

# 学龄儿童维生素 D 营养状况与身体肌肉量关系的研究

程红<sup>1</sup> 李海波<sup>2</sup> 侯冬青<sup>1</sup> 朱忠信<sup>3</sup> 郁兆仓<sup>4</sup> 王宏健<sup>5</sup> 高爱钰<sup>6</sup> 赵小元<sup>1</sup>  
肖培<sup>7</sup> 米杰<sup>7</sup>

<sup>1</sup>首都儿科研究所流行病学研究室,北京 100020; <sup>2</sup>福建省妇幼保健院出生队列研究室,福州 350001; <sup>3</sup>北京市密云区中小学卫生保健所 101500; <sup>4</sup>北京市通州区中小学卫生保健所 101100; <sup>5</sup>北京市房山区中小学卫生保健所 102400; <sup>6</sup>北京市东城区中小学卫生保健所 100009; <sup>7</sup>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

程红和李海波对本文有同等贡献

通信作者:米杰, Email:jiemi12@vip.sina.com

**【摘要】** 目的 探讨学龄儿童维生素 D 营养状况与身体肌肉量的关系。方法 研究对象来自“儿童青少年心血管与骨健康促进项目”,于 2017 年采用分层整群抽样的方法在北京市对 15 391 名 6~16 岁儿童开展基线调查,2019 年对其进行随访调查。进行问卷调查和检测血清 25(OH)D,使用生物电阻抗法测定机体肌肉量,并计算全身肌肉质量指数(MMI)。采用多因素线性回归分析维生素 D 营养状况与基线和随访期 MMI 的关系。结果 纳入分析的 10 890 名儿童的年龄为(11.5±3.3)岁,男童占 49.6%,基线 25(OH)D 水平为(35.4±12.0)nmol/L,充足率为 11.1%。多因素线性回归校正年龄、性别、体脂肪量、吸烟、饮酒、奶制品摄入、维生素 D 补充、钙剂补充、体力活动、青春期发育状态后,未观察到维生素 D 营养状况与基线 MMI 水平关联有统计学意义( $P>0.05$ )。而对于随访时点 MMI,25(OH)D 每增加 10 nmol/L,其 Z 值增加 0.008( $P=0.058$ );相比于维生素 D 缺乏,维生素 D 不足和充足的儿童分别增高 0.002( $P=0.815$ )和 0.037( $P=0.031$ ),趋势  $P=0.089$ 。亚组分析显示,在 BMI 正常组中,25(OH)D 每增加 10 nmol/L,维生素 D 充足的儿童基线 MMI 和随访时点 MMI Z 值分别增高 0.019 和 0.014,均  $P<0.05$ 。结论 儿童维生素 D 营养状况与身体肌肉量有关,维生素 D 充足的儿童倾向于在未来获得更高的肌肉量。倡导儿童青少年维持充足的维生素 D 水平,加强营养与运动,提升身体素质。

**【关键词】** 儿童; 维生素 D; 肌肉质量; 队列研究

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC1300101)

## Association of vitamin D nutritional status with body muscle mass in school-age children adolescents

Cheng Hong<sup>1</sup>, Li Haibo<sup>2</sup>, Hou Dongqing<sup>1</sup>, Zhu Zhongxin<sup>3</sup>, Yu Zhaocang<sup>4</sup>, Wang Hongjian<sup>5</sup>, Gao Aiyu<sup>6</sup>, Zhao Xiaoyuan<sup>1</sup>, Xiao Pei<sup>7</sup>, Mi Jie<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Department of Epidemiology, Capital Institute of Pediatrics, Beijing 100020, China; <sup>2</sup>Division of Birth Cohort Study, Fujian Provincial Maternal and Child Health Hospital, Fuzhou 350001, China; <sup>3</sup>Beijing Miyun Primary and Secondary School Health Center, Beijing 101500, China; <sup>4</sup>Beijing Tongzhou Primary and Secondary School Health Center, Beijing 101100, China; <sup>5</sup>Beijing Fangshan Primary and Secondary School Health Center, Beijing 102400, China; <sup>6</sup>Beijing Dongcheng Primary and Secondary School Health

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20201130-01360

收稿日期 2020-11-30 本文编辑 李银鸽

引用本文:程红,李海波,侯冬青,等.学龄儿童维生素 D 营养状况与身体肌肉量关系的研究[J].中华流行病学杂志,2021,42(3):455-461. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20201130-01360.



Center, Beijing 100009, China; <sup>7</sup>Department of Non-communicable Disease Management, Beijing Children's Hospital, Capital Medical University, National Center for Children's Health, Beijing 100045, China

Cheng Hong and Li Haibo contributed equally to the article

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

**【 Abstract 】 Objective** To investigate the association between vitamin D nutritional status and the body muscle mass in children. **Methods** Data were obtained from School-based Cardiovascular and Bone Health Promotion Program. In 2017, a total of 15 391 children aged 6-16 years in Beijing were selected through stratified cluster sampling in baseline survey. A follow-up investigation was conducted in 2019. The questionnaire survey and the detection of serum 25-hydroxyvitamin D [25(OH)D] level were conducted. The bioelectrical impedance analysis (BIA) apparatus was used to measure body muscle mass, and muscle mass index (MMI) was calculated. Multivariable linear models were used to analyze the association of vitamin D nutritional status with the baseline and follow-up MMI measures. **Results** A total of 10 890 children aged (11.5±3.3) years (boys accounting for 49.6%) were included in the analysis. The average 25(OH)D level was (35.4±12.0) nmol/L, with an adequacy ratio of 11.1%. After multivariate linear regression adjustment for age, sex, body fat mass, smoking status, alcohol use status, dairy supplement, calcium supplement, physical activity, and pubertal development, no statistically significant association between vitamin D nutritional status and baseline MMI level was observed ( $P>0.05$ ). For the follow-up MMI, the Z-score increased by 0.008 ( $P=0.058$ ) for per 10 nmol/L increase in 25(OH)D, which were 0.002 ( $P=0.815$ ) and 0.037 ( $P=0.031$ ) higher in children with insufficient and adequate vitamin D than those with vitamin D deficiency, respectively ( $P$  for trend =0.089). Subgroup analysis showed that in the normal BMI group, for per 10 nmol/L increase in 25 (OH) D, the MMI at baseline survey and MMI Z-score at follow-up of children with adequate vitamin D and increased by 0.019 and 0.014, respectively (both  $P<0.05$ ). **Conclusions** Vitamin D nutritional status was related to muscle mass in children, and children with adequate vitamin D tended to obtain higher MMI. Children and adolescents are encouraged to maintain sufficient vitamin D levels, strengthen nutrition and exercise to promote body health.

**【 Key words 】** Children; Vitamin D; Muscle mass; Cohort study

**Fund program:** National Key Research and Development Program of China (2016YFC1300101)

维生素 D (vitamin D) 是人体不可或缺的一种脂溶性维生素,其在骨骼和肌肉代谢中具有关键作用,但最近的大型研究显示我国学龄儿童维生素 D 营养状况不容乐观<sup>[1]</sup>。人体肌肉含量和功能与骨量积累和骨骼发育的密切相关,肌肉含量不足和功能不健全亦会导致跌倒风险的增加<sup>[2]</sup>。儿童处于身体各器官快速生长发育的关键时期,特别是骨量的积累直接影响峰值骨量水平,另外由于儿童青少年活泼好动,而平衡能力和协调性尚未发育完善,加之对潜在危险认识不足,容易跌倒摔伤。儿童因肌肉量较少或肌力不足引起骨量积累下降,增加跌倒、摔伤和骨折风险,对儿童期生长发育乃至未来成人期健康造成不利影响。血中的 25-羟基维生素 D [25-hydroxyvitamin D, 25(OH)D] 水平是体内维生素 D 营养状况的常用评价指标,目前已有研究报道了 25(OH)D 水平和机体肌肉量之间存在关联<sup>[3-8]</sup>,但是研究对象多是面向成年人、孕妇、老年人和运动员,针对儿童青少年的研究在国内鲜有报道,且缺乏前瞻性研究资料。本研究拟对北京市学

龄儿童 25(OH)D 水平与肌肉量之间的关系进行横向和纵向分析,旨在探讨维生素 D 在肌肉代谢中的作用,为儿童实现良好肌肉健康提供参考证据。

## 对象与方法

1. 研究对象:来自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), SCVBH 是在北京地区开展的一项旨在了解北京市学龄儿童心血管与骨健康状况的变化及其相关影响因素的前瞻性队列研究。该项目采用分层整群抽样的方法于 2017 年 11 月至 2018 年 1 月在北京市东城、房山、密云和通州区的 30 所学校进行了基线调查,共对 15 391 名 6~16 岁儿童进行了问卷调查和体格检查,研究方案及基线特征见已发表文献<sup>[9]</sup>。于 2019 年 11 月至 2020 年 1 月对该人群进行了随访调查,共随访到 12 984 人 (随访率 84.4%)。本研究排除基线 25(OH)D、身高、体重以及基线或随访时点

肌肉量等关键变量缺失和患有严重脏器疾病的儿童后,最终共纳入 10 890 人进行分析(在此样本量下把握度可达 95% 以上)。研究方案通过首都儿科研究所伦理委员会批准(批号: SHERLL2016026),所有研究对象的监护人均签署书面知情同意书。

2. 问卷调查:通过结构化问卷收集调查内容包括:一般人口学特征(出生日期、性别等)、生活行为因素(最近 1 个月内吸烟、饮酒、运动情况,最近半年内奶制品摄入、维生素 D 和钙补充剂使用情况等)和生长发育情况,必要时由研究对象监护人协助完成。其中吸烟定义为吸过  $\geq 1$  支完整的香烟;饮酒定义为饮过  $\geq 1$  个标准量的酒(白酒 1 两/啤酒 1 听/葡萄酒 120 ml);经常摄入奶制品定义为平均每周  $\geq 3$  次;运动充分定义为平均每天中等以上强度运动  $\geq 60$  min。青春期发育状态按照基线和随访时点是否出现遗精(男生)或月经初潮(女生)分为 3 类,即发育成熟(基线时已出现遗精或初潮)、成熟中(随访时点已出现遗精或初潮)和未成熟(基线和随访时点均未出现遗精或初潮)。

3. 体格检查:受试者穿轻薄衣物,使用经校准的仪器按照标准方法测量身高和体重,读数分别精确到 0.1,连续测量 2 次,取平均值纳入分析,计算 BMI,按照中国儿童肥胖筛查标准诊断超重/肥胖<sup>[10]</sup>。

4. 身体肌肉量测定: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,记录全身肌肉质量、脂肪质量等,计算基线和随访时点全身肌肉质量指数(muscle mass index, MMI)=肌肉质量(kg)/身高(m)<sup>2</sup>,考虑儿童的生长发育的变异性,对 MMI 进行年龄别-性别 Z 值转换 $[(X-\text{均值})/\text{标准差}]$ 。

5. 维生素 D 检测:基线采集空腹 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,冷藏运输至中心实验室进行相关指标检测。采用化学发光免疫法(DiaSorin 公司)检测基线血清 25(OH)D 水平。并按照  $<30$ 、 $30\sim$ 、 $\geq 50$  nmol/L 分别诊断为维生素 D 缺乏、不足和充足<sup>[11]</sup>。

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,经自动和人工双重核查,采用 R 4.0.2 软件进行分析。连续变量经正态性检验后采用  $\bar{x}\pm s$  表示,组间比较采用方差分析;分类变量用频数(%)表示,采用  $\chi^2$  检验进行组间比较。采用多因素线性回归调整文献报道影响肌肉量或维生素 D 水平的较为密切

的指标,分析维生素 D 水平与基线及随访时点 MMI Z 值的关系,模型 1 校正年龄、性别、体脂肪量,模型 2 在模型 1 的基础上进一步校正吸烟、饮酒、奶制品摄入、维生素 D 补充、钙剂补充、体力活动、青春期发育状态,以及基线 MMI(仅在分析随访时点校正)。另外采用自然平滑样条模型绘制 25(OH)D 水平与基线及随访时点 MMI 的拟合曲线。并进一步按照性别、年龄、BMI、体力活动、青春期发育状态和基线 MMI 分层后进行亚组分析。所有检验均为双侧检验,检验水准  $\alpha=0.05$ 。

## 结 果

1. 基本特征:纳入分析的 10 890 名儿童的年龄为  $(11.5\pm 3.3)$  岁,男童占 49.6%,基线 25(OH)D 水平为  $(35.4\pm 12.0)$  nmol/L,充足率为 11.1%,缺乏率为 36.0%。维生素 D 充足的儿童中男童较多(60.9%),并倾向于有较低的年龄、基线 MMI 水平、体脂率、BMI 和饮酒率,以及较高的摄入奶制品、补充维生素 D、补充钙剂、充分运动频率、未发育成熟率( $P<0.05$ ),随访时点 MMI 水平在各维生素 D 营养状况组间差异无统计学意义( $P>0.05$ )。见表 1。

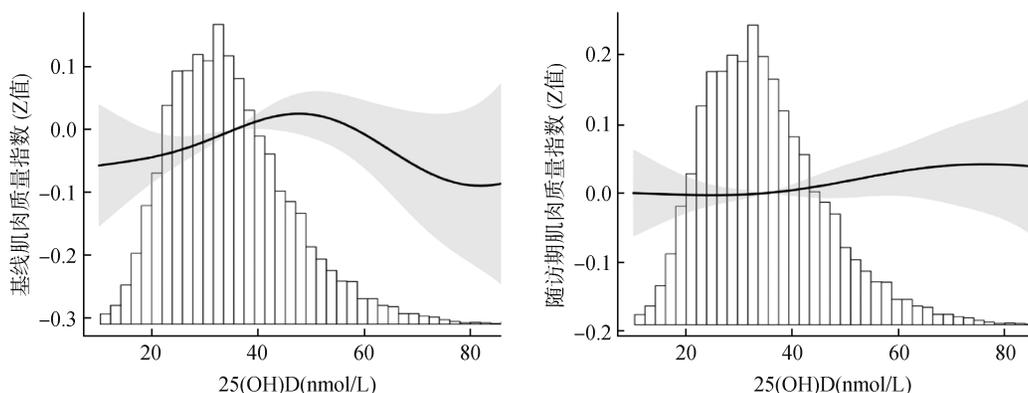
2. 维生素 D 营养状况与 MMI 的关系:平滑曲线拟合显示 25(OH)D 水平与基线 MMI Z 值呈倒“U”形关系,拐点值约为 50 nmol/L(图 1),而与随访时点 MMI Z 值呈正相关关系(图 1)。多因素线性回归分析结果中未能观察到维生素 D 营养状况与基线 MMI 水平关联有统计学意义( $P>0.05$ )。对于随访时点 MMI,校正年龄、性别、体脂肪量后(模型 1),25(OH)D 每增加 10 nmol/L,其 Z 值增加 0.016( $P=0.010$ );相对于维生素 D 缺乏,维生素 D 不足和充足的儿童分别增加 0.021( $P=0.172$ )和 0.060( $P=0.015$ ),趋势  $P=0.017$ ;相对于维生素 D 缺乏/不足组,维生素 D 充足的儿童增加 0.047( $P=0.041$ )。进一步校正吸烟、饮酒、摄入奶制品、维生素 D 补充、钙剂补充、体力活动、青春期发育状态和基线 MMI(模型 2)后,回归  $\beta$  值略有下降,但相当于维生素 D 不足/缺乏组,维生素 D 充足儿童随访时点 MMI Z 值增加仍有统计学意义( $P<0.05$ )。见表 2。

3. 不同亚组中维生素 D 营养状况与 MMI 关系:亚组分析结果显示,多因素校正后,在 BMI 正常组和运动不足组中维生素 D 营养状况与基线 MMI 关联有统计学意义[25(OH)D 每增加 10 nmol/L: $\beta=0.019$  vs.  $0.016$ , $P<0.05$ ],在 BMI 分组间交互  $P<$

表 1 研究人群的基本特征

变 量	合计 (n=10 890)	维生素 D 营养状况			F/ $\chi^2$ 值	P 值
		缺乏 (n=3 924)	不足 (n=5 752)	充足 (n=1 214)		
年龄 (岁, $\bar{x}\pm s$ )	11.5 $\pm$ 3.3	12.2 $\pm$ 3.1	11.2 $\pm$ 3.3	10.5 $\pm$ 3.3	164.084	<0.001
男童 (%)	5 396 (49.6)	1 575 (40.1)	3 082 (53.6)	739 (60.9)	238.728	<0.001
25(OH)D (nmol/L, $\bar{x}\pm s$ )	35.4 $\pm$ 12.0	23.9 $\pm$ 4.2	38.2 $\pm$ 5.4	59.1 $\pm$ 8.7	20 426.550	<0.001
肌肉质量指数 (kg/m <sup>2</sup> , $\bar{x}\pm s$ )						
基线	14.1 $\pm$ 2.2	14.2 $\pm$ 2.2	14.0 $\pm$ 2.2	13.8 $\pm$ 2.2	13.834	<0.001
基线 Z 值	0.0 $\pm$ 1.0	0.0 $\pm$ 1.0	0.0 $\pm$ 1.0	-0.1 $\pm$ 0.9	4.948	0.007
随访时点	14.7 $\pm$ 2.7	14.7 $\pm$ 2.3	14.7 $\pm$ 2.7	14.6 $\pm$ 3.7	1.435	0.238
随访时点 Z 值	0.0 $\pm$ 0.9	0.0 $\pm$ 1.0	0.0 $\pm$ 0.9	-0.1 $\pm$ 0.9	2.076	0.126
体脂率 (% , $\bar{x}\pm s$ )	24.6 $\pm$ 9.1	25.6 $\pm$ 9.2	24.5 $\pm$ 9.0	22.3 $\pm$ 8.7	65.970	<0.001
BMI 分组 (%)					19.498	<0.001
正常	6 657 (61.1)	2 431 (61.9)	3 446 (59.9)	780 (64.2)		
超重	1 916 (17.6)	639 (16.3)	1 054 (18.3)	223 (18.4)		
肥胖	2 317 (21.3)	854 (21.8)	1 252 (21.8)	211 (17.4)		
吸烟或尝试吸烟 (%)	122 (1.1)	40 (1.0)	64 (1.1)	18 (1.5)	1.803	0.406
饮酒或尝试饮酒 (%)	736 (6.8)	313 (8.0)	355 (6.2)	68 (5.6)	14.960	<0.001
经常摄入奶制品 (%)	9 338 (85.7)	3 234 (82.4)	4 994 (86.8)	1 110 (91.4)	73.190	<0.001
补充维生素 D (%)	2 152 (19.8)	613 (15.6)	1 194 (20.8)	345 (28.4)	103.391	<0.001
补充钙剂 (%)	3 175 (29.2)	969 (24.7)	1 737 (30.2)	469 (38.6)	93.629	<0.001
运动充分 (%)	591 (5.4)	187 (4.8)	322 (5.6)	82 (6.8)	7.841	0.020
青春期发育状态 (%)					364.539	<0.001
未成熟	5 518 (50.7)	1 545 (39.4)	3 178 (55.2)	795 (65.5)		
成熟中	1 141 (10.5)	465 (11.8)	569 (9.9)	107 (8.8)		
已成熟	4 231 (38.8)	1 914 (48.8)	2 005 (34.9)	312 (25.7)		

注:连续变量表示为  $\bar{x}\pm s$ , 组间比较采用方差分析; 分类变量表示为 例数 (%), 组间比较采用  $\chi^2$  检验



注:模型校正年龄、性别、体脂肪量、吸烟、饮酒、摄入奶制品、维生素 D 补充、钙剂补充、体力活动和青春期发育状态,以及基线肌肉质量指数(仅对于随访时点分析)

图 1 25(OH)D 水平与基线和随访时点肌肉质量指数的拟合曲线

0.05。对于随访时点 MMI, 在 BMI 正常组中观察到关联有统计学意义 ( $\beta=0.014, P<0.05$ ), 但各亚组间交互作用均无统计学意义。见图 2。

### 讨 论

儿童青少年时期是机体处于不断生长发育的

阶段, 肌肉质量和功能的提升是增强身体素质的重要方面。研究显示我国居民肌肉量在 3~18 岁期间随着人体的生长发育快速增长, 男性与女性均在 20~24 岁左右达到峰值<sup>[12-13]</sup>, 因此预防成年后肌减少性疾病、增强国民体质、提高健康水平要从儿童开始。近年来, 人们对儿童肥胖的重视程度越来越高, 需要注意的是控制儿童肥胖不是单纯追求降

表 2 维生素 D 营养状况与基线及随访时点肌肉质量指数的线性回归分析

肌肉质量指数	模型 1		模型 2	
	$\beta$ 值(95%CI)	P 值	$\beta$ 值(95%CI)	P 值
基线 Z 值				
25(OH)D(nmol/L) <sup>a</sup>	0.011(-0.002~0.024)	0.091	0.012(-0.001~0.025)	0.061
维生素 D 营养状况				
缺乏	0.000		0.000	
不足	0.027(-0.005~0.060)	0.099	0.031(-0.002~0.063)	0.062
充足	0.032(-0.020~0.084)	0.225	0.035(-0.017~0.087)	0.184
趋势 P 值		0.105		0.072
充足 vs. 不足/缺乏	0.015(-0.033~0.062)	0.542	0.015(-0.032~0.063)	0.527
随访时点 Z 值				
25(OH)D(nmol/L) <sup>a</sup>	0.016(0.004~0.028)	0.010	0.008(0.000~0.016)	0.058
维生素 D 营养状况				
缺乏	0.000		0.000	
不足	0.021(-0.009~0.052)	0.172	0.002(-0.018~0.023)	0.815
充足	0.060(0.012~0.109)	0.015	0.037(0.003~0.070)	0.031
趋势 P 值		0.017		0.089
充足 vs. 不足/缺乏	0.047(0.002~0.091)	0.041	0.035(0.005~0.066)	0.025

注:模型应变量基线和随访时点肌肉质量指数为 Z 值转换;<sup>a</sup>每增加 10 nmol/L;模型 1:校正年龄、性别、体脂肪量;模型 2:在模型 1 的基础上进一步校正吸烟、饮酒、奶制品摄入、维生素 D 补充、钙剂补充、体力活动和青春期发育状态,以及基线肌肉质量指数(仅对于随访时点分析)

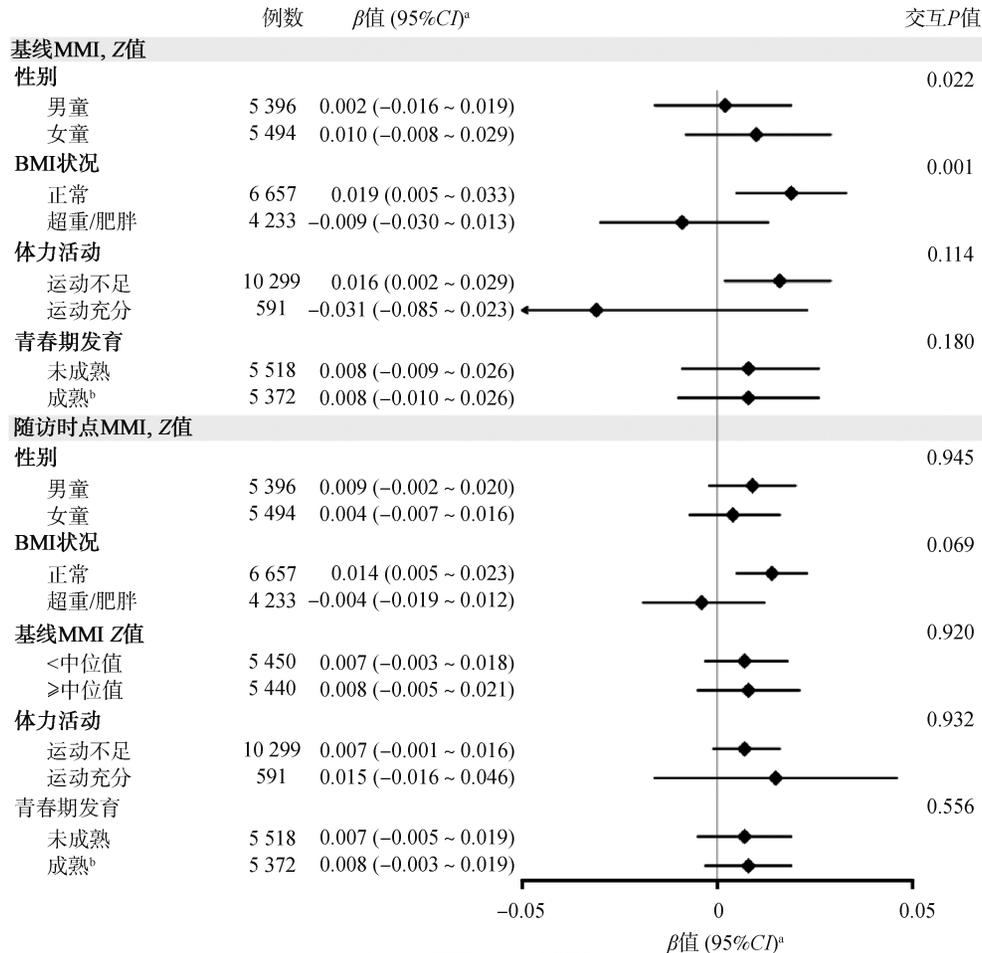
低儿童体重,而是减脂的同时注重增肌健骨<sup>[14-15]</sup>。

以往多项针对成年人、孕妇、老年人的研究都表明血 25(OH)D 水平与全身或四肢肌肉质量呈正相关关系<sup>[4-8]</sup>。Liu 等<sup>[5]</sup>对 568 名中国 50~70 岁社区中老年人为期 6 年的研究发现,低 25(OH)D 水平与四肢肌肉质量降低有关。另一项以医院为基础的研究<sup>[4]</sup>对 163 名泰国成年女性进行横断面分析观察到维生素 D 与骨骼肌质量存在正相关关系( $r=0.18$ ,  $P=0.03$ )。但另一些研究并未得到一致的结论<sup>[16-18]</sup>。针对儿童的研究相对较少,Carson 等<sup>[19]</sup>在 239 名 15 岁的北爱尔兰儿童中发现高维生素 D 水平与较高的瘦体重和瘦体重质量指数有关。本调查结果显示在总体人群中维生素 D 营养状况在校正混杂因素后与随访时点 MMI 而非基线 MMI 存在显著关联,维生素 D 充足的儿童 2 年后倾向于有更高的 MMI。这些研究结果提示维生素 D 对肌肉健康或有积极作用,但维生素 D 与肌肉质量和功能的关系与研究设计、种族、年龄、测量方法等因素有关,前瞻性纵向研究或许能得到更为真实的结果,同时也说明在探讨维生素 D 与肌肉健康关系时,应尽量排除混杂因素的干扰,如人口统计学特征、肥胖程度、体力活动量、吸烟、饮酒、饮食习惯、营养剂补充等。另外,值得注意的是本研究纳入分析学龄儿童在秋冬季节维生素 D 不足或缺乏流行率较高(约 88%),同时在亚组分析时观察到在 BMI 正常和运动不足

组中维生素 D 与 MMI 的关系或更为密切,可能原因是维生素 D 调节肌肉代谢作用是一个长期的过程,易受到肥胖、体力活动、体内激素水平等多方面因素的影响,未来研究需要继续探索这些潜在的交互作用,明确需重点干预和收益较大的人群。

对于维生素 D 促进肌肉健康的内在作用机制虽然尚未完全明确,但目前研究观点认为维生素 D 主要可通过基因作用和非基因作用对肌肉质量、形态、肌纤维大小、代谢和功能发挥作用<sup>[2,20]</sup>。维生素 D 的基因作用通过与肌肉细胞上维生素 D 受体(vitamin D receptor, 维生素 DR)结合,调控多种蛋白质的基因表达,诱导 mRNA 的表达及肌纤维的增殖分化相关蛋白质的合成;非基因作用主要通过调节体内钙、磷稳态的调节来实现,调控全身钙稳态促进肌肉收缩,非基因途径与基因途径具有互补作用。也有证据表明<sup>[21]</sup>,维生素 D 或许可以通过调控体内雄性激素的变化,进而对骨骼肌形态和功能起到增进作用,今后相关的人群研究需进一步验证和探索这些潜在的机制。

本研究利用中小学在校学生为研究人群,在横向和纵向两个层面探讨了维生素 D 营养状况与身体肌肉量的关系,充分考虑了潜在的混杂因素,具备统一的实施和质控方案,研究结果证据强度较好。但仍存在一些局限性:首先,出于大规模调查可行性考虑,身体肌肉量的评价采用生物电阻抗



注:MMI:肌肉质量指数;<sup>a</sup>线性回归结果为25(OH)D每增加10 nmol/L;<sup>b</sup>青春期发育成熟分组包括成熟中和已成熟儿童;模型均校正年龄、性别、体脂肪量、吸烟、饮酒、奶制品摄入、维生素D补充、钙剂补充、体力活动、青春期发育状态和基线MMI(仅在分析随访时点MMI),协变量作为分组变量时不校正

图2 不同亚组维生素D营养状况与基线和随访时点MMI的线性回归分析

法,并非金标准方法,但生物电阻抗法操作简便、经济安全,与金标准方法有良好相关性,更适用于大规模调查<sup>[22]</sup>。其次,在混杂因素控制方面存在一定不足,研究未能收集 Tanner 分期资料,仅通过问卷得到月经和遗精信息来判定青春性发育状况存在一定局限性,对于另外一些混杂因素如阳光照射时间、家族遗传史等信息研究未能获取,可能会过高或过低的估计了维生素D和肌肉量的关系。第三,研究属于观察性研究,且随访时间仅为2年,相对较短,同时只评价了肌肉重量,对于肌肉功能等的长期变化的临床意义反映可能不充分,未来需要更长随访期、干预性研究来进一步研究结果。此外,研究儿童均来自北京市,且存在一定失访比例,可能存在潜在的选择偏倚,故结果的解释和外推需谨慎。

综上所述,儿童维生素D营养状况与身体肌肉量有关,维生素D充足的儿童倾向于在未来获得更

高的肌肉量。儿童青少年时期应关注体成分的正常生长发育,倡导儿童青少年维持充足的维生素D水平,加强营养与运动,减少不利因素,对于获得理想的骨骼肌储备,提升身体素质,预防肌少症等成年期疾病或具有深远意义。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

**志谢** 首都儿科研究所(刘军廷、陈芳芳、王文鹏、黄贵民);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(林宁翔、高素梅);北京市教育委员会(宋玉珍)

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] Montenegro KR, Cruzat V, Carlessi R, et al. Mechanisms of vitamin D action in skeletal muscle[J]. Nutr Res Rev, 2019,

- 32(2):192-204. DOI:10.1017/S0954422419000064.
- [3] Aspell N, Laird E, Healy M, et al. Vitamin D deficiency is associated with impaired muscle strength and physical performance in community-dwelling older adults: findings from the english longitudinal study of ageing[J]. *Clin Interv Aging*, 2019, 14:1751-1761. DOI:10.2147/CIA.S222143.
- [4] Shantavasinkul PC, Phanachet P, Puchaiwattananon O, et al. Vitamin D status is a determinant of skeletal muscle mass in obesity according to body fat percentage[J]. *Nutrition*, 2015, 31(6):801-806. DOI:10.1016/j.nut.2014.11.011.
- [5] Liu G, Lu L, Sun Q, et al. Poor vitamin D status is prospectively associated with greater muscle mass loss in middle-aged and elderly Chinese individuals[J]. *J Acad Nutr Diet*, 2014, 114(10):1544-1551.e2. DOI:10.1016/j.jand.2014.05.012.
- [6] Tieland M, Brouwer-Brolsma EM, Nienaber-Rousseau C, et al. Low vitamin D status is associated with reduced muscle mass and impaired physical performance in frail elderly people[J]. *Eur J Clin Nutr*, 2013, 67(10):1050-1055. DOI:10.1038/ejcn.2013.144.
- [7] 穆志静, 修双玲, 王立, 等. 老年糖尿病患者维生素 D 与握力和肌肉质量相关性研究[J]. *中国综合临床*, 2020, 36(2):154-157. DOI:10.3760/cma.j.issn.1008-6315.2020.02.013. Mu ZJ, Xiu SL, Wang L, et al. Study on the relationship between vitamin D, grip strength and muscle mass in elderly diabetic patients[J]. *Clin Med China*, 2020, 36(2):154-157. DOI:10.3760/cma.j.issn.1008-6315.2020.02.013.
- [8] Gimigliano F, Moretti A, de Sire A, et al. The combination of vitamin D deficiency and overweight affects muscle mass and function in older post-menopausal women[J]. *Aging Clin Exp Res*, 2018, 30(6):625-631. DOI:10.1007/s40520-018-0921-1.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Institute of Medicine (US) Committee to Review Dietary Reference Intakes for Vitamin D and Calcium A Catharine Ross, Taylor CL, Yaktine AL, et al. The National Academies Collection. Dietary Reference Intakes for Calcium and Vitamin D[M]. Washington, D.C.:National Academies Press (US), 2011.
- [12] 吴曼, 魏玉虾, 余灿清, 等. 中国 10 个地区成年人骨骼肌质量和手握力的描述性分析[J]. *中华流行病学杂志*, 2019, 40(4):376-381. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.04.002. Wu M, Wei YX, Yu CQ, et al. Levels of skeletal muscle mass and handgrip strength in adults from 10 regions of China [J]. *Chin J Epidemiol*, 2019, 40(4):376-381. DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.04.002.
- [13] 温煦, 王梅, 张一民, 等. 中国城镇居民骨骼肌含量和骨骼肌力量在增龄过程中的变化研究[J]. *体育科学*, 2010, 30(3):36-41, 74. DOI:10.3969/j.issn.1000-677X.2010.03.005. Wen X, Wang M, Zhang YM, et al. Age-related changes of skeletal muscle mass and muscle strength in Chinese urban residents[J]. *Chin Sport Sci*, 2010, 30(3):36-41, 74. DOI:10.3969/j.issn.1000-677X.2010.03.005.
- [14] 席波, 宋逸, 马军. 预防成年人心血管疾病应重视儿童期危险因素防控[J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(9):1428-1432. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20200702-00911. Xi B, Song Y, Ma J. Prevention of cardiovascular disease in adulthood should attach importance to related risk factors in childhood[J]. *Chin J Epidemiol*, 2020, 41(9):1428-1432. DOI:10.3760/cma.j.cn112338-20200702-00911.
- [15] 叶佩玉, 陈芳芳, 米杰. 儿童期肥胖的健康危害:来自中国人群的证据[J]. *中华预防医学杂志*, 2016(1):97-100. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2016.01.018. Ye PY, Chen FF, Mi J. Health hazards in childhood obesity: evidence based on Chinese population[J]. *Chin J Prev Med*, 2016(1):97-100. DOI:10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2016.01.018.
- [16] Gilsanz V, Kremer A, Mo AO, et al. Vitamin D status and its relation to muscle mass and muscle fat in young women [J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2010, 95(4):1595-1601. DOI:10.1210/jc.2009-2309.
- [17] Beaudart C, Buckinx F, Rabenda V, et al. The effects of vitamin D on skeletal muscle strength, muscle mass, and muscle power: a systematic review and Meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2014, 99(11):4336-4345. DOI:10.1210/jc.2014-1742.
- [18] Yakout SM, Al-Daghri NM, Bukhari I, et al. Vitamin D level and its relation to muscle and fat mass in adult male Arabs [J]. *Saudi J Biol Sci*, 2020, 27(9):2452-2456. DOI:10.1016/j.sjbs.2020.07.002.
- [19] Carson EL, Pourshahidi LK, Hill TR, et al. Vitamin D, muscle function, and cardiorespiratory fitness in adolescents from the young hearts study[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2015, 100(12):4621-4628. DOI:10.1210/jc.2015-2956.
- [20] Dawson-Hughes B. Vitamin D and muscle function[J]. *J Steroid Biochem Mol Biol*, 2017, 173:313-316. DOI:10.1016/j.jsbmb.2017.03.018.
- [21] Dahlquist DT, Dieter BP, Koehle MS. Plausible ergogenic effects of vitamin D on athletic performance and recovery [J]. *J Int Soc Sports Nutr*, 2015, 12:33. DOI:10.1186/s12970-015-0093-8.
- [22] Lemos T, Gallagher D. Current body composition measurement techniques[J]. *Curr Opin Endocrinol Diabetes Obes*, 2017, 24(5):310-314. DOI:10.1097/MED.0000000000000360.