measured by bioelectrical impedance analysis (BIA) in predicting abnormal blood pressure and abnormal glucose metabolism in children. **Methods** Stratified cluster sampling was used to select the students aged 6-16 years, and a questionnaire survey and physical examination were performed. The BIA apparatus was used to measure body fat mass. Body mass index (BMI), body fat mass index (FMI), and fat mass percentage (FMP) were calculated. Fasting blood glucose level were measured. **Results** A total of 14 293 children were enrolled, among whom boys accounted for 49.89%. In boys and girls, the percentile values (P_{60} , P_{65} , P_{70} , P_{75} , P_{80} , P_{85} , P_{90} , P_{95}) of FMI and FMP fitted by the LMS method were taken as the cut-off values. Based on the receiver operating characteristic curve analysis, the P_{70} values with a better value in predicting abnormal blood pressure and blood glucose metabolism were selected as the cut-off values for excessive body fat. When FMI or FMP was controlled below P_{70} , the incidence of abnormal blood pressure or abnormal glucose metabolism may be decreased in 8.25%-43.24% of the children. **Conclusions** The evaluation of obesity based on FMI and FMP has a certain value in screening for hypertension and hyperglycemia in children, which can be further verified in the future prevention and treatment of obesity and related chronic diseases in children.

[Chin J Contemp Pediatr, 2020, 22(1): 17-23]

Key words: Fat mass index; Fat mass percentage; Blood pressure; Blood glucose; Bioelectrical impedance analysis; Child

[收稿日期] 2019-09-17; [接受日期] 2019-12-12

[基金项目] 国家自然科学基金(81973110); 国家重点研发计划(2016YFC0900600; 2016YFC0900602; 2016YFC1300101)。

[作者简介] 李海波,男,博士研究生。

[通信作者] 米杰,女,教授。Email: mijie@bch.com.cn。

儿童青少年时期的超重/肥胖与高血压、高血糖等慢性疾病密切相关,并且这些疾病风险存在轨迹现象,可能会一直延续至成年期^[1]。在评价儿童肥胖状态时常采用体重指数(body mass index, BMI),但美国内分泌医师协会(AACE)/美国内分泌学会(ACE)提出肥胖是以“体脂增多为基础的慢性疾病”^[2],而BMI并不能区分脂肪和瘦体重,同时在儿童生长发育期间,女孩倾向于累积更多脂肪且脂肪易聚集于外周部位,而男性则更多的是瘦体重^[3],如果体脂肪过多对血压及血糖代谢有生物学作用,那么BMI或许不足以反映这种效应^[4]。

当前生物电阻抗法(bioelectrical impedance analysis, BIA)测量体脂方便快捷、成本较低,已经被广泛使用,在儿童肥胖评估方面可能更精确、更具成本效益,与金标准方法一致性较好。但目前基于BIA测量的体脂肪量在儿童中尚无明确诊断标准评价肥胖状态,为了其在实际应用中更便利准确,需要确定我国儿童适宜的体脂范围。因此,本研究旨在通过分析体脂指标的不同切点界值对儿童血压异常和血糖代谢异常的预测能力,探讨适宜的体脂肪切点值,以期能对肥胖相关性疾病进行早期诊断和治疗。

1 资料与方法

1.1 研究对象

研究对象来自2017年11月到2018年1月在北京开展的儿童青少年心血管与骨健康促进项目(School-based Cardiovascular and Bone Health Promotion Program, SCVBH)研究。采用整群抽样方法在北京市东城、房山、密云以及通州区选择30所学校(包括8所小学、21所中学和1所12年制学校),排除因外伤等身体不适不能参加体检者,将小学1~4年级,初中1年级和高中1年级的15391名6~16岁学生纳入研究^[5]。本次分析剔除性别、年龄、BMI、体脂肪、血压、血糖等关键变量缺失及患有严重脏器疾病的儿童1098名后,最终共纳入分析14293名儿童。研究方案得到首都儿科研究所伦理委员会的批准(批号:SHERLL 2016026),所有研究对象的监护人均签署书面知情同意书。

1.2 问卷调查

问卷调查均由研究对象监护人协助完成,内容包括一般人口特征(年龄、性别等)和生活行为因素(最近1个月内吸烟、饮酒和运动,最近半年内饮食和奶类摄入情况等)。吸烟定义为吸过1支以上完整的香烟。饮酒定义为喝过1个标准量以上的酒(如白酒1两、啤酒1听或葡萄酒120 mL)。良好膳食习惯定义为以下膳食行为满足3条以上:(1)蔬菜/水果 ≥ 1 次/d;(2)水产品(鱼虾蟹贝类) ≥ 1 次/周;(3)豆制品 ≥ 1 次/d;(4)含糖饮料 < 1 次/周。经常摄入奶类定义为平均每周 ≥ 3 次。充分运动定义为平均每天中等以上强度运动(如跑步、跳绳、游泳、球类等运动) ≥ 60 min。

1.3 体格测量

使用身高体重仪测量身高、体重。BMI为体重/身高平方(kg/m^2),按照中国标准诊断超重/肥胖^[6]。使用BIA方法测量体脂肪,仪器为四海华辰H-Key350八电极BIA检测仪。受试者空腹(尽量排空膀胱,测量前半小时内不饮水),穿轻便衣物测量,去除身上所有金属物品后赤足站在测量面板上,并充分接触电极后测量,记录全身脂肪量。体脂肪指数(fat mass index, FMI)为全身脂肪量/身高平方(kg/m^2),体脂肪率(fat mass percentage, FMP)为全身脂肪量/体重 $\times 100\%$ 。使用经过美国医疗器械协会(AMMI)验证的欧姆龙HBP 1300电子血压计^[7]测量右上臂肱动脉血压。要求室内安静,室内温度 $20^\circ\text{C} \sim 24^\circ\text{C}$;测量前受试者安静休息15~30 min,排空膀胱,穿着轻薄衣物,右上臂暴露;坐靠背椅,身体挺直;选择合适型号的袖带,臂带中心与心脏同水平;双足平放于地面,连续测量血压3次,每两次间隔1 min并抬高右臂5~6 s,记录收缩压(systolic blood pressure, SBP)、舒张压(diastolic blood pressure, DBP),取后两次平均值作为分析值。根据中国指南标准诊断高SBP、高DBP和高血压^[8]。

1.4 静脉血采集及血糖检测

体检前一天晚10点以后不进食,使用促凝采血管采集清晨空腹静脉血5 mL,静置30 min后,3000 r/min离心10 min,分离血清,保留血凝块,于 -80°C 冷冻保存。使用日立7080全自动生化检

测仪检测空腹血糖 (fasting blood glucose, FBG)。FBG ≥ 5.6 mmol/L 诊断为空腹血糖受损 (impaired fasting glucose, IFG) [9]。

1.5 质量控制

研究开始前制定统一详细的实施方案, 所有调查员均经培训考核合格后方可进行现场调查工作。检测仪器每天进行校准后方可使用, 测量时严格执行测量要求。数据专人质控验收, 发现问题当场反馈核查。数据资料双录入核查, 确保研究数据真实准确。

1.6 统计学分析

在“北京市儿童成人慢性病防治中心科研项目数据管理平台”录入研究数据。计量资料经正态性检验后以均数 $\pm$ 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 男女间比较采用成组 t 检验; 计数资料以例数和百分率 (%) 表示, 男女间比较采用 χ^2 检验。

考虑到男女孩儿童体脂肪量的差异, 分性别采用 LMS 方法 [10-11] 拟合 FMI 和 FMP 曲线, 通过 L、M、S 3 个参数计算产生所需要的百分位数值。分别以 FMI 和 FMP 通过 LMS 法拟合的 P_{60} 、 P_{65} 、 P_{70} 、 P_{75} 、 P_{80} 、 P_{85} 、 P_{90} 、 P_{95} 数值逐个作为切点, 通过受试者工作特征 (ROC) 曲线计算对于血压异常和 IFG 的敏感度、特异度、预测值和曲线下面积 (AUC)。从中选择敏感度、特异度、预测值和 AUC 均相对较好的百分位值作为体脂肪过多切点的参考, 同时比较 FMI 和 FMP 诊断的体脂肪过多和基于 BMI 诊断的超重/肥胖对高血压、IFG 的预测能力, 并计算该切点以上者占研究人群的百分率 P , 以及在此切点以上与以下相比, 各项危险因素异常的调整 OR 值 (校正年龄、吸烟、饮酒、奶制品摄入、理想膳食和运动情况) 和人群归因危险度百分比 (population attributable risk proportion, PARP)。PARP (%) = $P(OR-1) / [P(OR-1) + 1] \times 100\%$ 。

数据分析采用 LMS Pro 软件和 R 3.4.3 软件, 以双侧 $P < 0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况

14 293 名纳入分析儿童的年龄为 11.0 ± 3.3 岁, 男童占 49.89% (7 132 名)。男女孩儿童高血压患病率、

IFG 患病率、超重/肥胖率及 BMI、FMI、FMP 等的比较差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 见表 1。

表 1 研究人群基本情况

项目	男童 ($n=7\ 132$)	女童 ($n=7\ 161$)	t/χ^2 值	P 值
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	10.9 ± 3.3	11.1 ± 3.3	2.14	0.033
BMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	21 ± 5	20 ± 4	13.17	<0.001
FMI ($\bar{x} \pm s$, kg/m ²)	5 ± 3	6 ± 3	11.28	<0.001
FMP ($\bar{x} \pm s$, %)	22 ± 9	26 ± 8	27.00	<0.001
SBP ($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	112 ± 12	107 ± 10	26.50	<0.001
DBP ($\bar{x} \pm s$, mm Hg)	60 ± 7	61 ± 7	3.26	0.001
FBG ($\bar{x} \pm s$, mmol/L)	5.2 ± 0.4	5.1 ± 0.4	12.99	<0.001
超重/肥胖 [$n(\%)$]	3 429(48.08)	2 526(35.27)	240.8	<0.001
高 SBP [$n(\%)$]	2 443(34.25)	1 528(21.34)	298.1	<0.001
高 DBP [$n(\%)$]	299(4.19)	386(5.39)	12.24	0.001
高血压 [$n(\%)$]	2 527(35.43)	1 647(23.00)	268.1	<0.001
IFG [$n(\%)$]	916(12.84)	566(7.90)	90.76	<0.001

注: [BMI] 体重指数; [FMI] 体脂肪指数; [FMP] 体脂肪率; [SBP] 收缩压; [DBP] 舒张压; [FBG] 空腹血糖; [IFG] 空腹血糖受损。

2.2 BMI、FMI 和 FMP 水平随年龄变化趋势

男女孩儿童 BMI 均随着年龄的增加呈线性增加, 女童 FMI 和 FMP 也随年龄增加呈线性增加, 而男童 10~12 岁后, 随着年龄的增加, FMI 和 FMP 呈下降趋势, 见图 1。

2.3 不同 FMI 和 FMP 切点评价儿童肥胖状态预测血压异常和 IFG 的 ROC 分析

在不同性别儿童中, 分别以 FMI 和 FMP 通过 LMS 法拟合的 P_{60} 、 P_{65} 、 P_{70} 、 P_{75} 、 P_{80} 、 P_{85} 、 P_{90} 、 P_{95} 逐个作为切点, 进行对于血压异常和 IFG 预测的 ROC 分析, 从中选择敏感度、特异度、预测值和 AUC 均相对较好的 P_{70} 值作为体脂肪过多切点的参考。FMI 和 FMP 的 LMS 拟合参数及 P_{70} 和 P_{90} 切点值见表 2, FMP 切点曲线见图 2, 显示男童 FMP P_{70} 、 P_{90} 均呈现随年龄变化先上升后下降的趋势, 10 岁左右达到最高值, 女童 P_{70} 、 P_{90} 则均随年龄增加而增加。同时比较 FMI 和 FMP 的 P_{70} 切点和基于 BMI 诊断的超重/肥胖对高血压、IFG 的预测能力, 结果显示基于 FMI 和/或 FMP 在预测高 SBP 和高血压的 AUC 低于 BMI ($P < 0.05$), 而在预测高 DBP、IFG 能力方面差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 见图 3。此外, 当 FMI 或 FMP 超过 P_{90} 时, 对血压异常和 IFG 预测的特异度近似 90%。

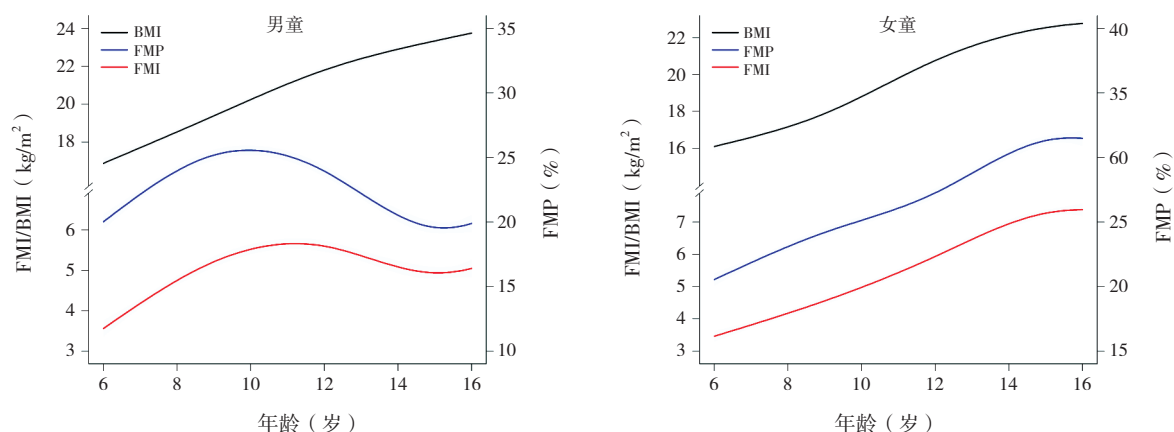


图1 BMI、FMI和FMP水平随年龄变化趋势 男、女儿童BMI均随着年龄的增加呈线性增加,女童FMI和FMP也随年龄增加呈线性增加,而男童10~12岁后,随着年龄的增加,FMI和FMP呈下降趋势。[BMI]体重指数;[FMI]体脂肪指数;[FMP]体脂肪率。

表2 不同性别6~16岁儿童FMI和FMP的LMS拟合参数及 P_{70} 和 P_{90} 切点值

指标	男					女				
	L	M	S	P_{70}	P_{90}	L	M	S	P_{70}	P_{90}
FMI (kg/m^2)										
6岁	-0.01	3.13	0.54	4.16	6.29	-0.09	3.04	0.50	3.96	5.87
7岁	0.01	3.55	0.56	4.76	7.26	-0.06	3.34	0.50	4.35	6.42
8岁	0.02	4.00	0.57	5.40	8.29	-0.04	3.66	0.50	4.75	6.98
9岁	0.04	4.43	0.59	6.02	9.30	-0.02	3.99	0.49	5.18	7.55
10岁	0.05	4.72	0.60	6.44	10.00	-0.01	4.37	0.48	5.63	8.15
11岁	0.05	4.77	0.61	6.55	10.25	-0.02	4.84	0.47	6.19	8.86
12岁	0.04	4.66	0.61	6.42	10.12	-0.03	5.36	0.45	6.78	9.57
13岁	0.02	4.44	0.62	6.14	9.75	-0.05	5.85	0.42	7.32	10.16
14岁	-0.01	4.25	0.62	5.88	9.42	-0.07	6.33	0.40	7.81	10.65
15岁	-0.04	4.12	0.62	5.71	9.22	-0.09	6.72	0.37	8.18	10.95
16岁	-0.08	4.06	0.62	5.63	9.17	-0.09	6.98	0.35	8.40	11.04
FMP (%)										
6岁	0.28	19.23	0.40	23.56	30.98	0.23	19.52	0.38	23.67	30.82
7岁	0.32	20.91	0.40	25.63	33.66	0.29	20.87	0.36	25.14	32.35
8岁	0.35	22.54	0.40	27.65	36.26	0.34	22.17	0.35	26.52	33.74
9岁	0.38	23.84	0.41	29.28	38.39	0.39	23.34	0.34	27.70	34.82
10岁	0.40	24.33	0.41	29.95	39.32	0.44	24.41	0.32	28.70	35.61
11岁	0.40	23.79	0.42	29.37	38.71	0.49	25.60	0.30	29.81	36.46
12岁	0.39	22.53	0.43	27.92	36.99	0.53	26.94	0.28	31.03	37.39
13岁	0.35	20.95	0.43	26.05	34.73	0.58	28.29	0.26	32.21	38.24
14岁	0.30	19.56	0.43	24.39	32.74	0.62	29.68	0.23	33.41	39.08
15岁	0.25	18.57	0.44	23.21	31.37	0.68	30.90	0.21	34.41	39.68
16岁	0.19	18.00	0.44	22.54	30.68	0.76	31.75	0.19	35.01	39.86

注:[FMI]体脂肪指数;[FMP]体脂肪率;[L]Box-Cox指数;[M]中位数;[S]变异系数。

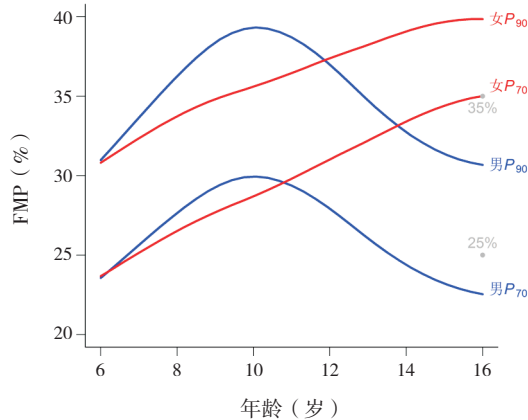


图 2 6~16 岁儿童体脂肪率 (FMP) 的 P_{70} 和 P_{90} 切点值随年龄变化曲线 图中灰色显示点 25% (男) 和 35% (女) 为 WHO 推荐的成人脂肪过多诊断标准。本研究研制的 FMP 的 P_{70} 切点值在女童 16 岁时已与 WHO 推荐的成人 FMP 标准 ($\geq 35\%$) 一致, 男童略低于成人男性标准 ($\geq 25\%$)。

项目		SEN	SPE	PPV	NPV	AUC (95% CI)	P 值
男孩							
高 SBP							
BMI	WST	65.7	61.1	46.8	77.3	63.4(62.2~64.6)	Ref
FMI 切点	P_{70}	48.5	75.8	51.1	73.9	62.2(61.0~63.4)	0.012
FMP 切点	P_{70}	47.0	75.2	49.6	73.1	61.1(59.9~62.2)	<0.001
高 DBP							
BMI	WST	60.5	52.5	5.3	96.8	56.5(53.7~59.3)	Ref
FMI 切点	P_{70}	44.1	68.0	5.7	96.5	56.1(53.2~58.9)	0.690
FMP 切点	P_{70}	46.2	68.2	6.0	96.7	57.2(54.3~60.1)	0.556
高血压							
BMI	WST	65.3	61.4	48.1	76.3	63.3(62.1~64.5)	Ref
FMI 切点	P_{70}	48.3	76.2	52.7	72.9	62.2(61.1~63.4)	0.021
FMP 切点	P_{70}	46.8	75.5	51.2	72.1	61.1(60.0~62.3)	<0.001
IFG							
BMI	WST	56.3	53.2	15.0	89.2	54.7(53.0~56.5)	Ref
FMI 切点	P_{70}	41.0	68.7	16.2	88.8	54.9(53.2~56.6)	0.814
FMP 切点	P_{70}	40.6	68.8	16.1	88.7	54.7(53.0~56.4)	0.955
女孩							
高 SBP							
BMI	WST	58.6	71.1	35.5	86.4	64.9(63.5~66.2)	Ref
FMI 切点	P_{70}	53.3	75.0	36.6	85.6	64.2(62.8~65.5)	0.095
FMP 切点	P_{70}	52.0	74.2	35.3	85.1	63.1(61.7~64.4)	<0.001
高 DBP							
BMI	WST	46.1	65.3	7.0	95.5	55.7(53.2~58.3)	Ref
FMI 切点	P_{70}	43.8	69.7	7.6	95.6	56.7(54.2~59.3)	0.059
FMP 切点	P_{70}	43.3	69.3	7.4	95.5	56.3(53.7~58.8)	0.503
高血压							
BMI	WST	56.3	71.0	36.7	84.5	63.7(62.3~65.0)	Ref
FMI 切点	P_{70}	51.2	75.0	37.9	83.7	63.1(61.8~64.4)	0.146
FMP 切点	P_{70}	50.2	74.2	36.8	83.3	62.2(60.9~63.5)	0.002
IFG							
BMI	WST	41.7	65.3	9.3	92.9	53.5(51.4~55.6)	Ref
FMI 切点	P_{70}	36.4	69.4	9.3	92.7	52.9(50.8~55.0)	0.406
FMP 切点	P_{70}	36.7	69.0	9.2	92.7	52.9(50.8~55.0)	0.469

图 3 基于 BMI、FMI 和 FMP 评价儿童肥胖状态预测血压异常和 IFG 能力的 ROC 分析森林图 [AUC] 曲线下面积; [BMI] 体重指数; [DBP] 舒张压; [FMI] 体脂肪指数; [FMP] 体脂肪率; [IFG] 空腹血糖受损; [NPV] 阴性预测值; [PPV] 阳性预测值; [ROC] 受试者工作特征曲线; [SBP] 收缩压; [SEN] 灵敏度; [SPE] 特异度; [WST] 中国儿童肥胖筛查标准。

2.4 FMI、FMP 的 P_{70} 切点评价儿童血压异常和 IFG 的 OR 值及 PARP

以 FMI 和 FMP 的 P_{70} 为切点, 计算高于此切点对于血压异常和 IFG 的多因素调整 OR 值和人群 PARP, 结果见表 3。男童 FMI P_{70} 以上者占男童总人群的 32.51%。控制男童 FMI 在 P_{70} 以下, 可减少高 SBP、高 DBP、高血压和 IFG 发生的男童比例分别为 40.22%、18.32%、40.22% 和 17.79%。女童人群中 FMI 在 P_{70} 以上者约占 31.13%。将女童人群 FMI 控制在此切点以下, 可减少高 SBP、高 DBP、高血压和 IFG 发生的女童比例分别为 43.24%、20.12%、40.40% 和 11.00%。FMP 以 P_{70} 为切点观察到与 FMI 类似的结果。

表 3 不同性别中 FMI 和 FMP 的 P_{70} 评价血压异常和 IFG 的 OR 值和 PARP

评价指标	男童		女童	
	OR(95%CI)†	PARP	OR(95%CI)†	PARP
高 SBP				
FMI P_{70}	3.07(2.76~3.42)	40.22	3.45(3.07~3.88)	43.24
FMP P_{70}	2.81(2.53~3.13)	36.97	3.13(2.78~3.52)	40.08
高 DBP				
FMI P_{70}	1.69(1.34~2.14)	18.32	1.81(1.47~2.23)	20.12
FMP P_{70}	1.84(1.45~2.32)	21.39	1.74(1.41~2.14)	18.85
高血压				
FMI P_{70}	3.07(2.76~3.41)	40.22	3.18(2.84~3.57)	40.40
FMP P_{70}	2.82(2.54~3.13)	37.09	2.93(2.61~3.29)	37.73
IFG				
FMI P_{70}	1.45(1.26~1.67)	17.79	1.35(1.13~1.60)	11.00
FMP P_{70}	1.52(1.32~1.75)	14.46	1.30(1.09~1.55)	8.53

注: [FMI] 体脂肪指数; [FMP] 体脂肪率; [SBP] 收缩压; [DBP] 舒张压; [IFG] 空腹血糖受损; [PARP] 人群归因危险度百分比。
† 模型校正年龄、吸烟、饮酒、奶制品摄入、理想膳食和运动情况。

3 讨论

既往多项研究已显示体内脂肪蓄积过多可引起胰岛素和瘦素抵抗, 导致机体能量代谢失衡、中枢和肾脏交感神经系统过度激活、微血管功能紊乱和糖类代谢异常, 这些都表明肥胖是引起高血压、高血糖的一个重要原因^[12-15]。在儿童中的一些研究已经显示直接测量的体脂肪指标相对于 BMI 可以更好地区分脂肪和瘦体重^[3,16], 避免 BMI 诊断造成的误诊和漏诊。虽然体脂肪直接测量快

捷、费用较低,但遗憾的是目前尚无关于中国儿童青少年BIA测量的体脂肪量的参考诊断标准,极大限制了其在临床和科研实践中的应用。

不同于成人,儿童青少年由于生长发育的原因,体脂肪量存在明显年龄和性别差异,在研制儿童青少年肥胖的参照标准时应遵循分年龄、性别进行制订的原则^[17]。建立的儿童体脂肪诊断界值,既要能及早警示和预防相关慢性疾病的风险,又不致给儿童健康成长造成过重的心理负担,也要考虑实用效率和防治工作的人员和经济投入^[18]。ROC分析在临床诊断与健康领域应用十分广泛,是建立身体健康指标参照标准的评价体系重要方法之一,其可以打破传统的单纯以“统计常模”建立参照标准的局限性。因此本研究通过ROC曲线分析法评价不同FMI和FMP百分位切点值对于血压、血糖异常的预测能力,从中找出敏感度和特异度相对较好、假阳性率相对较低、AUC较大的切点 P_{70} 界值,同时计算切点的PARP来评估进行干预在人群中的覆盖面以及可能预防血压或血糖异常的百分率:控制FMI和FMP在 P_{70} 以下,需干预30%左右的儿童,可能防止约8%~43%的儿童发生血压或血糖异常。而且本研究研制的FMP的 P_{70} 切点值在女童16岁时已与WHO推荐的成人FMP标准^[19](女性 $\geq 35\%$)接轨,男童则仅略低于成人男性标准($\geq 25\%$),体现出本研究的结果基于健康结局指标的预测具有较好的科学性和实用参考价值。此外,为了更大程度地发现高血压和IFG人群,可进一步选取对血压或血糖异常预测特异度约90%作为评价肥胖的更高体脂肪切点 P_{90} 界值。当然,需要指出的是BMI在预测血压异常方面依然显示出较好的作用,其在初步筛查中的作用不容忽视,但目前其诊断的特异度较低,今后在筛查中可以考虑BMI和FMI或FMP的联合使用。

本研究首次在中国儿童青少年中通过评估对高血压和IFG的预测能力提出适宜的体脂过多诊断切点,而且采用国际上普遍认可的LMS法平滑拟合备选百分位切点^[10-11],对于儿童青少年发育指标的百分位数值的确定能够规范化和标准化。此外,本研究源于大规模调查,具有统一详细的实施方案,可确保数据的真实可靠性。但本研究仍有一些潜在的不足:第一,基于大规模调查可

行性考虑,体脂肪的测量采用BIA法,而非金标准方法,但BIA法操作简便、经济安全,与金标准方法有较好相关性且具有更好的推广应用价值;第二,研究为横断面分析,健康结局指标仅选取高血压和IFG,并且AUC较小($<70\%$),循证证据级别较低,对于相关慢性疾病的综合预测能力有赖于长期队列研究的验证;第三,研究未能收集儿童青春期发育状况和相关疾病家族史,可能对结果产生影响^[5,12];最后,建立全国统一性的体脂肪诊断标准往往需要具有代表性的大样本为基础,本研究仅选取北京市6~16岁儿童青少年作为研究对象,需谨慎解释和外推研究结果。

综上,本研究提出的基于FMI和FMP的体脂肪过多、肥胖诊断切点具有一定的人群公共卫生筛查参考价值,今后在儿童肥胖和相关慢性疾病防治工作中可进一步推广验证,并评估与BMI联合使用效果,有助于慢性病精准评估和防治窗口“下移”。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

志谢:感谢以下机构及其工作人员对本研究的支持与帮助:首都儿科研究所刘军廷、陈芳芳、王文鹏;国家儿童医学中心闫银坤、董虹宇;北京市东城区中小学卫生保健所陈海华、石晓燕、陈春宇、付鹏翀;北京市密云区中小学卫生保健所尹钱、崔海洪、聂长琳、王莲革;北京市通州区中小学卫生保健所李建辉、韩卫民、王景波;北京市房山区中小学卫生保健所林宁翔、高素梅;北京市教育委员会宋玉珍。

[参 考 文 献]

- [1] Joshi SM, Katre PA, Kumaran K, et al. Tracking of cardiovascular risk factors from childhood to young adulthood - the Pune Children's Study[J]. Int J Cardiol, 2014, 175(1): 176-178.
- [2] Mechanick JI, Hurley DL, Garvey WT. Adiposity-based chronic disease as a new diagnostic term: the American Association of Clinical Endocrinologists and American College of Endocrinology position statement[J]. Endocr Pract, 2017, 23(3): 372-378.
- [3] Li H, Huang T, Liu J, et al. Body fat indicators perform better than body mass index in identifying abnormal lipid profiles in boys but not in girls[J]. Pediatr Res, 2019, 85(5): 617-624.
- [4] Tebar WR, Ritti-Dias RM, Farah BQ, et al. High blood pressure and its relationship to adiposity in a school-aged population:

- body mass index vs waist circumference[J]. *Hypertens Res*, 2018, 41(2): 135-140.
- [5] 侯冬青, 高爱钰, 朱忠信, 等. 儿童青少年心血管与骨健康促进项目基线特征 [J]. *中华预防医学杂志*, 2018, 52(11): 1117-1123.
- [6] 中国肥胖问题工作组. 中国学龄儿童青少年超重、肥胖筛查体重指数值分类标准 [J]. *中华流行病学杂志*, 2004, 25(2): 97-102.
- [7] Meng L, Zhao D, Pan Y, et al. Validation of Omron HBP-1300 professional blood pressure monitor based on auscultation in children and adults[J]. *BMC Cardiovasc Disord*, 2016, 16: 9.
- [8] 范晖, 闫银坤, 米杰. 中国 3~17 岁儿童性别、年龄别和身高别血压参照标准 [J]. *中华高血压杂志*, 2017, 25(5): 428-435.
- [9] Alberti KG, Eckel RH, Grundy SM, et al. Harmonizing the metabolic syndrome: a joint interim statement of the International Diabetes Federation Task Force on Epidemiology and Prevention; National Heart, Lung, and Blood Institute; American Heart Association; World Heart Federation; International Atherosclerosis Society; and International Association for the Study of Obesity[J]. *Circulation*, 2009, 120(16): 1640-1645.
- [10] Cole TJ, Green PJ. Smoothing reference centile curves: the LMS method and penalized likelihood[J]. *Stat Med*, 1992, 11(10): 1305-1319.
- [11] 蒋一方, 林钟芳. 有关 LMS 软件程序应用介绍 [J]. *中国儿童保健杂志*, 2005, 13(4): 363-364.
- [12] 程红, 陈芳芳, 叶佩玉, 等. 2013-2015 年中国 7 城市 6~17 岁儿童青少年心血管代谢危险因素的流行特征 [J]. *中华预防医学杂志*, 2018, 52(11): 1130-1135.
- [13] 罗静思, 陈少科, 范歆, 等. 广西南宁儿童青少年高血压现状及其与肥胖关系的研究 [J]. *中国当代儿科杂志*, 2014, 16(10): 1040-1044.
- [14] 张德慧. 慢性炎症与肥胖型高血压关联机制的研究进展 [J]. *临床与病理杂志*, 2019, 39(4): 869-873.
- [15] 王明夏, 贾丽红, 翟玲玲, 等. 脂肪组织内质网应激与儿童肥胖相关 2 型糖尿病的关系研究进展 [J]. *中华实用儿科临床杂志*, 2019, 34(3): 231-233.
- [16] Olios PR, Zaniqueli D, Alvim RO, et al. Body fat percentage is better than indicators of weight status to identify children and adolescents with unfavorable lipid profile[J]. *J Pediatr (Rio J)*, 2019, 95(1): 112-118.
- [17] Liu J, Wang L, Sun J, et al. Bone mineral density reference standards for Chinese children aged 3-18: cross-sectional results of the 2013-2015 China Child and Adolescent Cardiovascular Health (CCACH) Study[J]. *BMJ Open*, 2017, 7(5): e014542.
- [18] 中国肥胖问题工作组数据汇总分析协作组. 我国成人体重指数和腰围对相关疾病危险因素异常的预测价值: 适宜体重指数和腰围切点的研究 [J]. *中华流行病学杂志*, 2002, 23(1): 5-10.
- [19] Physical status: the use and interpretation of anthropometry. Report of a WHO Expert Committee[J]. *World Health Organ Tech Rep Ser*, 1995, 854: 1-452.
- (本文编辑: 邓芳明)