·论著·

不同肥胖程度学龄期儿童骨密度的影响因素及与体成分的关系

张金,张田,孙慧慧,万乃君
(首都医科大学附属北京积水潭医院儿科,北京 100035)

摘要 目的 探究不同肥胖程度学龄期儿童骨密度(BMD)的影响因素及与体成分的关系。**方法** 选取2018年10月至2023年12月于我院儿科体检的6~12岁肥胖儿童271例,按照体重指数(BMI)分为一般肥胖组(n = 171)和极度肥胖组(n = 100)。入组儿童均进行代谢指标、体成分、BMD、腹部超声等检查。2组间各项指标比较采用独立样本t检、Mann-Whitney U检验或χ^2检验。使用多元线性回归及Spearman相关对BMD与体成分的关系进行分析。**结果** 极度肥胖组儿童体重、体重指数(BMI)z分数、体脂肪指数、肌肉量指数、去脂体重指数、体脂百分比、腰臀比、空腹胰岛素、胰岛素抵抗指数、尿酸及脂肪肝发生率均高于一般肥胖组,差异均有统计学意义(均P < 0.05);2组儿童身高、BMD、BMD z分数、血清25-羟基维生素D(25-OH-D),血糖、钙、磷、碱性磷酸酶,青春期发育情况比较均无统计学差异(均P > 0.05)。Spearman相关分析结果显示,在全部样本和女童中,BMD z分数与BMI z分数、体脂肪指数、肌肉量指数、去脂体重指数均呈正相关(均P < 0.05);在男童中,BMD z分数与肌肉量指数和去脂体重指数呈正相关(均P < 0.05)。BMD z分数与体成分的多元线性回归分析结果显示,在男童和一般肥胖组中,体脂百分比、体脂肪指数是BMD z分数的独立影响因素(均P < 0.05)。**结论** 体脂肪百分比和体脂肪指数高可能是学龄期肥胖儿童BMD的不利影响因素;学龄期肥胖儿童的BMD随去脂体重指数增长而增加。

关键词 肥胖;学龄期儿童;骨密度;体成分
中图分类号 R725.8 **文献标志码** A **文章编号** 0258-4646(2025)05-0425-06
网络出版地址 https://link.cnki.net/urlid/21.1227.R.20250519.1526.032
DOI: 10.12007/j.issn.0258-4646.2025.05.008

Influencing factors of bone mineral density and their relationship with body composition in school-stage children with different degrees of obesity

ZHANG Jin, ZHANG Tian, SUN Huihui, WAN Naijun
(Department of Pediatrics, Beijing Jishuitan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100035, China)

Abstract Objective To investigate the influencing factors of bone mineral density (BMD) in school-stage children with different degrees of obesity and their relationship with body composition. **Methods** A total of 271 obese children aged 6–12 years who underwent pediatric health checkups in our hospital between October 2018 and December 2023 were selected. The children were divided into two groups according to their degree of obesity: a simple obesity group (n = 171) and an extreme obesity group (n = 100). All children were examined for metabolic indicators, body composition, BMD, and abdominal ultrasonography. Comparisons of various indicators between the two groups were made using the independent samples t test, Mann-Whitney U test, or chi-square test. The relationship between BMD and body composition was analyzed using multiple linear regression and Spearman correlation analyses. **Results** Compared with simple obesity group, the body weight, body mass index (BMI) z-score, body fat index, muscle mass index, fat-free body mass index, body fat percentage, waist-to-hip ratio, fasting insulin level, insulin resistance index, uric acid, and fatty liver incidence were significantly higher in extreme obesity group (all P < 0.05). No statistically significant differences in height, BMD, BMD z-score, 25-hydroxy-vitamin D, blood sugar, calcium, phosphorus, alkaline phosphatase, or rate of puberty development were observed between the two groups (all P > 0.05). The results of the Spearman correlation analysis showed that the BMI z-score, body fat index, muscle mass index, and fat-free BMI were positively correlated with the BMD z-scores of all participants and in girls (all P < 0.05). In boys, the BMD z-score was positively correlated with muscle mass index and fat-free mass index (both P < 0.05). The results of multiple linear regression analysis of BMD z-scores and body composition showed that in boys and the simple obesity group, body fat percentage and body fat index were independent influencing factors of BMD z-scores (both P < 0.05). **Conclusion** Higher body fat percentage and body fat index may be adverse factors influencing BMD in school-stage children with obesity. Meanwhile, the BMD of school-age children with obesity increased with an increase in fat-free

基金项目: 北京市医院管理局儿科学科协同发展中心儿科专项重点项目(XTZD20180401)
作者简介: 张金(1987-),女,主治医师,硕士.
通信作者: 万乃君,E-mail:wann6971@163.com
收稿日期: 2024-12-27
网络出版时间: 2025-05-20 12:57:57

mass index.

Keywords　obesity; school-stage children; bone mineral density; body composition

目前，肥胖和骨质疏松症是全球关注的公共健康问题[1]。全球儿童肥胖发病率呈逐年上升趋势，我国儿童超重与肥胖检出率持续增长[2]。研究[3]显示，儿童肥胖会增加成年后慢性非传染性疾病的患病率。由肥胖导致的炎症反应、胰岛素抵抗等可能会影响骨矿物质的吸收，特别是在儿童骨量积累的重要时期[4]。肥胖儿童可能更容易出现关节肌肉不适感及疼痛，甚至发生骨折[1]。有研究[5]表明，脂肪对骨骼和骨折风险的影响可能因骨骼部位而异；肥胖是儿童骨折的危险因素，但却是成人骨折的保护因素。此外，骨密度（bone mineral density，BMD）、肌肉量和体脂百分比存在种族差异[2]。关于亚洲肥胖儿童BMD和体成分的研究鲜有报道。目前，肥胖对骨骼是有益或有害的影响仍然存在争议，肥胖儿童BMD与体成分的关系尚存在相互矛盾和不确定的结论[1]。本研究探讨不同肥胖程度学龄期儿童BMD的影响因素及与体成分的关系，旨在为揭示儿童肥胖与骨代谢的关系提供依据。

1　材料与方法

1.1　研究对象及分组

选取2018年10月至2023年12月于我院儿科体检的肥胖儿童为研究对象。纳入标准：(1) 年龄6~12岁；(2) 儿童体重指数（body mass index，BMI）参考《中国儿童肥胖的评估、治疗和预防指南》[6]提出的儿童肥胖筛查BMI界值标准，不同性别、年龄儿童BMI大于其相应筛查界值为肥胖。排除标准：(1) 患有内分泌代谢性疾病、自身免疫性疾病等可能影响骨代谢的疾病；(2) 肝肾功能障碍；(3) 有药物毒物既往史；(4) 其他因素引起的继发性肥胖。共纳入271例，其中男152例，女119例。根据BMI水平[7]分为一般肥胖组（BMI为肥胖界值~<肥胖界值×120%，$n=171$）和极度肥胖组（BMI≥肥胖界值×120%，$n=100$）。入组儿童及家长均知情同意并签署知情同意书。本研究获得首都医科大学附属北京积水潭医院伦理委员会批准（批号：积伦科审字第201808-03号）。

1.2　研究方法

1.2.1　BMI、体成分和BMD测量：采用SECA285无线立柱秤（德国西克公司）测量儿童身高和体重，每人测量2次，取均值。BMI（kg/m^2）=体重/身高^2。使用H-Key350八电极BIA检测仪（北京四海华辰科技有限公司）测量体成分，检测时儿童需空腹（尽量排空膀胱，测量前30 min内不饮水）。记录内脏脂肪、体脂肪量、体脂百分比、肌肉量、腰臀比。体脂肪指数（kg/m^2）=体脂肪/身高^2，肌肉量指数（kg/m^2）=肌肉量/身高^2，去脂体重指数（kg/m^2）=去脂体重/身高^2，z分数=（实测值−平均值）/标准差。采用EXA-3000 X线骨密度测定器（韩国OsteoSys公司）测量BMD，测量部位是双前臂尺、桡骨远端1/3处。儿童体成分和BMD测量分别由1名儿科临床医师完成，每次检测前均校准仪器的精密度和准确度。

1.2.2　骨代谢、糖代谢相关指标检测：儿童空腹12 h后采静脉血（5 mL），由我院检验科完成血清钙、磷，碱性磷酸酶，血糖，胰岛素，尿酸检测。稳态模型胰岛素抵抗指数（homeostasis model assessment insulin resistance，HOMA-IR）= 空腹血糖×空腹胰岛素/22.5。血清25−羟基维生素D［25-hydroxyvitamin D，25（OH）D］的检测由北京和合医学诊断技术股份有限公司完成。

1.2.3　儿童脂肪肝、发育情况检查：儿童空腹12 h后进行肝超声检查，评估脂肪肝发生情况。由1名儿科内分泌医师检查儿童发育情况，其中女童乳房发育、男童睾丸容积≥4 mL认为有青春期发育[8]。

1.3　统计学分析

采用R 4.0.3软件进行统计分析。正态分布的计量资料采用$\bar{x}\pm s$表示，非正态分布的采用$M(P_{25}\sim P_{75})$表示，2组比较采用独立样本t检或Mann-Whitney U检验；计数资料采用率（%）表示，组间比较采用χ^2检验。使用Spearman相关分析BMD与体成分的关系；使用多元线性回归分析BMD的影响因素。以双侧$P<0.05$为差异有统计学意义。

2　结果

2.1　男童与女童各项指标比较

男童与女童分别比较，结果显示，与一般肥胖

儿童比较，极度肥胖儿童体重、BMI z分数、肌肉量指数、体脂肪指数、体脂百分比、去脂体重指数、腰臀比、胰岛素、HOMA-IR、尿酸、脂肪肝发生率均显著增高（均$P<0.05$）；而一般肥胖与重度肥胖儿童身高，BMD，BMD z分数，25（OH）D，血糖，血清钙、磷，碱性磷酸酶，青春期发育率比较均无统计学差异（均$P>0.05$），见表1。

2.2　BMD z分数与BMI z分数、体成分的相关关系

表1　男童和女童各项指标比较

Tab.1　Comparison of various indicators between boys and girls in two groups

Item	Male			Female		
	Simple obesity group ($n=90$)	Extreme obesity group ($n=62$)	P	Simple obesity group ($n=81$)	Extreme obesity group ($n=38$)	P
Age (year)	10.0 (8.8–11.9)	9.4 (8.0–10.4)	0.116	9.0 (8.0–10.0)	8.0 (7.0–9.9)	0.160
Weight (kg)	52.4 (45.1–60.0)	63.9 (52.6–72.9)	<0.001	41.4 (35.5–53.8)	51.4 (44.4–64.6)	0.001
Height (cm)	147.1 ± 11.5	147.8 ± 12.3	0.723	140.8 ± 12.1	141.5 ± 12.4	0.746
BMI (kg/m^2)	24.0 (22.5–25.6)	28.7 (26.2–30.5)	<0.001	21.8 (20.2–23.6)	25.9 (24.1–28.4)	<0.001
BMI z-score	−0.2 (−0.6 – 0.2)	1.0 (0.4–1.5)	<0.001	−0.8 (−1.2 – −0.3)	0.3 (−0.2 – 0.9)	<0.001
BMD (g/cm^2)	0.3 (0.2–0.3)	0.3 (0.2–0.3)	0.797	0.3 (0.2–0.3)	0.3 (0.2–0.3)	0.881
BMD z-score	0.0 (−0.7 – 0.4)	−0.1 (−0.6 – 0.6)	0.799	−0.1 (−0.8 – 0.7)	−0.3 (−0.8 – 0.6)	0.881
Body fat index (kg/m^2)	8.6 (7.1–10.0)	12.3 (10.1–13.7)	<0.001	7.2 (6.3–8.3)	10.5 (8.8–12.3)	<0.001
Muscle mass index (kg/m^2)	14.3 (13.5–15.0)	15.3 (14.8–16.3)	<0.001	13.5 (13.0–14.4)	14.4 (13.7–15.7)	<0.001
Fat-free mass index (kg/m^2)	15.2 (14.5–16.0)	16.2 (15.6–17.2)	<0.001	14.3 (13.8–15.2)	15.2 (14.6–16.6)	<0.001
Body fat percentage (%)	35.8 (32.0–39.1)	41.6 (39.1–45.5)	<0.001	32.8 (30.8–35.9)	40.7 (36.9–42.3)	<0.001
Waist-to-hip ratio	0.8 (0.8–0.9)	0.9 (0.8–0.9)	0.004	0.8 (0.8–0.8)	0.8 (0.8–0.9)	0.011
25 (OH) D (ng/mL)	20.9 ± 7.1	20.0 ± 8.1	0.468	20.9 ± 7.3	19.7 ± 7.2	0.394
Fasting insulin (μU/mL)	17.0 (11.6–26.6)	25.4 (15.3–34.0)	0.003	16.2 (11.0–26.0)	21.1 (13.5–44.8)	0.029
Blood glucose (mmol/L)	5.0 ± 0.4	5.0 ± 0.4	0.199	5.0 (4.8–5.2)	5.0 (4.7–5.3)	0.731
HOMA-IR	3.9 (2.6–6.1)	5.7 (3.3–7.7)	0.006	3.4 (2.5–5.5)	5.2 (2.9–10.2)	0.023
Uric acid (μmol/L)	364.5 (314.5–411.0)	397.5 (332.0–437.8)	0.035	329.5 (292.8–377.5)	366.5 (311.5–430.5)	0.041
Calcium (mmol/L)	2.5 ± 0.1	2.4 ± 0.1	0.608	2.4 (2.4–2.5)	2.4 (2.4–2.5)	0.484
Phosphorus (mmol/L)	1.6 (1.5–1.7)	1.6 (1.5–1.7)	0.907	1.6 ± 0.2	1.6 ± 0.2	0.840
Alkaline phosphatase (IU/L)	257.5 (216.0–290.2)	255.0 (227.2–300.8)	0.942	252.6 ± 71.1	238.4 ± 74.2	0.320
Puberty development percentage [n (%)]	42 (46.7)	27 (43.5)	0.704	63 (77.8)	26 (68.4)	0.273
Fatty liver percentage [n (%)]	23 (25.6)	30 (48.4)	0.004	5 (6.2)	10 (26.3)	0.005

结果显示，在全体和女童中，BMD z分数与BMI z分数、体脂肪指数、肌肉量指数、去脂体重指数呈正相关（均$P<0.05$）。在男童中，BMD z分数与肌肉量指数和去脂体重指数呈正相关（均$P<0.05$），见表2。

表2　BMD z分数与BMI z分数、体成分的相关关系（r）

Tab.2　Correlation between BMD z-score and BMI z-score or body composition (r)

Factor	Total ($n=271$)	Male ($n=152$)	Female ($n=119$)
BMI z-score	0.235[1)]	0.129	0.343[1)]
Body fat index	0.143[2)]	0.045	0.266[2)]
Muscle mass index	0.344[1)]	0.295[2)]	0.384[1)]
Fat-free mass index	0.335[1)]	0.271[1)]	0.388[1)]
Body fat percentage	0.011	−0.073	0.127

1）$P<0.001$；2）$P<0.05$.

2.3　BMD影响因素的多元线性回归分析

在控制了年龄、身高、青春期发育、肥胖程度、HOMA-IR这些潜在混杂因素后，男童的体脂百分比、体脂肪指数为BMD z分数的影响因素（均$P<0.05$），见表3；而女童体脂百分比、体脂肪指数不是BMD z分数的影响因素（均$P>0.05$），见表4。在控制了年龄、身高、青春期发育、性别、HOMA-IR这些混杂因素后，在一般肥胖组中，体脂百分比、体脂肪指数为BMD z分数的影响因素（$P<0.05$），见表5；而在极度肥胖组中，体脂百分比、体脂肪指数不是BMD z分数的影响因素（均$P>0.05$），见表6。

表3　男童BMD 影响因素的多元线性回归分析

Tab.3　Multiple linear regression analysis of factors influencing BMD in boys

Variable	*B*	*SE*	*t*	*P*
Constant	−0.014	1.353	−0.010	0.992
Age	0.108	0.066	1.644	0.102
Height	0.011	0.011	1.016	0.311
Puberty development	−0.088	0.163	−0.537	0.592
Obesity degree	0.199	0.221	0.901	0.369
HOMA-IR	−0.037	0.018	−2.047	0.043
Body fat percentage	−0.104	0.020	−5.277	<0.001
Fat-free mass index	−0.090	0.124	−0.726	0.469
Body fat index	0.179	0.044	4.048	<0.001
Muscle mass index	0.059	0.119	0.498	0.620

表4　女童BMD 影响因素的多元线性回归分析

Tab.4　Multiple linear regression analysis of influencing factors of BMD in girls

Variable	*B*	*SE*	*t*	*P*
Constant	−4.452	1.915	−2.325	0.022
Age	0.160	0.121	1.314	0.192
Height	−0.010	0.019	−0.565	0.573
Puberty development	0.167	0.254	0.660	0.511
Obesity degree	−0.623	0.336	−1.853	0.067
HOMA-IR	0.002	0.003	0.520	0.604
Body fat percentage	0.022	0.035	0.615	0.540
Fat-free mass index	−2.387	3.001	−0.796	0.428
Body fat index	0.008	0.116	0.067	0.947
Muscle mass index	2.846	3.108	0.916	0.362

表5　一般肥胖组BMD影响因素的多元线性回归分析

Tab.5　Multiple linear regression analysis of factors influencing BMD in the simple obesity group

Variable	*B*	*SE*	*t*	*P*
Constant	−3.883	1.353	−2.870	0.005
Age	0.077	0.070	1.098	0.274
Height	0.013	0.011	1.219	0.225
Puberty development	−0.094	0.183	−0.512	0.610
Sex	0.400	0.172	2.327	0.021
HOMA-IR	−0.019	0.022	−0.854	0.394
Body fat percentage	−0.064	0.017	−3.696	<0.001
Fat-free mass index	0.029	0.144	0.198	0.843
Body fat index	0.200	0.053	3.737	<0.001
Muscle mass index	0.104	0.138	0.751	0.454

表6　极度肥胖组BMD影响因素的多元线性回归分析

Tab.6　Multiple linear regression analysis of factors influencing BMD in extreme obesity group

Variable	*B*	*SE*	*t*	*P*
Constant	−8.093	4.545	−1.781	0.079
Age	0.201	0.121	1.664	0.100
Height	−0.039	0.020	−1.965	0.053
Puberty development	0.232	0.229	1.013	0.314
Sex	−0.057	0.239	−0.239	0.811
HOMA-IR	0.001	0.003	0.508	0.613
Body fat percentage	0.209	0.111	1.892	0.062
Fat-free mass index	0.348	0.397	0.875	0.384
Body fat index	−0.433	0.228	−1.901	0.061
Muscle mass index	0.167	0.369	0.452	0.652

3　讨论

儿童肥胖发生率正在逐年攀升，体重和脂肪分布对BMD的影响也受到越来越多专家学者的关注。肥胖儿童的BMD和骨矿物量高于正常体重儿童，然而其发生肢体骨折风险可能较正常体重儿童更高，肥胖对儿童骨健康的影响充满复杂性和矛盾性[9]。

本研究结果显示，男童和女童中，与一般肥胖儿童比较，极度肥胖儿童体重、BMI z分数、肌肉量指数、体脂肪指数、体脂百分比、去脂体重指数、腰臀比、胰岛素、HOMA-IR、尿酸、脂肪肝发生率均显著增高（均$P<0.05$）。一般肥胖儿童与极度肥胖儿童身高、BMD、BMD z分数、25（OH）D、青春期发育情况比较无统计学差异，肥胖儿童BMD与去脂体重指数呈正相关，与以往研究[10-11]结果一致。然而，一项对不同肥胖程度儿童和青少年体成分、全身BMD（不包括头部）的回顾性研究[4]指出，极度肥胖儿童BMD高于一般肥胖儿童，且与肌肉量正相关。但过量体脂则可能与BMD呈负相关，这可能会减弱极度肥胖儿童肌肉量和BMD之间的正相关关系。LÓPEZ-PERALTA等[12]对儿童全身和腰椎BMD研究也发现，肥胖儿童BMD较正常体重与超重儿童高。肥胖对儿童BMD影响的不同结论可能与样本性别、年龄、青春期状态、脂肪分布、骨参数、骨结构有关。另外，研究的骨骼区域（全身、腰椎、前臂骨等）、BMI分组界值不同，BMD结果也有可能不同。

研究[1]表明，过量的脂肪可能会对儿童和青少年的骨骼健康产生负面影响。本研究结果显示，全部样本单因素分析中，前臂远端骨BMD z分数与BMI z分数、体脂肪指数、肌肉量指数、去脂体重指数均呈正相关。考虑到多个自变量可能存在相关性，单因素分析结果可能存在偏差，进一步应用多元线性回归进行分析。在调整了潜在混杂因素后，发现男童中体脂百分比、体脂肪指数是BMD z分数的独立影响因素（均$P<0.05$）；一般肥胖组中，体脂百分比、体脂肪指数是BMD z分数的影响因素（均$P<0.05$），而在女童和极度肥胖组的多元线性回归中未见有统计学意义的结果。因此推测体脂百分比和体脂肪指数高是BMD的不利影响因素，与以往研究[13]结果一致。KRISHNAN等[11]研究也证实超重儿童全身BMD与躯干脂肪百分比呈显著负相关。在调整了体重和潜在混杂因素后，正常体重儿童中也观察到体脂肪与BMD呈显著负相关[14-15]。

脂肪对骨骼的负面作用被认为是由于脂肪组织对骨细胞的促炎作用，导致骨吸收增加和骨形成减少。过量的脂肪组织（尤其是内脏脂肪组织）会分泌各种炎性细胞因子（白细胞介素-6、肿瘤坏死因子等），这些因子可能通过增加骨吸收来降低BMD[16]。肥胖伴随的胰岛素抵抗会破坏正常的骨代谢，导致骨形成受损，进一步降低BMD[17]。此外，肥胖儿童的饮食通常富含脂肪，这可能会减少肠道钙的吸收，导致骨形成所需钙减少，并进一步加剧炎症反应[18]。但已有部分研究[19-20]发现肥胖儿童BMD与脂肪量没有显著的关联，而与肌肉量的关系更为密切。LEE等[1]提出体重与BMD呈“倒U”型曲线关系，认为全身BMD（不包括头部）从体重过轻至超重

呈上升趋势；随着BMI继续升高，从超重发展至肥胖时BMD下降。因此推测可能存在合适的体脂参数范围来维持骨骼健康，如果偏离这个范围（体重过轻或肥胖）都可能导致骨骼健康受损，这也可能是在极度肥胖组中未见有统计学意义结果的原因。

综上所述，学龄期肥胖儿童的BMD与去脂体重指数呈正相关；体脂百分比和体脂肪指数高可能是学龄期肥胖儿童BMD的不利影响因素。儿童和青少年时期的肥胖会持续到成年，并对健康产生不利影响，进一步明确肥胖对骨矿物质积累的影响及作用机制，对于促进青少年时期的骨健康和降低晚年骨折的风险至关重要。本研究不足之处：（1）BMD检测部位单一，需增加其他部位（下肢、脊柱等）或全身BME检测，能更有助于全面阐述肥胖与BMD的关系；（2）本研究为横断面研究，未获得儿童生长过程中体重与BMD的动态变化；（3）入组男女样本量存在差距，可能导致一定的偏倚。

参考文献：

[1] LEE J，YOON I，CHA H，et al. Inverted U-shaped relationship between obesity parameters and bone mineral density in Korean adolescents [J]. J Clin Med，2023，12（18）：5869. DOI：10.3390/jcm12185869.

[2] 董彦会，陈力，刘婕妤，等. 1985—2019年中国7~18岁儿童青少年超重与肥胖的流行趋势及预测研究 [J]. 中华预防医学杂志，2023，57（4）：461-469. DOI：10.3760/cma.j.cn112150-20220906-00881.

[3] 詹舒敏，董关萍，傅君芬. 儿童遗传性肥胖的诊治与挑战 [J]. 中华预防医学杂志，2022，56（9）：1196-1202. DOI：10.3760/cma.j.cn112150-20220520-00508.

[4] SEO YG，KIM Y，LIM H，et al. Relationship between bone mineral density and body composition according to obesity status in children [J]. Endocr Pract，2021，27（10）：983-991. DOI：10.1016/j.eprac.2021.06.006.

[5] DIMITRI P，BISHOP N，WALSH JS，et al. Obesity is a risk factor for fractures in children，but protects against fractures in adults [J]. Bone，2012，50（2）：457-466. DOI：10.1016/j.bone.2011.05.011.

[6]《中国儿童肥胖的评估、治疗和预防指南》专家组. 中国儿童肥胖的评估、治疗和预防指南 [J]. 中国妇幼健康研究，2021，32（12）：1716-1722. DOI：10.3969/j.issn.1673-5293.2021.12.001.

[7] STYNE DM，ARSLANIAN SA，CONNOR EL，et al. Pediatric obesity assessment，treatment，and prevention：an endocrine society clinical practice guidelines [J]. J Clin Endocrinol Metab，2017，102（3）：709-757. DOI：10.1210/jc.2016-2573.

[8] 中华医学会儿科学会内分泌遗传代谢组，中华儿科杂志编辑委员会. 中枢性性早熟诊断与治疗专家共识（2022）[J]. 中华儿科杂志，2023，61（1）：16-22. DOI：10.3760/cma. j. cn112140-20220802-00693.

[9] EMERIAU F，AMSELLEM-JAGER J，BOUHOURS-NOUET N，et al. Insufficient bone mineralization to sustain mechanical load of weight in obese boys：a cross-sectional study [J]. J Clin Endocrinol Metab，2024，109（6）：1443-1453. DOI：10.1210/clinem/dgad760.

[10] FRANCESCHI R，RADETTI G，SOFFIATI M，et al. Forearm fractures in overweight obese children and adolescents：a matter of bone density，bone geometry，or body composition? [J]. Calcif Tissue Int，2022，111（2）：107-115. DOI：10.1007/s00223-022-00971-3.

[11] KRISHNAN S，ANDERSON MP，FIELDS DA，et al. Abdominal obesity adversely affects the bone mass in children [J]. World J Clin Pediatr，2018，7（1）：43-48. DOI：10.5409/wjcp.v7.i1.43.

[12] LÓPEZ-PERALTA S，ROMERO-VELARDE E，VÁSQUEZ-GARIBAY EM，et al. Bone mineral density and body composition in normal-weight，overweight，and obese children [J]. BMC Pediatr，2022，22（1）：249. DOI：10.1186/s12887-022-03317-y.

[13] MA CM，LU N，ZHANG MM，et al. Relationship between obesity and bone mineral density in children and adolescents：an analysis of the National Health and Nutrition Examination Survey [J]. Arch Osteoporos，2023，18（1）：25. DOI：10.1007/s11657-022-01208-4.

[14] YAO WW，LUO JP，AO LP，et al. Association of total body fat and fat distribution with bone mineral density among children and adolescents aged 6-17 years in Guangzhou，China [J]. Eur J Pediatr，2023，182（3）：1115-1126. DOI：10.1007/s00431-022-04727-x.

[15] LIANG JJ，CHEN YX，ZHANG JH，et al. Association of weight-adjusted body fat and fat distribution with bone mineral density in Chinese children aged 6-10 years [J]. Int J Environ Res Public Health. 2020，17（5）：1763. DOI：10.3390/ijerph17051763.

[16] KAWAI T，AUTIERI MV，SCALIA R. Adipose tissue inflammation and metabolic dysfunction in obesity [J]. Am J Physiol Cell Physiol 2021，320（3）：C375-C391. DOI：10.1152/ajpcell.00379.2020.

[17] PIRGON O，BILGIN H，TOLU I，et al. Correlation of insulin sensitivity with bone mineral status in obese adolescents with nonalcoholic fatty liver disease [J]. Clin Endocrinol，2011，75（2）：189-195. DOI：10.1111/j.1365-2265.2011.04038.x.

[18] FINTINI D，CIANFARANI S，COFINI M，et al. Bones in children with obesity [J]. Front Endocrinol，2020，11：200. DOI：10.3389/fendo.2020.00200.

[19] EL HAGE Z，THEUNYNCK D，JACOB C. Bone mineral content and density in obese，overweight，and normal-weight adolescent boys [J]. Leban Med J，2014，61（3）：148-154. DOI：10.12816/0001443.

[20] GRACIA-MARCO L，ORTEGA FB，JIMÉNEZ-PAVÓN D，et al. Adiposity and bone health in Spanish adolescents. HELENA Study [J]. Osteoporos Int，2012，23（3）：937-947. DOI：10.1007/s00198-011-1649-3.

（编辑　武玉欣）