

5~14 岁儿童青少年体成分与骨密度的关联

程轲, 王宝西, 王春晖, 宋丽佳, 习颖, 郭薇, 杨茜, 兰莉

空军军医大学第二附属医院儿科, 陕西 西安 710038

摘要: **目的** 了解 5~14 岁儿童青少年骨密度水平和体成分构成现状, 分析肌肉、脂肪、脂肪分布和脂肪肌肉比与骨密度的相关性。**方法** 采用便利抽样选取 2021—2023 年在空军军医大学第二附属医院就诊的 1 618 名 5~14 岁儿童青少年进行横断面研究和体格检查, 利用双能 X 线吸收法检测全身各部位体成分及全身骨密度(BMD), 计算脂肪质量指数(FMI)、肌肉质量指数(MMI)、Android 腹部脂肪百分比(AWR)、Gynoid 臀部脂肪百分比(GWR)、四肢脂肪百分比(LWR)和脂肪肌肉比(F/M), 按体重状态分层, 采用多元线性回归分析探讨校正混杂因素后体成分与骨密度的相关性。**结果** 1) 男女生全身骨密度随年龄的增长稳定增加(男: $F=67.741, P<0.001$; 女: $F=112.780, P<0.001$), 青春期骨密度累积出现提速, 且女生青春期骨密度累积提速早于男生; 超重肥胖儿童青少年骨密度高于非超重儿童青少年(男: $t=9.028, P<0.001$; 女: $t=12.315, P<0.001$)。2) 按照非超重组和超重肥胖组分层, 男女生各组 MMI 与骨密度正相关($P<0.05$), 非超重组男女生 FMI 与骨密度呈正相关(男: $B=0.009, P<0.001$; 女: $B=0.014, P<0.001$), 在超重肥胖组未显示出相关性。男生 F/M 在非超重组($B=-0.105, P<0.001$)和超重肥胖组($B=-0.188, P<0.001$)与骨密度呈负相关, AWR 仅在超重肥胖组($B=-0.801, P=0.018$)与骨密度呈负相关。女生在超重肥胖组 F/M($B=-0.153, P<0.001$)和 AWR($B=-1.030, P=0.011$)与骨密度负相关。骨密度与 F/M 的最佳拟合模型为三次曲线模型(男: $R^2=0.104, P<0.001$; 女: $R^2=0.226, P<0.001$), 男生和女生 F/M 在 0.8 范围内, 随着 F/M 的增加骨密度逐渐上升, 但当 F/M 超过 0.8 时, 骨密度缓慢下降。**结论** 肌肉与骨密度始终正相关, 脂肪对骨密度的影响存在阈值效应, 腹部脂肪与超重肥胖儿童青少年骨密度负相关。

关键词: 儿童青少年; 骨密度; 体成分; 双能 X 线

中图分类号: R179

文献标识码: A

文章编号: 1008-6579(2024)08-0844-06

doi: 10.11852/zgetbjzz2024-0387

Correlation between body composition and bone mineral density in children and adolescents aged 5 - 14 years

CHENG Ke, WANG Baoxi, WANG Chunhui, SONG Lijia, XI Ying, GUO Wei, YANG Xi, LAN Li

Department of Pediatrics, The Second Affiliated Hospital of Air Force Military Medical

University, Xi'an, Shaanxi 710038, China

Corresponding author: LAN Li, E-mail: 418893819@qq.com

Abstract: **Objective** To understand the current situation of bone mineral density and body composition of children and adolescents aged 5 - 14 years, and to analyze the correlation of muscle, fat, fat distribution, fat muscle ratio with bone mineral density. **Methods** A cross-sectional study was conducted on 1 618 children and adolescents aged 5 - 14 years who were treated in the Second Affiliated Hospital of Air Force Military Medical University from 2021 to 2023 by convenience sampling. Physical examination, body composition and bone mineral density (BMD) of all parts of the body were detected by dual energy X-ray absorptiometry. Fat mass index (FMI), muscle mass index (MMI), Android abdominal fat percentage (AWR), Gynoid hip fat percentage (GWR), limb fat percentage (LWR), and fat to muscle ratio (F/M) were then calculated. Multiple linear regression analysis stratified by weight status was used to explore the relationship between body composition and BMD after adjusting for confounders. **Results** 1) The BMD of both boys and girls increased steadily with age (boys: $F=67.741, P<0.001$; girls: $F=112.780, P<0.001$). The accumulation of BMD in adolescence increased, and the increase of BMD in girls was earlier than that in boys. The BMD of overweight and obese children and adolescents was higher than that of non-overweight children and adolescents (boys: $t=9.028, P<0.001$; girls: $t=12.315, P<0.001$). 2) Stratified by non-overweight and overweight obesity groups, MMI was positively correlated with BMD in male and female students ($P<0.05$), and FMI was positively correlated with BMD in male and female students

基金项目: 陕西省社会发展领域(S2024-YF-YBSF-1303)

作者简介: 程轲(1989-), 男, 硕士研究生, 住院医师, 主要从事儿童生长发育研究。

通信作者: 兰莉, E-mail: 418893819@qq.com

(male: $B=0.009$, $P<0.001$; female: $B=0.014$, $P<0.001$). No correlation was observed in the overweight and obesity group. The F/M ratio of male students was negatively correlated with BMD both in non-overweight group ($B=-0.105$, $P<0.001$) and overweight obesity group ($B=-0.188$, $P<0.001$), while AWR was only found to be negatively correlated with BMD in the overweight and obesity group ($B=-0.801$, $P=0.018$). F/M ($B=-0.153$, $P<0.001$) and AWR ($B=-1.030$, $P=0.011$) was negatively correlated with BMD in overweight and obese female students. The best fitting model between BMD and F/M was the cubic curve model (male: $R^2=0.104$, $P<0.001$; female: $R^2=0.226$, $P<0.001$). The F/M of boys and girls was within 0.8, and the BMD gradually increased with the increase of F/M, but when the F/M exceeded 0.8, the BMD slowly decreased. **Conclusions** Muscle and bone mineral density are always positively correlated. There is a threshold effect of fat on bone mineral density. Abdominal fat is negatively correlated with bone mineral density in overweight and obese children and adolescents.

Keywords: children and adolescents; bone mineral density; body composition; dual energy X-ray

骨密度是指单位体积内骨矿物质的含量,可以敏感准确地反映骨骼健康状态,是评估骨发育状态的重要指标^[1]。儿童早期和青春期是快速生长和骨量累积的关键时期,特别是青春期骨量累积大幅度提速,累积约 50% 的峰值骨量,至青春期末,骨量累积达峰值骨量的 90%。青春期峰值骨量的获得是成年骨质疏松性骨折风险的重要决定因素^[2]。骨密度累积 70% 由先天遗传因素决定,另一方面与体成分、运动、营养、疾病等密切相关^[3]。研究表明,肌肉通过重力增加骨的承载负荷,通过收缩增加骨的机械负荷,刺激骨强度增大和骨密度累积,然而脂肪对骨密度的作用结论不一致^[4-8]。另外,青春期内分泌水平的改变,肌肉累积迅速增加,脂肪累积出现性别差异,加之近年来儿童青少年超重肥胖发生率增加^[9],儿童青少年脂肪含量和脂肪分布对骨密度的影响报道较少。双能 X 线吸收法具有快速、安全、精准、可重复的优点,是国际临床密度测定学会(international society for clinical densitometry, ISCD)推荐测量骨密度的金标准,同时可对全身各部位脂肪、肌肉进行测量^[10]。本研究以双能 X 线吸收法作为骨密度评价的方法,探讨肌肉、脂肪和脂肪分布对儿童青少年骨密度的影响。

1 对象和方法

1.1 对象 采用便利抽样选取 2021—2023 年在空军军医大学第二附属医院健康体检的 5~14 岁儿童青少年进行横断面研究。纳入标准:1) 5~14 岁儿童青少年;2) 完成体格检查(身高、体重、青春期分期)、骨密度和体成分测量。排除标准:1) 身高、体重低于同龄儿第三百分位者(P_3);2) 近 1 年内骨折或使用激素类药物超过 3 月者;3) 骨发育不良或代谢性骨病者;4) 患糖尿病、肾病、甲状腺、自身免疫性疾病等影响骨代谢疾病者。本研究通过本院伦理委员会批准([2021]154 号),获得儿童青少年及其监护人知情同意,并签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 一般资料 收集年龄、性别等一般资料,身高、体重均连续测量 2 次,身高精确到 0.1cm,2 次测量误差不超过 0.5cm;体重精确到 0.1kg,2 次测量误差不超过 0.5kg,取其平均值,并计算体质量指数(body mass index, BMI), $BMI = \text{体重}/\text{身高}^2 (\text{kg}/\text{m}^2)$ 。依据“李辉等^[11]调查中国 2~18 岁儿童青少年超重和肥胖筛查 BMI 界值点”的研究结果, $<P_{85}$ 为非超重组, $\geq P_{85}$ 为超重肥胖组。青春期分期采用 Tanner 分期评价女生乳房大小,采用 Prader 睾丸计测定男生睾丸容积,女性乳腺发育/男性睾丸发育 $\geq \text{II}$ 期为青春期。

1.2.2 骨密度和体成分 应用 GE Healthcare Lunar 双能 X 线骨密度仪进行全身扫描,软件版本 enCORE Version 14.10。扫描上肢区域、下肢区域、Android 腹部区域(在骨盆切线以上、骨盆切线和颈部切线之间距离的 20% 的面积)、Gynoid 臀部区域(上边界为平行于骨盆切线、在骨盆切线以下男性区域高度的 1.5 倍处,下边界为平行于骨盆切线、在骨盆切线以下女性区域高度的 3.5 倍处)和全身区域。见图 1。测量各区域脂肪质量、肌肉质量和骨密度(bone mineral density, BMD)。计算脂肪质量指数(fat mass index, FMI)、肌肉质量指数(muscle mass index, MMI)、Android 腹部脂肪百分比(Android to whole body fat ratio, AWR)、Gynoid 臀部脂肪百分比(Gynoid to whole body fat ratio, GWR)、四肢脂肪百分比(limb to whole body fat ratio, LWR)和脂肪肌肉比(fat to muscle ratio, F/M)。FMI=脂肪质量/身高² (kg/m^2),MMI=肌肉质量/身高² (kg/m^2)。

1.3 质量控制 调查开始前对体格测量人员进行培训,由培训人员进行身高、体重测量(分别精确到 0.1cm、0.1kg)和青春期评价。骨密度和体成分检测设备 and 人员资质符合 ISCD 操作规范及质量控制的水平,每天在测量受试者和校准双能 X 线骨密度

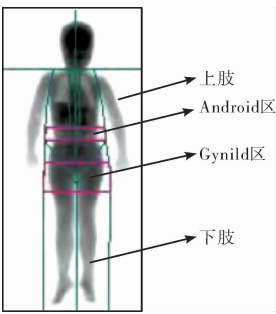


图 1 双能 X 线骨密度仪扫描全身体成分计算分区图

Fig. 1 Partition of whole body composition by dual energy X-ray absorptiometry scanning

仪之前检查标准体模,所有骨密度测定使用同一台双能 X 线骨密度仪及同一版本软件进行分析,由 ISCD 认证的同一名技术人员测量。

1.4 统计学方法 双人录入数据并进行核查,采用 SPSS 22.0 软件进行统计分析,按性别进行分层分析。正态分布计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用 t 检验和 F 检验。采用一般线性模型对骨密度和体成分进行趋势检验,采用多元线性回归模型,调整年龄、青春期,按照非超重组和超重肥胖组分层,分析肌肉、脂肪及脂肪分布对骨密度的影响。骨密度拟合曲线模型通过线性、二次、三次、复合、对数、S、指数、逆、幂的图形检验,所有最终拟合曲线模型的拟合度通过调整后的 R^2 值确定。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 骨密度随年龄增长,青春期加速 本研究共纳入 5~14 岁健康体检儿童青少年 1 618 人,男生 629 人,女生 989 人。一般线性模型分析显示,男女生骨密度随年龄的增长稳定增加(男: $\beta = 0.027$, $F = 67.741$, $P < 0.001$;女: $\beta = 0.034$, $F = 112.780$, $P < 0.001$),总体趋势 11 岁前男生骨密度高于女生,女生在 11 岁、男生在 12 岁左右骨密度累积速率增大,女性青春期骨密度累积提速早于男性。男女生超重肥胖组骨密度高于非超重组(男: $t = 9.028$, $P < 0.001$;女: $t = 12.315$, $P < 0.001$),进入青春期的男女生骨密度水平高于未进入青春期(男: $t = 18.368$, $P < 0.001$;女: $t = 19.214$, $P < 0.001$)。见表 1。

2.2 肌肉随年龄增长,脂肪增长出现性别差异 根据一般线性模型分析结果,男女生 BMI(男: $F = 14.137$,女: $F = 22.552$)、MMI(男: $F = 26.545$,女: $F = 26.608$)和 FMI(男: $F = 5.224$,女: $F = 16.138$)均随年龄缓慢升高($P < 0.001$)。FMI 在男女生中出现不同变化趋势,10 岁前男生 FMI 随年龄缓慢增

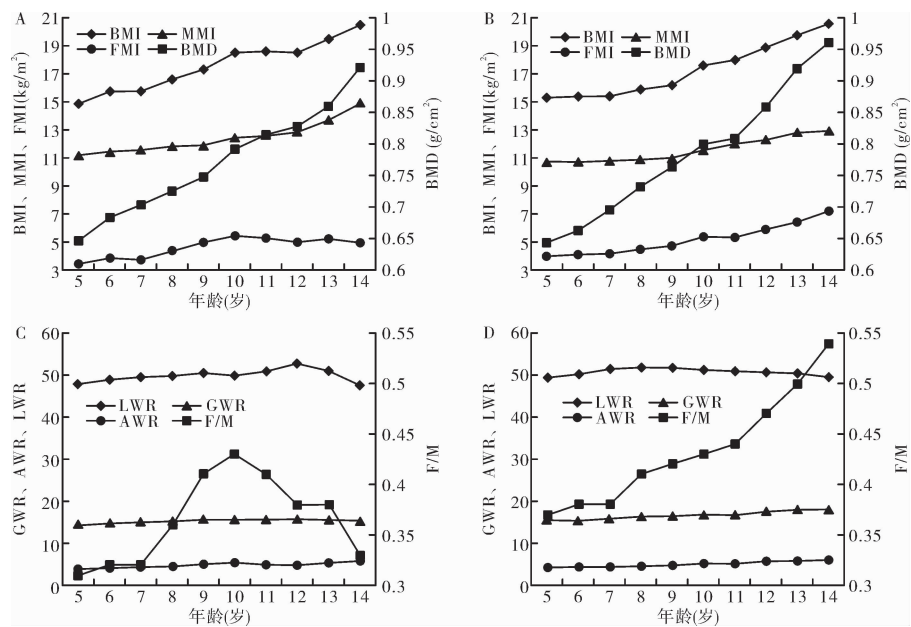
表 1 全身骨密度水平基本情况($\bar{x} \pm s$)

Tab. 1 Basic information of whole body bone mineral density($\bar{x} \pm s$)

分类指标	男($n=629$)		女($n=989$)	
	例数	全身骨密度 (g/cm ²)	例数	全身骨密度 (g/cm ²)
年龄(岁)				
5	41	0.647±0.045	53	0.637±0.041
6	62	0.683±0.054	86	0.660±0.050
7	58	0.703±0.053	145	0.676±0.050
8	60	0.725±0.062	191	0.715±0.045
9	88	0.747±0.070	166	0.725±0.056
10	80	0.792±0.070	139	0.774±0.074
11	75	0.814±0.078	78	0.803±0.094
12	70	0.827±0.074	61	0.857±0.108
13	62	0.860±0.087	40	0.919±0.104
14	33	0.922±0.123	30	0.962±0.086
F 值		67.741		112.780
P 值		<0.001		<0.001
体重状态				
非超重	478	0.752±0.092	684	0.732±0.089
超重肥胖	151	0.827±0.098	305	0.819±0.108
t 值		9.028		12.315
P 值		<0.001		<0.001
青春期				
否	326	0.713±0.068	214	0.676±0.060
是	303	0.834±0.093	775	0.782±0.103
t 值		18.368		19.214
P 值		<0.001		<0.001

加,10 岁后趋于稳定,女生 FMI 随年龄持续升高。脂肪分布结果中,男女生 AWR、GMR 和 GMR 均随年龄缓慢变化,且女生 GWR 大于男生,差异有统计学意义($P < 0.05$)。男女生 F/M 在 10 岁前随年龄增加均不断升高,11~14 岁女生 F/M 随年龄继续增长,11~14 岁男生 F/M 随年龄逐渐降低。见图 2。

2.3 按体重状态分层分析体成分对骨密度的影响 按照非超重组和超重肥胖组分层,男女生各组 MMI 与骨密度呈正相关($P < 0.05$),非超重组男女生 FMI 与骨密度呈正相关(男: $B = 0.009$, $P < 0.001$;女: $B = 0.014$, $P < 0.001$),在超重肥胖组未显示出相关性。男生 F/M 在非超重组($B = -0.105$, $P < 0.001$)和超重肥胖组($B = -0.188$, $P < 0.001$)均与骨密度呈负相关,AWR 仅在超重肥胖组($B = -0.801$, $P = 0.018$)与骨密度呈负相关。女生在超重肥胖组 F/M($B = -0.153$, $P < 0.001$)和 AWR($B = -1.030$, $P = 0.011$)与骨密度呈负相关。见表 2。骨密度与 F/M 的最佳拟合模型为三次曲线模型(男: $R^2 = 0.104$, $P < 0.001$;女: $R^2 = 0.226$, $P < 0.001$),男生和女生 F/M 在 0.8 范围内,随着 F/M 的增加骨密度逐渐上升,但当 F/M 超过 0.8 时,骨密度缓慢下降。见图 3。



注：图 A、C 为男生，B、D 为女生。

图 2 全身骨密度和体成分构成随年龄变化趋势

Fig. 2 Trends of bone mineral density and body composition with age

表 2 不同体重状态儿童青少年体成分对骨密度的影响

Tab. 2 Effect of body composition on bone mineral density in children with different weight states

体重状态	体成分	男			女		
		B 值	t 值	P 值	B 值	t 值	P 值
非超重	FMI ^{ab}	0.009	3.972	<0.001	0.014	7.094	<0.001
	MMI ^{ac}	0.020	9.253	<0.001	0.025	10.703	<0.001
	AWR ^{ad}	-0.397	0.688	0.492	-0.212	0.784	0.433
	GWR ^{ad}	-0.068	0.348	0.728	0.631	4.203	<0.001
	LWR ^{ad}	0.105	1.498	0.135	0.121	1.927	0.054
	F/M ^{ad}	-0.105	3.623	<0.001	-0.026	1.014	0.311
超重肥胖	FMI ^{ab}	-0.002	1.162	0.247	0.003	1.429	0.154
	MMI ^{ac}	0.018	5.703	<0.001	0.028	7.376	<0.001
	AWR ^{ad}	-0.801	2.364	0.018	-1.030	2.546	0.011
	GWR ^{ad}	0.519	1.041	0.300	0.832	3.543	<0.001
	LWR ^{ad}	0.006	0.035	0.872	0.107	1.056	0.292
	F/M ^{ad}	-0.188	4.957	<0.001	-0.153	3.918	<0.001

注：^a 调整年龄、青春；^b 调整 MMI；^c 调整 FMI；^d 调整 BMI。

3 讨论

3.1 儿童青少年骨密度随年龄增加，青春期累积突增 本研究结果显示男女生骨密度随年龄增加，青春期骨密度累积提速增加，青春期女生骨密度累积提速早于男生。McCormack 等^[12] 对美国 2002—2010 年 2 014 名儿童调查发现，美国女生骨密度累积速度在 12 岁、男生骨密度累积速度在 15 岁达到顶峰。Elhakeem 等^[13] 从 1991 年开始对英国 6 389 名儿童长达 15 年的研究也表明骨密度在青春

期累积提速，青春期骨密度累积提速女生早于男生。米杰等^[14] 2015 年覆盖我国 7 个地区纳入 10 818 名 3~18 岁儿童青少年的调查得出同样的结果，骨密度在 3~10 岁男生高于女生，11~13 岁女生高于男生，青春期末男生骨密度高于女生。这些调查均得出骨密度随年龄增长，青春期骨密度水平突增，这与青春期儿童性激素水平升高影响有关，一方面雌激素促进骨密度和骨矿化累积速度增加，促进骨纵向生长、膜内成骨和骨骺融合；另一方面雄激素通过雄激素受体直接促进骨形成，通过芳香化后形成雌激素，促进骨骼生长及骨密度增加^[15]。目前我国尚无指南明确各年龄段骨密度参考标准，本研究初步建立本地区骨密度参考值，但局限于唐都医院儿童保健科就诊的儿童，相关结果仅适用于部分人群无法推广，仍需进一步分层抽样扩大样本量进行调查。

3.2 儿童青少年肌肉脂肪随年龄变化，青春期出现性别差异 肌肉和脂肪随年龄和体重逐渐增加，青春期体成分改变出现性别差异，青春期女生积累的脂肪量更多，男生积累的肌肉量更多。调查表明，青春期早期女生肌肉百分比约为 80%，成熟期下降到 75%；男生青春期早期肌肉百分比 80%~85%，成熟期增加到 90%；女性脂肪比例从青春期早期的 13%增加到成熟期的 23%，男性则由早期的 11%，下降至成熟期的 9%^[16]。本研究中男女生肌肉随年龄增加而升高，脂肪增长在 10 岁出现差异，男生 10~

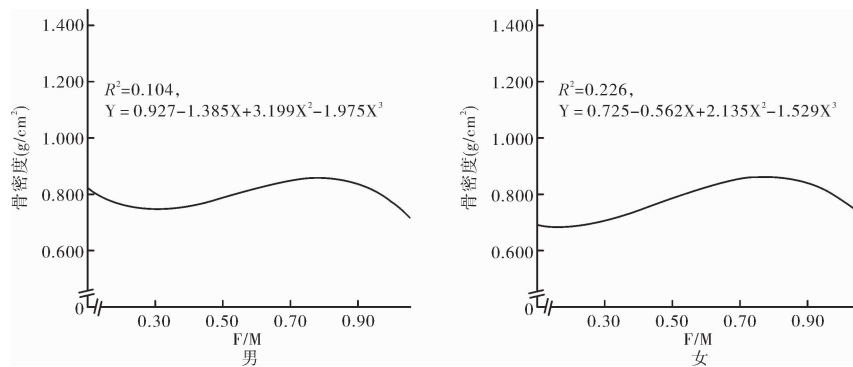


图 3 骨密度与脂肪肌肉比关系的最佳拟合曲线

Fig. 3 Best fitting curve of the relationship between BMD and F/M

14 岁逐渐稳定而女生逐渐上升,同时男女生 10 岁前 F/M 在逐渐升高,意味着脂肪的增长快于肌肉的增长;10 岁后男生的 F/M 在缓慢降低,女生的 F/M 在逐渐升高,男生的肌肉增长速度明显快于脂肪增长速度。人体的各项发育指标往往存在一定联系,骨密度不仅与年龄、性别相关,同时受到肌肉、脂肪的影响。随着个体肥胖程度增加,脂肪质量和肌肉质量不能反映个体营养状况,本研究中,体脂百分比代表一定体重下相应脂肪质量,反映个体脂肪水平,AWR、GWR、LWR 反映脂肪分布,F/M 则反映个体脂肪与肌肉的构成比例,反映体型发育的比例,为临床评价个体营养水平与骨密度关系提供新的思路。

3.3 肌肉促进骨密度累积 肌肉和骨密度之间存在密切的关系。本研究表明肌肉对骨密度的累积起正向作用,这与 Pelegriani 等^[17]研究结论一致。肌肉和骨骼是一个互相支撑和互相保护的关系,肌肉包裹在骨骼外面,起到保护骨骼的作用。肌肉能够为骨骼提供必要的营养和代谢支持,帮助维持骨密度,肌肉的衰减和萎缩会导致骨密度下降^[18]。同时,肌肉的力量也会影响骨密度,有研究表明肌肉力量与骨密度是成正相关的,肌肉通过重力增加骨的承载负荷,骨骼肌收缩增加骨的机械负荷,刺激骨强度增大和骨密度累积^[4]。

3.4 脂肪对骨密度影响存在阈值效应 目前脂肪对骨密度的影响结论不一致。Rokoff 等^[5-6]调查表明重力作用下骨的承载负荷增大,脂肪增加体重,对骨密度有积极作用,然而 Liu 等^[7-8]调查排除体重混杂因素,脂肪和骨密度之间可能呈负相关或无相关性。本研究发现在正常 BMI 组中,脂肪与骨密度呈正相关,而在超重肥胖组脂肪与骨密度无相关性,并且认为脂肪和肌肉的比例对骨密度的作用可能存在阈值效应,男女生 F/M 在 0.8 以内时,随着 F/M 的增加骨密度逐渐上升,但当 F/M 超过 0.8 时,骨密

度缓慢下降,但 F/M 大于 0.8 的男女生样本量相对少,需要扩大样本量进一步验证。本研究提示脂肪分布变化对骨密度产生明显影响,Android 区脂肪主要反映腹部脂肪,在本研究中,男女生非超重组 AWR 与骨密度无相关性,超重肥胖组男女生 AWR 与骨密度呈负相关,提示随着男女生腹部脂肪的增加或中心性肥胖的增加对骨密度产生负面作用。Kindler 等^[19]研究得出中心性肥胖损害骨健康的同样结论。基础研究也提示:过量脂肪引起瘦素水平升高,抑制下丘脑 5-羟色胺合成,调节交感神经系统抑制成骨细胞分化、促进破骨细胞增殖^[20]。另一方面,过多的脂肪组织分泌 IL-1、IL-6、TGF- α 等炎症因子,通过调节 RANKL/RANK/OPG 通路,刺激破骨细胞活化,增加骨吸收,影响骨代谢^[21]。当脂肪堆积产生的重力效应不足以抵消脂肪组织分泌的代谢因子产生的负面作用时,尤其是腹部脂肪的堆积中心性肥胖的增加,对骨密度的不利影响就会显现。

本研究采用横断面分析方法探讨儿童青少年全身肌肉和脂肪含量与骨密度的关系。儿童青少年骨密度随年龄增长,青春期骨密度累积提速增加,青春期女生骨密度累积提速早于男生。肌肉促进骨密度的累积,脂肪对骨密度的影响存在阈值效应,腹部脂肪对超重肥胖男女生骨密度有害。本研究存在一定的局限性,扩大研究年龄和样本量后更具说服力。总之,儿童青少年应保持健康体格,注意体育锻炼,增肌减脂,利于儿童和成年骨健康。

参考文献

- [1] Chevalley T, Rizzoli R. Acquisition of peak bone mass[J]. Best Pract Res Clin Endocrinol Metab, 2022, 36 (2): 101616.
- [2] Kalkwarf HJ, Shepherd JA, Fan B, et al. Reference ranges for bone mineral content and density by dual energy X-Ray absorptiometry for young children[J]. J Clin Endocrinol

- Metab, 2022, 107(9): e3887-e3900.
- [3] Han CS, Kim HK, Kim S. Effects of adolescents' lifestyle habits and body composition on bone mineral density[J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(11): 6170.
- [4] Zhang L, Li H, Zhang Y, et al. Association of body compositions and bone mineral density in chinese children and adolescents: Compositional data analysis[J]. Biomed Res Int, 2021, 2021:1904343.
- [5] Rokoff LB, Rifas-Shiman SL, Switkowski KM, et al. Body composition and bone mineral density in childhood [J]. Bone, 2019, 121:9-15.
- [6] Xiao Z, Xu H. Gender-specific body composition relationships between adipose tissue distribution and peak bone mineral density in young Chinese adults[J]. Biomed Res Int, 2020, 2020:6724749.
- [7] Liu YH, Xu Y, Wen YB, et al. Association of weight-adjusted body fat and fat distribution with bone mineral density in middle-aged chinese adults: A cross-sectional study[J]. PLoS One, 2013, 8(5): e63339.
- [8] Liang J, Chen Y, Zhang J, et al. Associations 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
- [9] 中华医学会儿科学分会内分泌遗传代谢学组, 中华医学会儿科学分会儿童保健学组, 中华医学会儿科学分会临床营养学组, 等. 中国儿童肥胖诊断评估与管理专家共识[J]. 中华儿科杂志, 2022, 60(6): 507-515.
- Endocrinology, genetics and metabolism group of scientific society of Chinese Medical Association, et al. Expert consensus on diagnosis, assessment and management of childhood obesity in China[J]. Chin J Pediatr, 2022, 60(6): 507-515. (in Chinese)
- [10] Guss CE, Mcallister A, Gordon CM. DXA in children and adolescents[J]. J Clin Densitom, 2021, 24(1): 28-35.
- [11] 李辉, 宗心南, 季成叶, 等. 中国 2~18 岁儿童青少年超重和肥胖筛查体重指数界值点的研究[J]. 中华流行病学杂志, 2010, 31(6): 616-620.
- Li H, Zong XN, Ji CY, et al Study on the cut-off point of body mass index for overweight and obesity screening in Chinese children and adolescents aged 2-18[J]. Chin J Epidemiol, 2010, 31(6): 616-620. (in Chinese)
- [12] McCormack SE, Cousminer DL, Chesi A, et al. Association between linear growth and bone accrual in a diverse cohort of children and adolescents[J]. JAMA Pediatr, 2017, 171(9): e171769.
- [13] Elhakeem A, Frysz M, Tilling K, et al. Association between age at puberty and bone accrual from 10 to 25 years of age[J]. JAMA Network Open, 2019, 2(8): e198918.
- [14] 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.
- [15] Chen JF, Lin PW, Tsai YR, et al. Androgens and androgen receptor actions on bone health and disease: From androgen deficiency to androgen therapy[J]. Cells, 2019, 8(11): 1318.
- [16] Deng KL, Yang WY, Hou JL, et al. Association between body composition and bone mineral density in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis[J]. Int J Environ Res Public Health, 2021, 18(22): 12126.
- [17] Pelegrini A, Bim MA, Alves AD, et al. Relationship between muscle strength, body composition and bone mineral density in adolescents[J]. J Clin Densitom, 2022, 25(1): 54-60.
- [18] Monteleone P, Mascagni G, Giannini A, et al. Symptoms of menopause - global prevalence, physiology and implications[J]. Nat Rev Endocrinol, 2018, 14(4): 199-215.
- [19] Kindler JM, Lobene AJ, Vogel KA, et al. Adiposity, insulin resistance, and bone mass in children and adolescents [J]. J Clin Endocrinol Metab, 2019, 104(3): 892-899.
- [20] Mohammadi SM, Saniee N, Borzoo T, et al. Osteoporosis and leptin: A systematic review[J]. Iran J Public Health, 2024, 53(1): 93-103.
- [21] Gkastaris K, Goulis DG, Potoupnis M, et al. Obesity, osteoporosis and bone metabolism[J]. J Musculoskelet Neuronal Interact, 2020, 20(3): 372-381.

收稿日期:2024-04-09 修回日期:2024-05-27 本文编辑:王悦