

中国7个城市3~17岁儿童青少年体成分调查

陈芳芳¹ 刘军廷¹ 黄贵民¹ 米杰² 中国儿童青少年心血管健康研究项目组 (CCACH项目组)

¹首都儿科研究所流行病学研究室,北京100020; ²国家儿童医学中心首都医科大学附属北京儿童医院儿童慢病管理中心,北京100045

通信作者:米杰, Email:jiemi@vip.163.com

【摘要】 目的 描述3~17岁儿童青少年体成分(脂肪组织、非脂肪组织)的发育特征。方法 采用分层整群抽样方法,分别抽取南方和北方共计7个城市,包括长春、北京、天津、济南、上海、银川、重庆的3~17岁城市汉族儿童青少年10 867例。采用问卷调查收集研究对象基本信息,测量身高、体重,采用双能X线吸收法(DXA)测量身体脂肪组织质量、非脂肪组织质量等。计算BMI、体脂含量百分比(FMP)、脂肪质量指数(FMI)、非脂肪组织质量指数(FFMI)。采用SAS 9.4软件进行数据整理和逻辑核查,采用SPSS 20.0软件进行统计学分析。结果 共收集10 867例3~17岁儿童青少年数据,其中男生5 512人(50.7%)。男生FMP在10~15岁组随年龄增长迅速下降[$\beta = -1.811$ (95%CI: -1.987 ~ -1.635)],15岁以后变化不明显;女生FMP在3~7岁组随年龄增长呈下降趋势[$\beta = -0.896$ (95%CI: -1.100 ~ -0.691)],7~12岁变化不明显,12~15岁随年龄增长增速明显[$\beta = 0.989$ (95%CI: 0.753 ~ 1.224)],15岁以后变化不明显。除9岁组和10岁组以外,女生FMP高于男生(均 $P < 0.05$)。男生FFMI在3~17岁各个年龄段均明显高于女生(均 $P < 0.05$),11岁以后,女生和男生的FFMI差异变大。男生和女生的FMI随年龄变化的生长曲线有交叉,略有随年龄增长而增加的趋势[男生: $\beta = 0.033$ (95%CI: 0.018 ~ 0.048);女生: $\beta = 0.192$ (95%CI: 0.181 ~ 0.204)]。脂肪重聚年龄肥胖组小于超重组和正常体重组;男生不同体重状态组BMI、FFMI随年龄变化情况类似;男生正常体重组FMI随年龄增长略有降低,一直保持在5 kg/m²以下,超重组[$\beta = 0.114$ (95%CI: 0.091 ~ 0.136)]和肥胖组[$\beta = 0.211$ (95%CI: 0.176 ~ 0.245)]的FMI有明显随年龄增长而增加的趋势;不同体重状态组男生FMP在10岁以后随年龄增长呈下降趋势[正常体重: $\beta = -0.836$ (95%CI: -0.924 ~ -0.748);超重: $\beta = -1.090$ (95%CI: -1.269 ~ -0.910);肥胖: $\beta = -1.144$ (95%CI: -1.321 ~ -0.967)];不同体重状态组女生的BMI、FFMI、FMI随年龄变化情况类似,在8岁以后呈现随年龄增长而上升的趋势[正常体重组: $\beta = 0.174$ (95%CI: 0.165 ~ 0.182);超重组: $\beta = 0.325$ (95%CI: 0.304 ~ 0.346);肥胖组: $\beta = 0.447$ (95%CI: 0.406 ~ 0.488)];女生FMP的变化12岁以后随年龄增长呈明显增加的趋势[正常体重组: $\beta = 0.963$ (95%CI: 0.851 ~ 1.074);超重组: $\beta = 0.910$ (95%CI: 0.695 ~ 1.125);肥胖组: $\beta = 0.895$ (95%CI: 0.569 ~ 1.221)]。总体上来看,BMI和FMI的相关性很强(男生: $r = 0.767$;女生: $r = 0.873$),不同体重状态儿童青少年BMI和FMI的 r 不同。**结论** 儿童脂肪组织和非脂肪组织发育特征不同,且存在性别差异。BMI生长曲线和体脂肪的发育特征不完全一致,且存在性别差异,有必要对生长发育中的儿童进行更精准的体成分评估。

【关键词】 体脂肪组织; 非脂肪组织; 体成分; 儿童; 青少年

基金项目: 国家重点研发计划(2016YFC1300100, 2016YFC0900602); 国家科技支撑计划(2012BAI03B03)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2020.02.014

Developmental characteristics on body composition in Chinese urban children and adolescents aged 3-17 years old

Chen Fangfang¹, Liu Juntong¹, Huang Guimin¹, Mi Jie², China Children and Adolescents Cardiovascular Health Research Project Group (for the CCACH Collaboration Group)

¹Department of Epidemiology, Capital Institute of Pediatrics, Beijing 100020, China; ²Chronic Management

Center, Beijing's Children Hospital, Capital Medical University, National Center for Children's Health, Beijing 100045, China

Corresponding author: Mi Jie, Email: jiemj@vip.163.com

[Abstract] Objective To describe the body composition related developmental characteristics in Chinese children and adolescents aged 3–17 years. **Methods** Data were obtained from the 'China Child and Adolescent Cardiovascular Health (CCACH) cross-sectional survey' in 2015, which including seven cities. Questionnaire survey, anthropometric measurements were carried out with body composition also measured, using the Hologic Discovery Dual Energy X-ray Absorptiometry (DXA) scanner. BMI, fat mass percentage (FMP), fat mass index (FMI) and fat free mass index (FFMI) were calculated. SAS 9.4 and SPSS 20.0 softwares were used for data analysis. **Results** A total of 10 867 participants aged 3–17 years were involved in this study, including 5 512 boys (50.7%). FMP in boys decreased obviously between 10–15 years old [$\beta = -1.811$ (95% CI: -1.987 - -1.635)]. FMP in girls decreased between 3–7 years old [$\beta = -0.896$ (95% CI: -1.100 - -0.691)] and increased obviously between 12–15 years old [$\beta = 0.989$ (95% CI: 0.753–1.224)]. In general, FMP in girls were higher than that in boys in every age group, except for the 9 and 10 years old groups (all $P < 0.05$). FFMI of boys was higher than that in girls at all ages. Differences on FFMI were getting bigger between boys and girls in the 11 years old group and above. FMI increased with age [boys: $\beta = 0.033$ (95% CI: 0.018–0.048); girls: $\beta = 0.192$ (95% CI: 0.181–0.204)] and intersected between genders. Adiposity rebound age was earlier in the obese group than that in both overweight and normal weight groups. FMI in normal weight boys decreased with age and remained lower than 5 kg/m², while FMI in overweight [$\beta = 0.114$ (95% CI: 0.091–0.136)] and obese [$\beta = 0.211$ (95% CI: 0.176–0.245)] boys increased with age. FMP in boys decreased with age from 10 years old in all weight status groups [normal weight: $\beta = -0.836$ (95% CI: -0.924 - -0.748); overweight: $\beta = -1.090$ (95% CI: -1.269 - -0.910); obese: $\beta = -1.144$ (95% CI: -1.321 - -0.967)]. BMI, FFMI, FMI in girls changed with age similarly in all weight status groups and increased from 8 years old [normal weight: $\beta = 0.174$ (95% CI: 0.165–0.182); overweight: $\beta = 0.325$ (95% CI: 0.304–0.346); obesity: $\beta = 0.447$ (95% CI: 0.406–0.488)]. Changes in FMP in girls increased significantly with age after 12 years old [normal weight: $\beta = 0.963$ (95% CI: 0.851–1.074); overweight: $\beta = 0.910$ (95% CI: 0.695–1.125); obesity: $\beta = 0.895$ (95% CI: 0.569–1.221)]. In total, correlation indexes of BMI and FMI were strong (boys: $r = 0.767$; girls: $r = 0.873$) and were different in various weight status groups. **Conclusions** The growth chart of BMI presented inconsistently with the different developmental characteristics of body fat, and gender. Measurement on body composition needs to be developed for children and adolescents to give more precisely assessment on growth and development of children.

[Key words] Fat mass; Free fat mass; Body composition; Children; Adolescents

Fund programs: National Key Research and Development Program of China (2016YFC1300100, 2016YFC0900602); National Science and Technology Support Project of China (2012BAI03B03)

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2020.02.014

肥胖会增加疾病的发病率和死亡率^[1]。在临床上主要利用BMI表示肥胖情况^[2-3]。但是,肥胖是指身体的脂肪过剩,而不是体重^[4]。肥胖之所以增加个体心血管代谢异常的风险,是因为身体脂肪含量和/或分布部位异常,导致脂肪组织功能异常。BMI并不能区分脂肪组织和非脂肪组织,作为评价体内脂肪含量的间接指标具有很多局限性,而在不同体重状态人群中,与脂肪组织的关联强度也不同,在评估处于生长发育阶段的儿童青少年时局限性更大^[5]。体成分(body composition)指在人体总重量中,不同身体成分的构成比例。在目前的研究中常将体成分简单分为脂肪组织和非脂肪组织两部分。有研究显示,在进入青春期以前,人体脂肪组织发育水平性别差异不明显,而成年后男性体脂含量百分比明显低于女性,非脂肪组织重量是女性的两倍^[6],因此,在进入青春期以后,儿童青少年的体成分发育应该存在性别差异。本研究采用中国儿童青少年心血管健

康研究(China Child and Adolescent Cardiovascular Health Study, CCACH)调查数据,采用双能X线吸收法(dual energy X-ray absorptiometry, DXA)技术精准评估身体脂肪及非脂肪含量,描述儿童青少年脂肪组织、非脂肪组织的发育特征,比较性别差异,衡量BMI反映体内脂肪含量的可靠性,有助于界定及发展适宜的肥胖诊断技术和标准,探讨肥胖的易患阶段和危险因素,探索青春期发育与体成分的关系等,从而可为临床及公共卫生领域提供更多信息。

对象与方法

1. 研究对象:来源于CCACH研究,采用分层整群抽样方法,将秦岭-淮河作为中国南北分界线,分别抽取南方和北方共计7个城市,按年级整群抽样,包括长春、北京、天津、济南、上海、银川、重庆的3~17岁城市汉族儿童青少年10 867例^[7]。本研究的纳

入标准为调查城市常住儿童,排除标准:①未签署知情同意书;②近期服用影响骨密度及体成分的药物(如激素类);③肢体有残疾或体内有外科手术植入设备及支具等;④身高或体重超出设备的测量范围(体重≥204 kg,身高≥197.5 cm);⑤有骨折史;⑥存在影响骨密度体成分代谢的慢性疾病(如风湿免疫疾病、血液疾病、肝肾疾病等);⑦-4≤年龄别性别分组的BMI的Z值≤4;⑧妊娠。本研究通过首都儿科研究所伦理委员会批准(批准文号:2012062),所有调查对象均由监护人签署知情同意书。

2. 研究方法:

(1)调查问卷:主要包括人口学资料、既往病史等,要求家长和学生共同填写问卷,保证数据真实性。

(2)身体测量:身高测量精确到 0.1 cm;体重测量精确到 0.1 kg;身高和体重均测量 2 次,取平均值。采用美国 Hologic Discovery 系列 DXA 骨密度仪,按照国际临床骨密度测量学会(International Society for Clinical Densitometry, ISCD)的标准操作规范检测骨密度和体成分,其中重庆采用 Discovery-W 进行测量,其他 6 个城市采用 Discovery-A 仪器进行测量,Discovery-W 与 Discovery-A 之间用同一标准体模进行质控调试,误差在系统允许范围内;采用 Hologic 仪器自带专业体成分分析软件分析四肢及全身的脂肪组织质量和非脂肪组织质量。

3. 质量控制:①人员培训:操作人员均由 ISCD 认证的同一技师按照标准操作规范进行培训;②操作者质控:每名操作者重复扫描 15 名志愿者腰椎、髋关节部位各 3 次,计算准确度,每次扫描志愿者均需重新摆位;③机器质控:每日检测前,使用标准体模对机器进行系统质控。

4. 定义和判定标准:①超重/肥胖:3~5 岁儿童采用“中国 0~18 岁儿童、青少年体块指数的生长曲线”标准^[8],6~17 岁儿童采用“学龄儿童青少年超重与肥胖筛查”标准^[9],将所有研究对象分为正常体重、超重和肥胖 3 组;BMI=体重/身高²(kg/m²);②脂肪质量指数(fat mass index, FMI)=全身脂肪质量/身高²(kg/m²);③非脂肪组织质量指数(fat free mass index, FFMI)=全身非脂肪组织质量/身高²(kg/m²);④体脂肪含量百分比(fat mass percentage, FMP)=全身脂肪质量/体重×100%。

5. 统计学分析:数据采用 EpiData 3.0 软件双录入,采用 SAS 9.4 软件对数据进行整理、逻辑核查;采

用 SPSS 20.0 软件进行统计学分析。采用 $\bar{x} \pm s$ 描述 FMI、FFMI 及 FMP 随年龄变化情况,采用简单相关分析方法分析相关关系,采用简单 r 表示 BMI 和 FMI 的关联。数值型变量的组间比较采用 t 检验,随年龄变化趋势采用线性回归分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 一般特征:共纳入 10 867 例 3~17 岁儿童青少年,男生 5 512 人(50.7%),女生 5 355 人(49.3%),年龄为(11.6±4.4)岁,其中男生(11.4±4.4)岁,女生(11.7±4.5)岁。

2. 4 种体成分指标水平:具体各指标($\bar{x} \pm s$)随年龄变化曲线见图 1, 2。

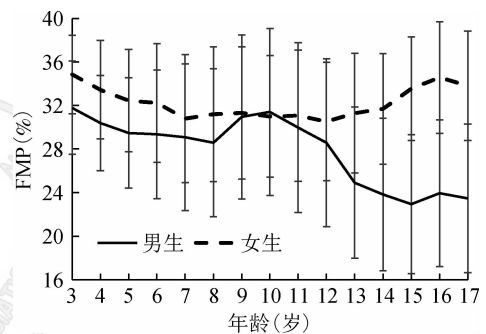
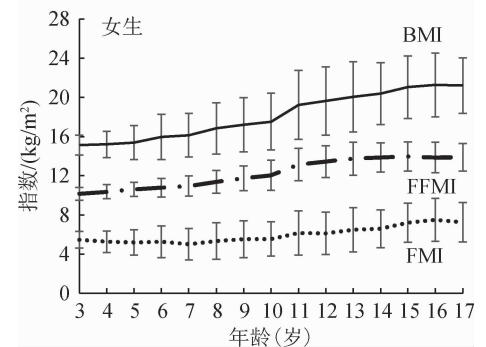
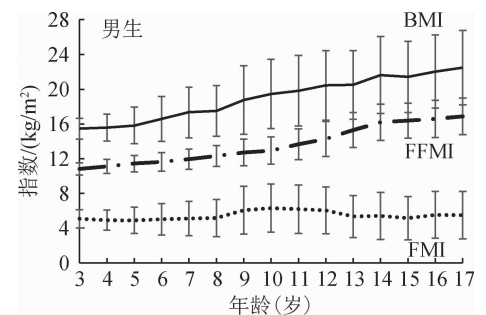


图 1 中国 7 个城市 3~17 岁儿童体脂肪含量百分比(FMP)随年龄变化曲线



注:FMI为脂肪质量指数;FFMI为非脂肪组织质量指数
图 2 中国 7 个城市 3~17 岁儿童不同体成分质量指数随年龄变化曲线

(1) FMP: 男生 FMP 在 10~15 岁组随年龄增长迅速下降 [$\beta = -1.811$ (95% CI: $-1.987 \sim -1.635$), $t = -20.182$, $P < 0.001$], 15 岁以后变化不明显 [$\beta = 0.215$ (95% CI: $-0.188 \sim 0.619$), $t = 1.045$, $P = 0.296$]; 女生 FMP 在 3~7 岁组有随年龄增长而下降的趋势 [$\beta = -0.896$ (95% CI: $-1.100 \sim -0.691$), $t = -8.585$, $P < 0.001$], 7~12 岁变化不明显 [$\beta = -0.050$ (95% CI: $-0.204 \sim 0.103$), $t = -0.643$, $P = 0.520$], 12~15 岁随年龄增长增速明显 [$\beta = 0.989$ (95% CI: $0.753 \sim 1.224$), $t = 8.236$, $P < 0.001$], 15 岁以后变化不明显 [$\beta = 0.069$ (95% CI: $-0.217 \sim 0.354$), $t = 0.471$, $P = 0.638$]。除 9 岁 ($t = -0.704$, $P = 0.482$) 和 10 岁 ($t = -0.780$, $P = 0.436$) 组以外, 女生 FMP 高于男生 (均 $P < 0.05$)。

(2) BMI: 总体上男生 BMI 高于女生 (除外 11 岁组, $t = 1.922$, $P = 0.055$; 13 岁组, $t = 1.455$, $P = 0.146$; 15 岁组, $t = 1.525$, $P = 0.128$; 其他年龄组均 $P < 0.05$)。

(3) FFMI: 男生 FFMI 在 3~17 岁各个年龄段均明显高于女生 (均 $P < 0.05$), 11 岁以后, 女生和男生的 FFMI 差异间距变大。

(4) FMI: 男生和女生的 FMI 随年龄变化的生长曲线有交叉, 略有随年龄增长而增加的趋势 [男生: $\beta = 0.033$ (95% CI: $0.018 \sim 0.048$), $t = 4.364$, $P < 0.001$; 女生: $\beta = 0.192$ (95% CI: $0.181 \sim 0.204$), $t = 32.385$, $P < 0.001$]。

3. 不同体重状态儿童体成分变化特征: 学龄前 3~6 岁是 BMI 开始增加的年龄, 即脂肪重聚年龄肥胖组小于超重组和正常体重组; 男生不同体重状态

组 BMI、FFMI 随年龄变化情况类似; 随着年龄的增加, 男生正常体重组 FMI 随年龄增长略有降低趋势, 一直保持在 5 kg/m^2 以下 [$\beta = -0.011$ (95% CI: $-0.020 \sim -0.003$), $t = -2.573$, $P = 0.010$], 超重组 [$\beta = 0.114$ (95% CI: $0.091 \sim 0.136$), $t = 9.934$, $P < 0.001$] 和肥胖组 [$\beta = 0.211$ (95% CI: $0.176 \sim 0.245$), $t = 12.096$, $P < 0.001$] 的 FMI 有明显的增加趋势; 不同体重状态组男生 FMP 在 10 岁以后呈现随年龄增长而下降趋势 [正常体重组: $\beta = -0.836$ (95% CI: $-0.924 \sim -0.748$), $t = -18.687$, $P < 0.001$; 超重组: $\beta = -1.090$ (95% CI: $-1.269 \sim -0.910$), $t = -11.923$, $P < 0.001$; 肥胖组: $\beta = -1.144$ (95% CI: $-1.321 \sim -0.967$), $t = -12.707$, $P < 0.001$]; 不同体重状态组女生的 BMI、FFMI、FMI 随年龄变化情况类似, 女性 FMI 在 8 岁以后呈现随年龄增长而上升趋势 [正常体重组: $\beta = 0.174$ (95% CI: $0.165 \sim 0.182$), $t = 40.452$, $P < 0.001$; 超重组: $\beta = 0.325$ (95% CI: $0.304 \sim 0.346$), $t = 29.777$, $P < 0.001$; 肥胖组: $\beta = 0.447$ (95% CI: $0.406 \sim 0.488$), $t = 21.483$, $P < 0.001$]; 女生 FMP 的变化 12 岁以后呈现随年龄增长明显增加的趋势 [正常体重组: $\beta = 0.963$ (95% CI: $0.851 \sim 1.074$), $t = 16.920$, $P < 0.001$; 超重组: $\beta = 0.910$ (95% CI: $0.695 \sim 1.125$), $t = 8.325$, $P < 0.001$; 肥胖组: $\beta = 0.895$ (95% CI: $0.569 \sim 1.221$), $t = 5.428$, $P < 0.001$]。见表 1, 2。

4. BMI 和 FMI 的相关性: 总体上来看, BMI 和 FMI 的相关性很强 (男生: $r = 0.767$; 女生: $r = 0.873$), 不同体重状态儿童青少年 BMI 和 FMI 的 r 不同, 见表 3。在正常体重、超重、肥胖组人群中, 男生各年

表 1 不同体重状态男生体成分质量指数及体脂肪含量百分比随年龄变化情况 ($\bar{x} \pm s$)

年龄 (岁)	正常体重 ($n = 3\ 678$)				超重 ($n = 956$)				肥胖 ($n = 878$)			
	BMI (kg/m^2)	FMI (kg/m^2)	FFMI (kg/m^2)	FMP (%)	BMI (kg/m^2)	FMI (kg/m^2)	FFMI (kg/m^2)	FMP (%)	BMI (kg/m^2)	FMI (kg/m^2)	FFMI (kg/m^2)	FMP (%)
3	15.0±0.8	4.7±0.6	10.7±0.7	30.6±3.3	17.1±0.4	6.4±0.9	11.3±0.5	36.1±4.1	18.9±0.7	7.7±2.1	11.7±1.5	39.7±9.5
4	15.0±0.8	4.5±0.7	10.9±0.7	29.3±3.5	16.9±0.3	5.6±0.7	11.6±0.7	32.4±3.7	19.1±1.2	7.4±1.4	12.3±0.7	37.2±4.2
5	14.9±0.9	4.2±0.6	11.1±0.7	27.5±3.1	17.0±0.4	5.6±0.8	11.9±0.7	31.9±4.1	20.0±1.8	7.8±1.4	12.7±1.1	37.9±4.4
6	15.0±1.1	4.1±0.8	11.1±0.7	26.6±3.8	17.6±0.5	5.3±1.0	12.2±0.7	30.2±4.4	20.8±2.0	7.9±1.6	12.9±1.0	37.6±4.8
7	15.5±1.1	4.0±1.0	11.5±0.9	25.5±4.6	18.3±0.6	5.6±1.0	12.2±0.9	31.5±4.7	22.1±2.1	8.1±1.6	13.2±1.1	37.8±4.5
8	15.8±1.2	4.0±0.9	11.8±0.9	25.2±4.3	19.1±0.7	6.2±1.3	12.8±0.9	32.4±4.9	22.7±2.0	8.7±1.8	13.8±1.1	38.5±4.3
9	16.1±1.4	4.3±1.1	11.8±0.9	26.2±4.8	19.8±0.8	6.9±1.3	13.1±1.0	34.2±4.4	24.9±2.7	10.1±2.0	14.6±1.4	40.5±4.5
10	16.6±1.5	4.4±1.2	12.1±0.9	26.2±4.9	20.9±0.9	7.6±1.6	13.3±1.0	36.3±4.0	25.3±2.4	10.0±1.7	14.8±1.5	40.3±4.0
11	17.3±1.7	4.5±1.3	12.9±1.3	25.8±5.3	21.6±0.9	7.2±1.6	14.4±1.4	33.4±6.1	26.7±2.4	10.7±1.8	15.7±1.6	40.5±3.8
12	17.7±1.8	4.4±1.3	13.3±1.5	24.4±5.6	22.6±1.0	7.2±1.7	15.1±1.7	32.2±6.0	27.0±2.0	10.2±1.7	16.5±1.7	38.1±4.5
13	18.2±1.6	4.0±1.1	14.5±1.5	21.4±4.4	23.1±1.1	6.8±1.4	16.1±1.7	29.7±5.2	28.3±2.4	10.0±1.5	18.1±1.9	35.6±4.0
14	18.8±1.9	3.8±1.0	15.1±1.4	19.9±3.8	23.8±1.1	6.8±1.6	17.0±1.3	28.2±5.4	29.3±2.5	9.7±2.4	19.1±1.5	33.2±5.6
15	19.2±1.8	3.9±1.2	15.5±1.4	20.0±3.8	24.4±1.1	6.8±1.5	17.6±1.2	27.6±4.9	29.7±2.4	9.8±2.3	19.5±1.7	33.2±5.4
16	19.8±1.9	4.3±1.6	15.8±1.7	21.0±4.7	24.8±1.0	7.1±1.4	17.6±1.3	28.5±4.8	30.5±2.7	10.3±2.5	19.8±1.9	33.9±5.4
17	20.2±1.9	4.2±1.6	16.0±1.5	20.6±5.0	25.3±1.1	7.1±1.4	18.0±1.2	28.0±4.5	31.0±2.6	10.3±2.4	20.2±1.9	33.3±5.5

注: FMI 为脂肪质量指数; FFMI 为非脂肪组织质量指数; FMP 为体脂肪含量百分比

表2 不同体重状态女生体成分质量指数及体脂肪含量百分比随年龄变化情况($\bar{x} \pm s$)

年龄(岁)	正常体重(n=4 086)				超重(n=823)				肥胖(n=446)			
	BMI (kg/m ²)	FMI (kg/m ²)	FFMI (kg/m ²)	FMP (%)	BMI (kg/m ²)	FMI (kg/m ²)	FFMI (kg/m ²)	FMP (%)	BMI (kg/m ²)	FMI (kg/m ²)	FFMI (kg/m ²)	FMP (%)
3	15.0±0.9	5.4±0.8	10.1±0.6	34.5±3.5	17.2±0.4	6.9±0.5	10.7±0.6	39.3±2.7	-	-	-	-
4	14.8±0.9	5.0±0.8	10.3±0.6	32.7±4.0	17.3±0.4	6.6±1.0	11.1±0.6	37.2±4.6	19.2±0.9	8.2±0.8	11.4±0.9	41.8±2.1
5	14.8±1.0	4.8±0.8	10.4±0.6	31.3±3.8	17.2±0.4	6.4±0.7	11.4±0.7	36.0±3.8	19.7±1.2	8.1±1.1	11.7±0.6	40.9±3.4
6	14.8±1.1	4.5±0.9	10.4±0.7	30.2±4.3	17.5±0.5	6.1±1.0	11.3±0.6	35.1±4.1	20.4±1.9	8.0±1.5	12.1±1.1	39.5±4.3
7	15.0±1.1	4.3±0.9	10.7±0.9	28.5±4.3	17.8±0.6	6.1±1.0	11.4±0.9	34.6±4.7	20.7±1.6	7.9±1.8	12.1±1.2	39.0±5.4
8	15.3±1.1	4.4±1.0	10.9±0.9	28.5±4.6	18.3±0.7	6.2±1.2	12.0±0.9	34.1±4.7	21.8±1.9	8.6±1.6	12.7±1.1	40.1±3.9
9	15.7±1.3	4.6±1.0	11.3±1.0	28.6±4.6	19.2±0.8	7.0±1.1	12.3±1.1	36.0±4.0	22.5±1.7	8.8±1.4	13.4±1.0	39.5±3.9
10	16.0±1.5	4.8±1.1	11.5±1.3	29.1±4.7	20.2±0.8	6.9±1.2	12.9±1.1	34.6±5.0	24.1±2.0	9.1±1.5	14.5±1.4	38.3±4.0
11	17.2±1.5	4.9±1.1	12.4±1.2	28.0±4.2	21.4±0.8	7.5±1.2	13.8±1.2	35.2±4.3	25.6±2.5	10.0±1.6	15.4±1.4	39.2±3.6
12	17.7±1.6	5.0±1.0	12.7±1.1	28.1±3.8	22.2±1.0	7.6±1.3	14.5±1.0	34.3±4.0	26.8±2.1	10.3±1.8	16.0±1.5	38.9±3.6
13	18.4±1.8	5.5±1.2	13.1±1.2	29.4±4.4	23.0±1.0	8.2±1.3	15.0±1.0	35.2±3.9	28.7±2.2	11.6±1.6	17.0±1.4	40.5±3.2
14	19.1±1.8	5.9±1.3	13.4±1.1	30.3±4.4	23.9±1.1	8.7±1.3	15.2±0.9	36.2±3.7	28.9±1.8	11.0±2.0	16.9±1.8	39.1±3.8
15	19.7±1.8	6.4±1.2	13.4±1.0	32.1±4.0	24.5±1.1	9.2±1.2	15.3±1.2	37.6±3.7	28.9±2.0	11.8±1.2	17.0±1.4	41.0±2.5
16	20.0±1.9	6.7±1.3	13.4±1.1	33.1±4.3	25.0±1.0	9.8±1.3	15.2±1.2	39.1±3.6	29.6±2.2	12.8±1.8	17.0±1.7	43.0±4.1
17	20.3±1.8	6.7±1.5	13.6±1.2	32.8±4.5	25.1±1.1	9.6±1.3	15.4±0.9	38.3±3.7	29.8±1.6	12.8±1.9	16.6±1.0	43.2±4.4

注:FMI为脂肪质量指数;FFMI为非脂肪组织质量指数;FMP为体脂肪含量百分比

表3 不同体重状态儿童青少年BMI和脂肪质量指数的相关分析

组别	合计		正常体重		超重		肥胖	
	r	人数	r	人数	r	人数	r	人数
男生								
3~	0.872 ^a	713	0.580 ^a	552	0.489 ^a	87	0.786 ^a	74
6~	0.907 ^a	2 221	0.643 ^a	1 379	0.606 ^a	399	0.794 ^a	443
12~17	0.839 ^a	2 579	0.462 ^a	1 747	0.336 ^a	470	0.533 ^a	362
女生								
3~	0.860 ^a	658	0.727 ^a	574	0.576 ^a	53	0.790 ^a	31
6~	0.864 ^a	2 020	0.590 ^a	1 396	0.526 ^a	369	0.749 ^a	255
12~17	0.879 ^a	2 678	0.747 ^a	2 116	0.709 ^a	401	0.615 ^a	161
合计								
3~	0.835 ^a	1 371	0.607 ^a	1 126	0.590 ^a	140	0.767 ^a	105
6~	0.884 ^a	4 241	0.579 ^a	2 775	0.555 ^a	768	0.784 ^a	698
12~17	0.778 ^a	5 255	0.538 ^a	3 863	0.431 ^a	871	0.465 ^a	521

注:^a简单相关分析,P<0.05

龄组超重组的r均最低,肥胖组最高;女生3~5岁组和6~11岁组也同样表现为超重组r最低,肥胖组最高,而12~17岁组儿童青少年的肥胖组r最低,正常体重组最高。

讨 论

本研究结果显示,3~17岁儿童青少年脂肪组织和非脂肪组织随年龄增长发育的特点不一致,不同体重状态儿童青少年BMI和FMI的r不同。人的体成分包括非脂肪组织和脂肪组织,非脂肪组织主要包括肌肉和骨骼,是维护心血管代谢健康的有利因素,而体脂肪过度积累会引起肥胖等一系列慢性代谢性疾病,因此有必要采用更精准的方法来评估体成分。已有研究显示,BMI与青少年皮下脂肪以及总的脂肪含量相关^[10],是判断儿童青少年肥胖的良

好指标,能够预示后期疾病发生和死亡的危险^[11]。成年人的研究显示,BMI和骨骼肌质量指数相关性很强,尤其是和超重/肥胖男性的相关性高^[12]。BMI最重要的局限性表现在不能准确的区分脂肪组织和非脂肪组织,且具有性别和种族间差异^[13]。

本研究的儿童青少年在脂肪重聚年龄以后^[14],男生BMI和FFMI的发育变化趋势整体类似,均保持增加趋势,而女生BMI和FFMI总体均随年龄的增长而增加,但11岁以后,FFMI增速更加平缓,和男生FFMI差距也越来越大。说明不管男生还是女生,在脂肪重聚年龄以后,BMI整体处于增加趋势,但是在各年龄段不同性别间的身体脂肪组织和非脂肪组织的发育特征并不相同,尤其在11岁以上男生中,非脂肪组织的增加贡献了BMI增长的大部分。此外,男生和女生FMP随年龄增长发育特点不一

致, 10 岁以后男生 FMP 明显呈现随年龄增长而下降趋势, 女生 12 岁以后 FMP 呈现明显随年龄增长而增加趋势, 在 15 岁以后男生和女生的 FMP 随年龄变化趋势不明显。而且, BMI 和 FMI 的 r 在超重的男生中较低, 尤其是 12~17 岁组已经进入青春期的男生。综上所述, BMI 曲线明显的掩盖了男生(尤其青春期男生)体内脂肪发育的特征, 将 BMI 作为评估体脂肪发育指标时, 由于不能区分脂肪组织和非脂肪组织, 在男生中评估肥胖将造成更多的错分。

韩国第四次国家健康与营养调查(KNHANES)显示^[15], 10~15 岁女孩的 FMI 和 FMP 均表现为逐渐增加趋势, 并在之后维持平稳, 而男生 10 岁以后 FMI 逐渐下降直到 15 岁以后稍有升高, 男生 FMP 在 10~15 岁之间逐渐降低, 并保持低水平。研究结果在趋势上和本研究 10 岁以后儿童青少年体成分变化趋势一致。美国 2008 年国家健康统计中心数据分析了美国 8~20 岁人群的体成分^[16], 并分别显示了白人和黑人的结果, 趋势和本研究同样类似。英国 4~20 岁体成分新参考曲线各指标趋势也和本研究同年龄段结果类似^[17]。不同种族间学龄儿童青少年体成分在数值上有区别, 在发育趋势上较为一致。

本研究采用整群抽样的方法, 对我国多城市的儿童进行调查, 样本量大具有一定代表性, 并且调查员经过严格的培训, 仪器经过严格的准确性校正, 现场调查时定期实施质控, 研究结果可信度较高。此外, 国内大部分现场调查均采用皮褶厚度法或者生物电阻抗法来评价儿童体成分^[18-21], 本研究采用 DXA 评估体成分准确性更高, 且样本量大、研究对象年龄范围广。本研究的局限性在于横断面调查无法说明因果联系, 如肥胖组脂肪重聚年龄明显早于超重组和正常体重组, 需要纵向研究结果来证实脂肪重聚年龄与青少年时期以及成年后体重状态之间的联系。其次, 本研究人群仅包括城市人群, 将研究结果外推至我国农村儿童时需谨慎。

总之, 在 10~12 岁以后, 和女生相比, 男生更多的以非脂肪组织, 即骨骼肌肉的增加为主。BMI 和 FMI 的变化特征不一致, 尤其男生的 BMI 曲线掩盖了体脂肪变化的特征, 有必要对儿童进行更精准的体成分评估。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

CCACH 项目组:程红、侯冬青、赵小元、刘军廷、黄贵民、孟玲慧、陈芳芳、王文鹏、单馨影(首都儿科研究所); 刘琴(首都儿科研究所附属儿童医院); 米杰、闫银坤(国家儿童医学中心 首都医科大学附属北京儿童医院); 熊丰、朱高慧(重庆医科大学附属儿童医院); 孙景辉、王晓娜、李影(吉林大学第一医院); 刘功姝、刘恩庆、潘蕾(天津

市妇女儿童保健中心); 严卫丽、刘芳、张羿、程毅、陈少科、赵倩、曹芳、穆锴、牛大彦(复旦大学附属儿科医院); 席波、赵敏(山东大学); 丁文清、张玲、贾磊娜(宁夏医科大学)

志谢 感谢所有参与 CCACH 调查的项目组成员及所有参与调查的受试者的辛勤付出

参 考 文 献

- [1] Garvey WT, Garber AJ, Mechanick JI, et al. American association of clinical endocrinologists and American college of endocrinology position statement on the 2014 advanced framework for a new diagnosis of obesity as a chronic disease [J]. *Endocr Pract*, 2014, 20(9): 977-989. DOI: 10.4158/EP14.280.PS.
- [2] Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM, et al. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey [J]. *BMJ*, 2000, 320(7244): 1240. DOI: 10.1136/bmj.320.7244.1240.
- [3] Dietz WH, Robinson TN. Use of the body mass index (BMI) as a measure of overweight in children and adolescents [J]. *J Pediatr*, 1998, 132(2): 191-193. DOI: 10.1016/S0022-3476(98)70426-3.
- [4] Power ML. The evolution of obesity [J]. *Ann Clin Biochem: Int J Lab Med*, 2013, 51(5): 622-623. DOI: 10.1177/0004563213509550.
- [5] 陈芳芳, 米杰. 儿童生长发育和营养状况评价标准的应用及局限性 [J]. *中国循证儿科杂志*, 2008, 3(6): 461-470. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5501.2008.06.010.
Chen FF, Mi J. Application of evaluation criteria for children development and nutrition and its limitation [J]. *Chin J Evid Based Pediatr*, 2008, 3(6): 461-470. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5501.2008.06.010.
- [6] Wang YF. Is obesity associated with early sexual maturation? A comparison of the association in American boys versus girls [J]. *Pediatrics*, 2002, 110(5): 903-910. DOI: 10.1542/peds.110.5.903.
- [7] Liu JT, Wang L, Sun JH, 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. DOI: 10.1136/bmjopen-2016-014542.
- [8] 李辉, 季成叶, 宗心南, 等. 中国 0~18 岁儿童、青少年体块指数的生长曲线 [J]. *中华儿科杂志*, 2009, 47(7): 493-498. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2009.07.004.
Li H, Ji CY, Zong XN, et al. Body mass index growth curves for Chinese children and adolescents aged 0 to 18 years [J]. *Chin J Pediatr*, 2009, 47(7): 493-498. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2009.07.004.
- [9] 国家卫生和计划生育委员会. WS/T 586-2018 学龄儿童青少年超重与肥胖筛查 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
National Health Commission of the People's Republic of China. WS/T 586-2018 Screening for overweight and obesity among school-age children and adolescents [S]. Beijing: Standards Press of China, 2018.

- [10] Himes JH, Dietz WH. Guidelines for overweight in adolescent preventive services: recommendations from an expert committee. The expert committee on clinical guidelines for overweight in adolescent preventive services[J]. *Am J Clin Nutr*, 1994, 59(2): 307-316. DOI: 10.1093/ajcn/59.2.307.
- [11] Liang YJ, Hou DQ, Zhao XY, et al. Childhood obesity affects adult metabolic syndrome and diabetes[J]. *Endocrine*, 2015, 50(1): 87-92. DOI: 10.1007/s12020-015-0560-7.
- [12] 王政和, 阳益德, 王烁, 等. 超重肥胖人群四肢骨骼肌质量指数与主要体测指标的关联分析[J]. *中华预防医学杂志*, 2017, 51(8): 746-750. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2017.08.016. Wang ZH, Yang YD, Wang S, et al. Analysis of association between appendicular skeletal muscle mass index and main anthropometric parameters among overweight and obese adults in China [J]. *Chin J Prev Med*, 2017, 51(8): 746-750. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2017.08.016.
- [13] Chung S. Body mass index and body composition scaling to height in children and adolescent [J]. *Ann Pediatr Endocrinol Metab*, 2015, 20(3): 125-129. DOI: 10.6065/apem.2015.20.3.125.
- [14] 全国儿童期单纯肥胖症研究协作组, 中国疾病预防控制中心妇幼保健中心. 全国0~6岁儿童单纯性肥胖流行病学研究[J]. *中华儿科杂志*, 2008, 46(3): 179-184. DOI: 10.3321/j.issn:0578-1310.2008.03.005. The National Task Force on Childhood Obesity, National Center for Women's and Children's Health. National epidemiological survey on childhood obesity, 2006 [J]. *Chin J Pediatr*, 2008, 46(3): 179-184. DOI: 10.3321/j.issn:0578-1310.2008.03.005.
- [15] Kang MJ, Hong HS, Chung SJ, et al. Body composition and bone density reference data for Korean children, adolescents, and young adults according to age and sex: results of the 2009-2010 Korean National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES) [J]. *J Bone Miner Metab*, 2016, 34(4): 429-439. DOI: 10.1007/s00774-015-0686-y.
- [16] Kelly TL, Wilson KE, Heymsfield SB. Dual energy X-Ray absorptiometry body composition reference values from NHANES [J]. *PLoS One*, 2009, 4(9): e7038. DOI: 10.1371/journal.pone.0007038.
- [17] Wells JC, Williams JE, Chomtho S, et al. Body-composition reference data for simple and reference techniques and a 4-component model: a new UK reference child [J]. *Am J Clin Nutr*, 2012, 96(6): 1316-1326. DOI: 10.3945/ajcn.112.036970.
- [18] 何春燕, 陶芳标, 孙莹, 等. 安徽省7~18岁学生体成分人体测量指标的年龄性别特征和城乡差异 [J]. *现代预防医学*, 2007, 34(17): 3286-3288, 3290. DOI: 10.3969/j.issn.1003-8507.2007.17.033. He CY, Tao FB, Sun Y, et al. Distribution of body composition indexes of students aged from 7 to 18 in Anhui province by age and gender and the urban-rural difference [J]. *Mod Prev Med*, 2007, 34(17): 3286-3288, 3290. DOI: 10.3969/j.issn.1003-8507.2007.17.033.
- [19] 张迎修. 山东省7~12岁儿童皮褶厚度及体成分的10年变化趋势 [J]. *人类学学报*, 2008, 27(2): 167-173. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3193.2008.02.008. Zhang YX. Trends in skinfold thickness and body composition of children aged 7-12 in Shandong province from 1995 to 2005 [J]. *Acta Anthropol Sin*, 2008, 27(2): 167-173. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3193.2008.02.008.
- [20] 及春兰. 学龄前儿童人体成分分析 [J]. *中国妇幼保健*, 2015, 30(29): 4989-4991. DOI: 10.7620/zgfybj.j.issn.1001-4411.2015.29.25. Ji CL. Body composition analysis among preschool children [J]. *Matern Child Health Care China*, 2015, 30(29): 4989-4991. DOI: 10.7620/zgfybj.j.issn.1001-4411.2015.29.25.
- [21] 许立军, 曾国章, 杨梅凤, 等. 厦门市学龄前儿童体成分分析 [J]. *中国妇幼保健*, 2017, 32(5): 985-987. DOI: 10.7620/zgfybj.j.issn.1001-4411.2017.05.39. Xu LJ, Zeng GZ, Yang MF, et al. Body composition analysis among preschool children in Xiamen city [J]. *Matern Child Health Care China*, 2017, 32(5): 985-987. DOI: 10.7620/zgfybj.j.issn.1001-4411.2017.05.39.

(收稿日期: 2019-05-15)

(本文编辑: 万玉立)