

儿童青少年身体脂肪分布与维生素 D 营养状况的关联研究

程红¹ 肖培² 侯冬青¹ 郁兆仓³ 朱忠信⁴ 王宏健⁵ 高爱钰⁶ 赵小元¹
李海波¹ 米杰²

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; ³北京市通州区中小学卫生保健所 101100; ⁴北京市密云区中小学卫生保健所 101500; ⁵北京市房山区中小学卫生保健所 102400; ⁶北京市东城区中小学卫生保健所 100009

通信作者:米杰,Email:jiemi12@vip.sina.com

【摘要】 目的 探讨儿童身体脂肪分布与维生素 D 营养状况的关系。方法 研究对象来自“儿童青少年心血管与骨健康促进项目”2017 年北京基线调查。采用多重线性回归和无序多分类 logistic 回归分析 BMI、全身脂肪质量指数(FMI)、躯干脂肪质量指数(TFMI)、四肢脂肪质量指数(AFMI)和内脏脂肪面积(VFA)与维生素 D 水平及营养状况的关系。结果 共纳入 11 960 名儿童[年龄(11.0±3.3)岁,男童占 49.7%]进行分析,血清 25(OH)D 水平为(35.0±11.9) nmol/L,维生素 D 缺乏率为 37.2%。BMI、FMI、TFMI 和 AFMI 与维生素 D 的关联性具有性别差异(交互 $P < 0.05$),在男童中呈负相关(BMI: $\beta = -0.56$; FMI: $\beta = -0.59$; TFMI: $\beta = -0.60$; AFMI: $\beta = -0.59$; 均 $P < 0.05$),在女童中关联无统计学意义(均 $P > 0.05$)。VFA 与维生素 D 缺乏和不足风险在男女童中均呈正相关,VFA 每增加 1 个标准差,维生素 D 缺乏和不足的患病风险均增加 17%(95%CI:9%~25%)。结论 儿童内脏脂肪水平越高维生素 D 水平越低,腹型肥胖儿童和体脂肪过多的男童是维生素 D 缺乏防控的重点人群。

【关键词】 儿童; 维生素 D; 肥胖; 体脂肪

基金项目:国家自然科学基金(81973110);国家重点研发计划(2016YFC0900602)

Study on the association between vitamin D and body fat distribution in children and adolescents

Cheng Hong¹, Xiao Pei², Hou Dongqing¹, Yu Zhaocang³, Zhu Zhongxin⁴, Wang Hongjian⁵, Gao Aiyu⁶, Zhao Xiaoyuan¹, Li Haibo¹, Mi Jie²

¹Department of Epidemiology, Capital Institute of Pediatrics, Beijing 100020, China; ²Department of Non-communicable Disease Management, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, National Center for Children's Health, Beijing 100045, China; ³Beijing Tongzhou Primary and Secondary School Health Center, Beijing 101100, China; ⁴Beijing Miyun Primary and Secondary School Health Center, Beijing 101500, China; ⁵Beijing Fangshan Primary and Secondary School Health Center, Beijing 102400, China; ⁶Beijing Dongcheng Primary and Secondary School Health Center, Beijing 100009, China

Corresponding author: Mi Jie, Email: jiemi12@vip.sina.com

【Abstract】 Objective To investigate the association of vitamin D with distribution of body fat in children and adolescents. **Methods** Data were obtained from the baseline survey of School-based Cardiovascular and Bone Health Promotion Program in 2017. Multiple linear

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20201130-01359

收稿日期 2020-11-30 本文编辑 李银鸽

引用本文:程红,肖培,侯冬青,等.儿童青少年身体脂肪分布与维生素 D 营养状况的关联研究[J].中华流行病学杂志,2021,42(3):469-474. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20201130-01359.



regression and multinomial logistic regression models were applied to analyze the relationships of body mass index (BMI), fat mass index (FMI), trunk fat mass index (TFMI), appendicular fat mass index (AFMI), and visceral fat area (VFA) with vitamin D level and status in children and adolescents.

Results A total of 11 960 children and adolescents were included in the analysis (boys accounting for 49.7%). The average age and serum vitamin D level of study population were (11.0±3.3) years and (35.0±11.9) nmol/L, respectively. The deficiency rate of vitamin D was 37.2%. Gender-specific associations of BMI, FMI, TFMI, and AFMI with vitamin D level were found (P for interaction <0.05): they were inversely associated with vitamin D level in boys (BMI: β = -0.56; FMI: β = -0.59; TFMI: β = -0.60; AFMI: β = -0.59; all P < 0.05), but not in girls (P > 0.05). VFA was positively associated with vitamin D deficiency and insufficiency in both boys and girls, and the risks of vitamin D deficiency and insufficiency all increased by 17% (95%CI: 9%-25%) for per increment of standard deviation in VFA. **Conclusions** The higher level of visceral fat was associated with the lower vitamin D levels in children. Abdominal obese children and boys with excessive body fat are the key population in the prevention and control of vitamin D deficiency.

【Key words】 Children; Vitamin D; Obesity; Body fat

Fund programs: National Natural Science Foundation of China (81973110); National Key Research and Development Program of China (2016YFC0900602)

伴随着社会经济的发展,肥胖和维生素D缺乏已成为儿童中重要的公共卫生问题^[1-2]。2014年我国7~18岁儿童超重肥胖检出率达19.4%^[2],同期的儿童维生素D缺乏和不足患病率达50%~80%^[1,3]。既往流行病学研究发现BMI与维生素D水平呈负向关系,维生素D缺乏不足在超重肥胖儿童中相对高发^[4]。但BMI作为肥胖的简易评价指标,尚不能准确反映全身的体脂肪量,并且无法区分各局部脂肪蓄积状态。而研究提示不同部位脂肪代谢特征具有差异,腹部尤其是内脏脂肪的聚集更易引起机体的代谢紊乱^[5]。目前我国关于儿童体脂肪量及其分布与维生素D营养状况关系的研究相对较少。因此,本研究利用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)的调查数据,探讨全身、躯干、四肢和内脏脂肪量与维生素D营养状况的关系,为了解儿童维生素D缺乏防控的重点人群提供循证依据。

对象与方法

1. 研究对象:资料来源于SCVBH项目2017年11月至2018年1月在北京开展的基线调查,其研究方案及调查结果见已发表文献^[6]。其采用分层整群抽样的方法在北京市东城、房山、密云和通州区的30所学校对一至四年级、初中一年级和高中一年级的学生进行了调查,排除因外伤和疾病等未参加体检者,共15 391名6~16岁儿童参与了本次调查。排除体成分指标($n=174$)和维生素D检测结

果($n=3 257$)缺失者后,本研究最终纳入11 960名儿童进行分析。研究方案通过首都儿科研究所伦理委员会批准(批号:SHERLL2016026),研究对象及其监护人均已阅读并签署知情同意书。

2. 研究方法:

(1)问卷调查:通过问卷收集一般人口学特征、生活行为因素(吸烟、饮酒、膳食和运动)及疾病史等信息。

(2)体格检查:①要求受试者穿轻薄衣物,采用经校准的仪器测量身高和体重,连续测量2次,取平均值作为结果,计算BMI。②通过八电极生物阻抗法(H-Key350,北京四海华辰科技有限公司)测量体成分,记录全身脂肪质量、躯干脂肪质量、四肢脂肪质量和内脏脂肪面积(visceral fat area, VFA),根据参考文献^[7]计算下列指标:全身体脂肪质量指数(fat mass index, FMI)=脂肪质量(kg)/身高(m)²,躯干脂肪质量指数(trunk fat mass index, TFMI)=躯干脂肪质量(kg)/身高(m)²,四肢脂肪质量指数(appendicular fat mass index, AFMI)=四肢脂肪质量(kg)/身高(m)²。

(3)维生素D检测:收集空腹12 h后的静脉血5 ml,静置30 min后,1 509.3×g离心10 min,分离血清进行检测。采用化学发光免疫法(DiaSorin公司)检测血清25(OH)D浓度,作为衡量维生素D水平的指标。

3. 变量定义:

(1)协变量:考虑到一些生活行为和发育因素与维生素D水平和体重状态均相关,可能造成混杂,故本研究按相关文献综述^[8]结合本调查收集

的内容选择下列因素在分析中进行控制。①尝试吸烟:参照美国心脏协会儿童青少年吸烟定义^[9],近1个月吸过≥1支完整的香烟。②尝试饮酒:参考WHO“全球学校学生健康调查”,指近1个月饮过≥1个标准量的酒(白酒1两/啤酒1听/葡萄酒120 ml)^[10]。③理想运动:平均每天中等及以上强度运动≥60 min^[9]。④膳食习惯:根据近1个月摄入5类食品的情况(蔬菜/水果≥1次/d;水产品≥1次/周;全谷物食品≥1次/d;豆/奶制品≥1次/d;含糖饮料<1次/周)分为3级,即理想(满足4~5项)、一般(满足2~3项)和较差(满足≤1项)。⑤青春期发育状态:按是否出现遗精(男生)或初潮(女生)分为已成熟和未成熟。⑥维生素D补充剂使用:过去半年服用过维生素D营养补充剂。

(2)体重状态:按照《学龄儿童青少年超重与肥胖筛查(WS/T 586-2018)》中相应的BMI界值者将体重状态分为正常和超重肥胖两组^[11]。

(3)维生素D营养状况:按照《人群维生素D缺乏筛查方法(WS/T 677-2020)》标准^[12],将25(OH)D浓度<30、30~、≥50 nmol/L分别判定为维生素D缺乏、不足和正常。

4. 统计学分析:本研究定量资料均呈近似正态分布,采用 $\bar{x}\pm s$ 描述,用 t 检验进行组间比较。通过频数(%)描述定性资料,组间比较采用 χ^2 检验。首先通过多重线性回归分析校正潜在混杂因素后全身脂肪和局部脂肪量与25(OH)D水平之间的关系。进一步将维生素D营养状况作为因变量,以维生素D充足为参照人群,考虑到维生素D水平与脂肪量可能存在非线性关系,故采用无序多分类logistic回归模型探讨全身脂肪和局部脂肪量与维生素D缺乏和不足患病风险的相关性。由于体脂肪量随儿童生长发育存在变异性及性别差异,故在多因素分析中均将体脂肪量进行性别和年龄别的 Z 值转换,并按性别进行分层分析,以检验性别和体脂肪是否存在交互作用。为检验结果的稳定性,按体重状态分组进行敏感性分析,采用广义加性模型探索体脂肪量与25(OH)D水平的非线性关系。所有分析均以双侧检验 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。统计分

析采用R 3.4.2软件。

结 果

1. 基本特征:共11 960名6~16岁儿童(男童占49.7%)纳入分析,平均年龄(11.0±3.3)岁。研究人群平均25(OH)D水平(35.0±11.9)nmol/L,维生素D缺乏和不足分别为4 448人(占37.2%)和6 228人(占52.1%)。不同性别的维生素D水平及营养状况分布差异有统计学意义,女童维生素D水平低于男童(33.3 nmol/L vs. 36.8 nmol/L, $t=16.6$, $P<0.001$),且维生素D缺乏率($\chi^2=252.8$, $P<0.001$)高于男童。全身和局部体脂肪量性别差异有统计学意义,男童的BMI、FMI、TFMI和AFMI水平高于女童($P<0.001$),而VFA水平低于女童($P<0.001$)。见表1。

2. 体脂肪量与维生素D水平的关联分析:多重线性回归分析结果发现,校正相关潜在混杂因素后,BMI、FMI、TFMI、AFMI和VFA均与维生素D水平呈线性负相关($P<0.05$),其中VFA每升高1个标准差,维生素D水平下降0.42个标准差(95%CI:

表1 研究对象的基本特征

基本特征	性别		t/χ^2 值	P值	合计 ($n=11\ 960$)
	男($n=5\ 949$)	女($n=6\ 011$)			
年龄(岁, $\bar{x}\pm s$)	11.0±3.2	11.1±3.3	1.66	0.098	11.0 ± 3.3
尝试吸烟(%)	107(1.8)	18(0.3)	63.53	<0.001	125(1.0)
尝试饮酒(%)	509(8.6)	326(5.4)	44.70	<0.001	835(7.0)
理想运动(%)	450(7.6)	209(3.5)	95.16	<0.001	659(5.5)
膳食习惯(%)			19.69	<0.001	
较差	1 809(30.4)	1 640(27.3)			3 449(28.9)
中等	2 962(49.8)	3 226(53.7)			6 188(51.7)
良好	1 178(19.8)	1 145(19.0)			2 323(19.4)
青春期发育成熟(%)	793(13.3)	2 841(47.3)	1 626	<0.001	3 634(30.4)
维生素D补充剂使用(%)	1 174(19.7)	1 195(19.9)	0.03	0.859	2 369(19.8)
维生素D营养状况			252.76	<0.001	
缺乏	1 809(30.4)	2 639(43.9)			4 448(37.2)
不足	3 360(56.5)	2 868(47.7)			6 228(52.1)
充足	780(13.1)	504(8.4)			1 284(10.7)
体脂肪量($\bar{x}\pm s$)					
BMI(kg/m ²)	20.7±4.8	19.7±4.3	12.68	<0.001	20.2 ± 4.6
FMI(kg/m ²)	5.0±3.1	5.5±2.9	10.01	<0.001	5.3 ± 3.0
AFMI(kg/m ²)	2.4±1.3	2.7±1.3	12.96	<0.001	2.6 ± 1.3
TFMI(kg/m ²)	2.2±1.7	2.4±1.7	7.48	<0.001	2.3 ± 1.7
VFA(cm ²)	51.7±40.7	58.0±41.0	8.47	<0.001	54.9 ± 41.0

注:FMI:全身脂肪质量指数;AFMI:四肢脂肪质量指数;TFMI:躯干脂肪质量指数;VFA:内脏脂肪面积

0.63~0.21, $P < 0.001$)。进一步按性别分层发现: BMI、FMI、TFMI 和 AFMI 与维生素 D 水平的关联性具有性别差异(交互 $P < 0.05$), 在女童中关联变得无统计学意义($P > 0.05$), 而在男童中仍有统计学意义($P < 0.05$); 而 VFA 与维生素 D 水平的相关性在男女女童中差异仍有统计学意义, 经交互作用检验结果显示 VFA 与性别对维生素 D 水平的交互作用无统计学意义(交互 $P > 0.05$)。见表 2。

按体重状态分层, 广义加性模型分析不同体重状态组脂肪量和维生素 D 水平的关系, 结果显示, FMI、TFMI、AFMI 和 VFA 在超重肥胖儿童中均与维生素 D 水平呈近似线性负相关, 但在体重正常组儿童中维生素 D 与 FMI、TFMI 和 AFMI 均呈倒“U”形关系, 而与 VFA 未呈现出明显的变化趋势。见图 1。

3. 体脂肪量与维生素 D 营养状况的关系: 以维生素 D 充足的儿童为参照组, 无序多分类 logistic 回归模型校正潜在混杂因素后结果显示, 各体脂肪评价指标均与维生素 D 缺乏和不足患病风险增高关

联有统计学意义($P < 0.05$)。但进一步按性别分层后发现: 在女童中 BMI、FMI、TFMI 和 AFMI 与维生素 D 缺乏和不足患病风险增高关联无统计学意义($P > 0.05$), 但 VFA 与维生素 D 缺乏($OR = 1.12$, $95\%CI: 1.00 \sim 1.24$)和不足($OR = 1.13$, $95\%CI: 1.01 \sim 1.25$)的患病风险增高关联仍有统计学意义; 在男童中各体脂肪评价指标与维生素 D 缺乏和不足患病风险增高关联仍有统计学意义($P < 0.05$); 但经交互作用检验不同性别的各部位体脂肪量与维生素 D 营养状况的关联性差异无统计学意义(交互 $P > 0.05$)。见表 3。

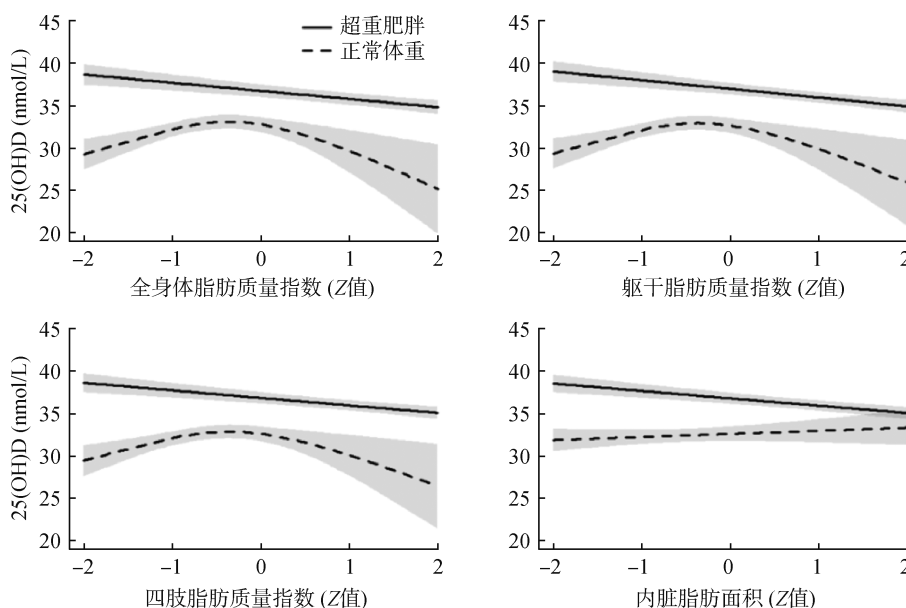
讨 论

维生素 D 是维持人体钙磷代谢平衡和骨骼形成的重要微量营养素, 据估计全球约 30%~50% 的人群维生素 D 缺乏或不足^[13]。儿童维生素 D 缺乏易增加佝偻病患病风险, 观察研究结果显示超重肥

表 2 全身及局部体脂肪量与 25(OH)D 水平关系的多重线性回归分析

体脂肪	总人群		男童		女童		交互 P 值
	β 值(95%CI)	P 值	β 值(95%CI)	P 值	β 值(95%CI)	P 值	
BMI	-0.32(-0.53~-0.11)	0.003	-0.56(-0.86~-0.25)	<0.001	-0.08(-0.36~-0.20)	0.579	0.003
FMI	-0.35(-0.56~-0.14)	<0.001	-0.59(-0.90~-0.29)	<0.001	-0.11(-0.40~-0.17)	0.429	0.002
AFMI	-0.36(-0.57~-0.15)	<0.001	-0.59(-0.90~-0.29)	<0.001	-0.14(-0.42~-0.14)	0.335	0.039
TFMI	-0.35(-0.56~-0.14)	<0.001	-0.60(-0.90~-0.29)	<0.001	-0.10(-0.39~-0.18)	0.472	0.028
VFA	-0.42(-0.63~-0.21)	<0.001	-0.64(-0.94~-0.33)	<0.001	-0.42(-0.71~-0.15)	0.003	0.058

注: 调整因素包括年龄、性别(分层分析时除外)、吸烟和饮酒行为、理想运动、膳食习惯、青春期发育状态、维生素 D 补充剂使用。体脂肪指标均经过性别和年龄别的 Z 值转换后纳入分析。FMI: 全身脂肪质量指数; AFMI: 四肢脂肪质量指数; TFMI: 躯干脂肪质量指数; VFA: 内脏脂肪面积。交互 P 值指性别和体脂肪交互作用项的统计学意义



注: 广义加性模型调整因素包括年龄、性别、吸烟和饮酒行为、理想运动、膳食习惯、青春期发育状态、维生素 D 补充剂使用

图 1 不同体重状态下体脂肪量与 25(OH)D 水平的非线性关系

表 3 体脂肪量与维生素 D 营养状况的无序多分类 logistic 回归分析(OR 值[95%CI])

体脂肪	缺乏				不足			
	总人群	男童	女童	交互 P 值	总人群	男童	女童	交互 P 值
BMI	1.13(1.05~1.21) ^a	1.18(1.08~1.29) ^a	1.06(0.96~1.18)	0.207	1.15(1.07~1.22) ^a	1.18(1.08~1.28) ^a	1.10(0.99~1.21)	0.387
FMI	1.13(1.06~1.21) ^a	1.19(1.09~1.30) ^a	1.07(0.97~1.19)	0.207	1.15(1.07~1.22) ^a	1.17(1.08~1.28) ^a	1.10(0.99~1.22)	0.465
FMP	1.10(1.03~1.18) ^b	1.15(1.05~1.25) ^b	1.05(0.95~1.16)	0.244	1.13(1.06~1.20) ^a	1.15(1.06~1.25) ^a	1.09(0.99~1.21)	0.546
EFMI	1.13(1.06~1.21) ^a	1.18(1.08~1.30) ^a	1.07(0.97~1.19)	0.198	1.14(1.07~1.22) ^a	1.16(1.07~1.27) ^a	1.10(0.99~1.22)	0.476
TFMI	1.14(1.06~1.22) ^a	1.19(1.09~1.30) ^a	1.07(0.97~1.19)	0.218	1.15(1.08~1.23) ^a	1.18(1.08~1.28) ^a	1.10(1.00~1.22)	0.502
VFA	1.17(1.09~1.25) ^a	1.21(1.10~1.32) ^a	1.12(1.00~1.24) ^c	0.397	1.17(1.09~1.25) ^a	1.19(1.09~1.30) ^a	1.13(1.01~1.25) ^c	0.607

注:以维生素 D 充足组为参照人群,调整因素包括年龄、性别(分层分析时除外)、吸烟和饮酒行为、理想运动、膳食习惯、青春期发育状态、维生素 D 补充剂使用;体脂肪指标均经过性别和年龄别的 Z 值转换后纳入分析;FMI:全身体脂肪质量指数,AFMI:四肢脂肪质量指数,TFMI:躯干脂肪质量指数,VFA:内脏脂肪面积;^a $P<0.001$;^b $P<0.01$;^c $P<0.05$;交互 P 值指性别和体脂肪交互作用项的统计学意义

胖儿童的维生素 D 缺乏不足率高于正常体重的儿童^[4]。本研究通过分析北京市儿童的全身和局部体脂肪量与维生素 D 营养状况的关系,结果发现:腹部脂肪与维生素 D 缺乏不足的关联性最强,且无性别差异;但全身体脂肪、躯干脂肪和四肢脂肪与维生素 D 缺乏不足的关联性具有性别差异,在男童中关联有统计学意义,在女童中未见统计学意义。

既往流行病学研究发现肥胖是维生素 D 缺乏的潜在危险因素。国外学者通过分析美国居民健康与营养调查(National Health and Nutrition Examination Survey, NHANES)数据发现,美国儿童维生素 D 缺乏率随着 BMI 水平的升高而显著增加($P<0.05$),与正常体重儿童相比,肥胖儿童的患病风险增加了 80%(OR=1.8, 95%CI: 1.3~2.5)^[4]。一项超重肥胖妇女参与的 2 年期减肥临床试验发现,体重减轻 5%~10% 后,维生素 D 水平平均增加了 12.5 nmol/L^[14]。研究表明,肥胖并不影响皮肤合成维生素 D 的水平,但在同等日照情况下,肥胖对维生素 D 的生物利用度相比非肥胖者下降了 57%^[15]。因为维生素 D 为脂溶性维生素,肥胖者过多的脂肪组织可增加对其的储留作用,从而使释放到循环中的维生素 D 水平减少^[16]。同时,脂肪组织过多可抑制 25 羟化酶和 1 α 羟化酶的表达,提示维生素 D 的羟化活化过程在肥胖个体中可能受损^[17]。此外,本研究的非线性分析结果显示,维生素 D 与全身、躯干和四肢的脂肪水平的关系随体重状态的变化而变化,在体重正常儿童中呈倒“U”形关系,在超重肥胖儿童中近似线性负相关,提示维生素 D 与这些部位脂肪量并非简单的线性关系,可能在 BMI 超过某一水平时,脂肪量是维生素 D 水平降低的危险因素,而 BMI 水平较低时维生素 D 水平随脂肪量的升高而增加。另一项来自我国儿童的多中心研究也

显示,维生素 D 水平与 BMI 在男女童中均呈近似倒“U”形关系^[1]。

本研究发现全身、躯干和四肢的体脂肪量与维生素 D 水平的关联性具有性别差异(交互 $P<0.05$),在男童中它们与维生素 D 缺乏和不足患病相关($P<0.05$),但在女童中关联无统计学意义($P>0.05$)。一项来自我国 7 城市儿童的调查研究也发现^[1],全身体脂肪量(FMI)与维生素 D 水平的关系具有性别差异(男童: $\beta=-0.86$, $P<0.001$;女童: $\beta=-0.27$, $P=0.231$)。此外,本研究结果发现男童和女童中内脏脂肪与维生素 D 缺乏不足的关联性差异均有统计学意义。Cheng 等^[18]通过对螺旋 CT 测量的皮下和内脏脂肪组织数据分析发现,相较于皮下脂肪,内脏脂肪的增加与维生素 D 状态改变的相关性更强。不同性别的局部脂肪与维生素 D 关系的差异性的机制尚不清楚。有学者认为,女性脂肪多分布在皮下和外周部位,相较于腹型肥胖,这种脂肪分布方式的代谢异常风险较低^[19],且女性的雌激素生理水平较高,从而影响维生素 D 的代谢过程,这可能造成脂肪组织与维生素 D 关系的性别差异^[20]。

相较于既往多分析 BMI 和全身体脂肪,本研究进一步探索了躯干、四肢和内脏脂肪与维生素 D 营养状况的关系,并比较了它们的性别差异。研究样本来源于以学校为基础的北京市儿童青少年,比以医院为基础的样本更具代表性,但考虑到不同地区和种族的儿童的肥胖和维生素 D 营养状况流行情况具有差异,因此研究结果的外推需谨慎。此外,本研究结果基于横断面分析,结论仍需前瞻性和实验性研究进一步验证。

综上所述,本研究结果提示儿童中腹部脂肪与维生素 D 缺乏不足的患病风险有关,且关联性强于全身、躯干和四肢脂肪。此外,男童中体脂肪量与

维生素 D 水平的关联性强于女童,暗示了肥胖男童是维生素 D 缺乏预防的重点人群。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

志谢 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(王莲革、尹钱、崔海洪、聂长琳);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(李宁翔、高素梅);北京市教育委员会(宋玉珍);首都儿科研究所(刘军廷、陈芳芳、黄贵民、王文鹏)

参 考 文 献

- [1] Li HB, Huang T, Xiao P, et al. Widespread vitamin D deficiency and its sex-specific association with adiposity in Chinese children and adolescents[J]. *Nutrition*, 2019, 71:110646. DOI:10.1016/j.nut.2019.110646.
- [2] 王烁,董彦会,王政和,等. 1985-2014 年中国 7~18 岁学生超重与肥胖流行趋势[J]. *中华预防医学杂志*, 2017, 51(4): 300-305. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2017.04.005. Wang S, Dong YH, Wang ZH, et al. Trends in overweight and obesity among Chinese children of 7-18 years old during 1985-2014[J]. *Chin J Prev Med*, 2017, 51(4): 300-305. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2017.04.005.
- [3] Hu YC, Chen J, Wang R, et al. Vitamin D nutritional status and its related factors for Chinese children and adolescents in 2010-2012[J]. *Nutrients*, 2017, 9(9):1024. DOI:10.3390/nu9091024.
- [4] Turer CB, Lin H, Flores G. Prevalence of vitamin D deficiency among overweight and obese US children[J]. *Pediatrics*, 2013, 131(1): e152-161. DOI: 10.1542/peds.2012-1711.
- [5] Yan YK, Liu JT, Zhao XY, et al. Regional adipose compartments confer different cardiometabolic risk in children and adolescents: the China child and adolescent cardiovascular health study[J]. *Mayo Clin Proc*, 2019, 94(10):1974-1982. DOI:10.1016/j.mayocp.2019.05.026.
- [6] 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. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 0253-9624.2018.11.005. Hou DQ, Gao AY, Zhu ZX, et al. The baseline characteristics of school-based cardiovascular and bone health promotion program in Beijing[J]. *Chin J Prev Med*, 2018, 52(11): 1117-1123. DOI: 10.3760/cma. j. issn. 0253-9624. 2018.11.005.
- [7] Hu JJ, Aris IM, Lin PID, et al. Longitudinal associations of modifiable risk factors in the first 1 000 days with weight status and metabolic risk in early adolescence[J]. *Am J Clin Nutr*, 2020, 113(1): 113-122. DOI: 10.1093/ajcn/nqaa297.
- [8] Dolinsky DH, Armstrong S, Mangarelli C, et al. The association between vitamin D and cardiometabolic risk factors in children: a systematic review[J]. *Clin Pediatr*, 2013, 52(3):210-223. DOI:10.1177/0009922812470742.
- [9] Steinberger J, Daniels SR, Hagberg N, et al. Cardiovascular health promotion in children: challenges and opportunities for 2020 and beyond: a scientific statement from the American Heart Association[J]. *Circulation*, 2016, 134(12): e236-255. DOI: 10.1161/CIR. 0000000000000441.
- [10] Brener ND, Kann L, Kinchen SA, et al. Methodology of the youth risk behavior surveillance system[J]. *MMWR Recomm Rep*, 2004, 53(RR-12):1-13.
- [11] 北京大学儿童青少年卫生研究所, 中国疾病预防控制中心营养与健康所, 中国疾病预防控制中心妇幼保健中心. 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. Institute of Child and Adolescent Health, Peking University, National Institute of Nutrition and Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention, National Maternal and Child Health Center, Chinese Center for Disease Control and Prevention. WS/T 586-2018 Screening for overweight and obesity among school-age children and adolescents[S]. Beijing: China Standards Press, 2018.
- [12] 中国疾病预防控制中心营养与健康所, 宁波市疾病预防控制中心, 深圳市慢性病防治中心, 等. WS/T 677-2020 人群维生素 D 缺乏筛查方法[S]. 北京:中国标准出版社, 2020. National Institute of Nutrition and Health, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Ningbo Center for Disease Control and Prevention, Shenzhen Center for Chronic Disease Prevention. WS/T 677-2020 Method for vitamin D deficiency screening[S]. Beijing: China Standards Press, 2020.
- [13] Holick MF. Vitamin D deficiency[J]. *N Engl J Med*, 2007, 357(3):266-281. DOI:10.1056/NEJMra070553.
- [14] Rock CL, Emond JA, Flatt SW, et al. Weight loss is associated with increased serum 25-hydroxyvitamin D in overweight or obese women[J]. *Obesity*, 2012, 20(11): 2296-2301. DOI:10.1038/oby.2012.57.
- [15] Wortsman J, Matsuoka LY, Chen TC, et al. Decreased bioavailability of vitamin D in obesity[J]. *Am J Clin Nutr*, 2000, 72(3):690-693. DOI:10.1093/ajcn/72.3.690.
- [16] Xiao P, Dong HB, Li HB, et al. Adequate 25-hydroxyvitamin D levels are inversely associated with various cardiometabolic risk factors in Chinese children, especially obese children[J]. *BMJ Open Diabetes Res Care*, 2020, 8(1):e000846. DOI:10.1136/bmjdr-2019-000846.
- [17] Wamberg L, Christiansen T, Paulsen SK, et al. Expression of vitamin D-metabolizing enzymes in human adipose tissue - the effect of obesity and diet-induced weight loss [J]. *Int J Obes*, 2013, 37(5): 651-657. DOI: 10.1038/ijo.2012.112.
- [18] Cheng S, Massaro JM, Fox CS, et al. Adiposity, cardiometabolic risk, and vitamin D status: the Framingham heart study[J]. *Diabetes*, 2010, 59(1): 242-248. DOI:10.2337/db09-1011.
- [19] Rodríguez-Rodríguez E, Navia-Lombán B, López-Sobaler AM, et al. Associations between abdominal fat and body mass index on vitamin D status in a group of Spanish schoolchildren[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2010, 64(5): 461-467. DOI:10.1038/ejcn.2010.26.
- [20] Somjen D, Knoll E, Sharon O, et al. Interaction between the effects of the selective estrogen modulator femarelle and a vitamin D analog in human umbilical artery vascular smooth muscle cells[J]. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 2017, 174:9-13. DOI:10.1016/j.jsbmb.2017.05.007.