

• 科研论著 •

甘肃地区不同营养状况下骨龄提前的风险分析

达振强¹, 李婷婷², 南楠², 魏丽琼², 陈奕铭³, 朱瑛², 高杨², 安旦旦², 张娜琪², 马昕², 郭金仙²

1. 甘肃省妇幼保健院医务科, 甘肃 兰州 730000; 2. 甘肃省妇幼保健院儿保科; 3. 甘肃省妇幼保健院运营管理部

摘要: **目的** 分析甘肃地区学龄前和学龄期儿童骨龄提前与超重/肥胖关系, 以推动该地区儿童的营养干预和健康教育。**方法** 选取 2019 年 2 月—2023 年 10 月期间于甘肃省妇幼保健院儿保科体检的 1 462 名 3~12 岁儿童(男 698 例, 女 764 例)为研究对象。采用左手腕部 X 线片评估骨龄, 同时根据体质量指数(BMI)标准将研究对象分为低体重组、正常组、超重组和肥胖组。分析不同性别、营养状态及年龄段的骨龄状态, 并进一步探讨超重/肥胖与骨龄提前的相关性。**结果** 总体分析人群中, 低体重、超重和肥胖儿童占比分别为 7.11%、8.41% 和 13.34%, 骨龄提前和骨龄落后的儿童比例分别为 7.87% 和 35.16%。女童骨龄提前的比例显著高于男童(11.91% vs. 3.44%, $\chi^2=71.296$, $P<0.05$)。9~12 岁儿童骨龄提前的比例(19.40%)显著高于 6~8 岁组(7.62%, $P<0.05$)和 3~5 岁组(1.01%, $\chi^2=119.802$, $P<0.05$)。与 BMI 正常儿童(5.77%)相比, 超重(17.07%)和肥胖儿童(16.92%)中骨龄提前的比例显著升高($\chi^2=99.176$, $P<0.05$)。超重和肥胖均为骨龄提前的危险因素, OR 值分别 2.488(95%CI: 1.435~4.314, $P<0.05$)和 2.330(95%CI: 1.463~3.710, $P<0.001$)。BMI 与骨龄年龄差呈显著正相关($r=0.361$, $P<0.001$)。此外, BMI 在预测骨龄提前中的 AUC 为 0.735(95%CI: 0.684~0.786, $P<0.001$), 其最优截断值为 16.699 kg/m²(敏感度 0.696, 特异性 0.739, 约登指数 0.435)。**结论** 甘肃地区不同营养状态下儿童骨龄存在显著差异, 超重和肥胖与骨龄提前呈显著正相关。建议定期监测超重及肥胖儿童骨龄, 以便早期干预, 促进儿童健康生长发育。

关键词: 营养; 体质量指数; 骨龄; 相关性; 儿童**中图分类号:** R179 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-6579(2025)08-0835-06 **doi:** 10.11852/zgetbjzz2024-1224

Correlation of body mass index with advanced bone age in children from Gansu

DA Zhenqiang¹, LI Tingting², NAN Nan², WEI Liqiong², CHEN Yiming³, ZHU Ying², GAO Yang²,
AN Dandan², ZHANG Naqi², MA Xin², GUO Jinxian²1. Department of Medical Services, Gansu Provincial Maternity and Child Health Care Hospital, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. Department of Child Health Care, Gansu Provincial Maternity and Child Health Care Hospital;
3. Department of Operation and Management, Gansu Provincial Maternity and Child Health Care Hospital

Corresponding author: GUO Jinxian, E-mail: 549303440@qq.com

Abstract: **Objective** To investigate the correlation of advanced bone age (BA) with overweight/obesity in preschool and school-aged children from Gansu, in order to promote the nutritional intervention and health education in this region.

Methods A total of 1 462 children (698 boys, 764 girls) aged 3-12 years who underwent health examinations at the Department of Child Health Care, Gansu Provincial Maternity and Child Health Care Hospital from February 2019 to October 2023 were included. Bone age was assessed using left-hand wrist radiographs, and participants were categorized into underweight, normal weight, overweight, and obese groups based on body mass index (BMI) criteria. Bone age status was analyzed across different sexes, nutritional statuses, and age groups, and the association between overweight/obesity and advanced bone age was further explored. **Results** In the overall study population, the proportions of underweight, overweight, and obese children were 7.11%, 8.41%, and 13.34%, respectively. The prevalence of advanced bone age and delayed bone age was 7.87% and 35.16%, respectively. Girls had a significantly higher rate of advanced bone age than boys (11.91% vs. 3.44%, $\chi^2=71.296$, $P<0.05$). Children aged 9-12 years exhibited a significantly higher rate of advanced bone age (19.40%) compared to those aged 6-8 years (7.62%, $P<0.05$) and 3-5 years (1.01%, $\chi^2=119.802$, $P<0.05$). Compared to normal-weight children (5.77%), the prevalence of advanced bone age was significantly higher in

基金项目: 兰州市科技计划项目(2022-5-86); 甘肃省卫生健康行业科研计划项目(GSWSKY2021-040); 甘肃省自然科学基金项目(23JRRA1378)

作者简介: 达振强(1981—), 男, 医学硕士, 副主任医师, 主要研究方向为儿童保健。

通信作者: 郭金仙, E-mail: 549303440@qq.com

overweight (17.07%) and obese children (16.92%) ($\chi^2=99.176$, $P<0.05$). Both overweight and obesity were identified as risk factors for advanced bone age, with odds ratios (ORs) of 2.488 (95% CI:1.435-4.314, $P<0.05$) and 2.330 (95% CI:1.463-3.710, $P<0.001$), respectively. BMI showed a significant positive correlation with bone age difference ($r=0.361$, $P<0.001$). Furthermore, the area under the curve (AUC) of BMI in predicting advanced bone age was 0.735 (95% CI:0.684-0.786, $P<0.001$), with an optimal cutoff value of 16.699 kg/m² (sensitivity was 0.696, specificity was 0.739, Youden index was 0.435). **Conclusions** Significant differences in bone age are observed among children with varying nutritional status in Gansu, with overweight and obesity strongly associated with advanced bone age. Regular bone age monitoring in overweight and obese children is recommended for early intervention to promote healthy growth and development.

Keywords: nutrition; body mass index; bone age; correlation; children

全球范围内,儿童营养问题仍是各国面临的重大公共卫生挑战^[1]。体质指数(body mass index, BMI)是衡量儿童和青少年胖瘦程度的重要指标之一,常被用于快速评估营养状况。然而,近年来研究表明,骨龄(bone age, BA)能够更准确地反映儿童和青少年的生长发育水平及趋势。营养状况对骨骼发育具有重要影响,长期营养不良可能会阻碍儿童骨骼的正常发育和成熟^[2]。研究虽已指出低体重和正常体重儿童的平均 BA 与其生理年龄(chronological age, CA)大致相符^[3],但低体重儿童骨龄落后风险显著增加仍存在争议。肥胖儿童通常伴有多种并发症,包括高胰岛素血症、高血压、代谢综合征、非酒精性脂肪性肝病及青春期提前^[4-7]。研究发现,体重较大儿童比正常体重儿童骨龄提前^[8-9],但依然存在争议,因此有必要进一步研究来验证。

既往研究大多基于西方儿童和青少年,这些研究结论在中国儿童中的适用性尚不明确,尤其西北地区作为经济相对欠发达的区域。考虑到未来儿童超重和肥胖的负担可能会持续加重,因此本研究通过开展一项横断面研究,探讨甘肃地区学龄前及学龄期儿童的骨骼发育与其营养状态之间的相关性,更多关注该区域儿童的营养状况和生长发育,早期采取干预措施,以推动西北地区儿童营养干预和健康教育的发展。

1 对象和方法

1.1 对象 本研究选取 2019 年 2 月—2023 年 10 月在甘肃省妇幼保健院儿保科体检的 1 462 名 3~12 岁儿童原始数据进行分析。纳入标准:1)年龄 3~12 岁;2)认知功能正常;3)儿童监护人了解并签署知情同意书。排除标准:1)早产史或低出生体重史;2)合并脏器功能不全;3)合并佝偻病、代谢性骨病等 25(OH)D 代谢异常疾病;4)青春期超前或延迟;5)性早熟;6)近 3 个月内服用抗癫痫药等影响 25(OH)D 吸收或含 25(OH)D 营养补充剂;7)内分泌

泌疾病或遗传性疾病导致的继发性肥胖;8)药物性肥胖;9)近期使用减肥药物;10)合并传染病或恶性肿瘤。本研究为经过甘肃省妇幼保健院伦理委员会的审查和批准[(2024)GSFY 伦审(83)号],符合《赫尔辛基宣言》原则。所有参与研究的儿童在参与前均获得其父母或监护人的书面知情同意。

1.2 方法

1.2.1 身高、体重和 BMI 测量 所有纳入儿童的身高和体重均采用标准化测量工具及方法检测,由训练有素的专科医生进行测量,数值分别精确到 0.1cm、0.1kg。对于 3~6 岁儿童,身高根据 2022 年卫健委《7 岁以下儿童生长标准》^[10]:身高< P_3 为下等, $P_3\leq$ 身高< P_{25} 为中下等, $P_{25}\leq$ 身高< P_{75} 为中等, $P_{75}\leq$ 身高< P_{97} 为中上等,身高 $\geq P_{97}$ 为上等。对于 7~12 岁儿童,身高根据 2018 年卫健委《7 岁~18 岁儿童青少年身高发育等级评价》^[11]:身高<-2SD 为下等,-2SD $\leq$ 身高<-1SD 为中下等,-1SD $\leq$ 身高<+1SD 为中等,-1SD<身高 $\leq$ +2SD 为中上等,身高 $>$ +2SD 为上等。BMI 计算公式为 BMI (kg/m²)=体重(kg)/身高(m²)。本研究 3~6 岁儿童采用国家卫健委 2022 年发布的《7 岁以下儿童生长标准》定义儿童低体重、正常、超重和肥胖: BMI< P_3 为低体重, $P_3\leq$ BMI< P_{90} 为正常, $P_{90}\leq$ BMI< P_{97} 为超重, BMI $\geq P_{97}$ 为肥胖^[10]; 7 岁以上儿童采用 2009 年《中国 0~18 岁儿童、青少年体块指数的生长曲线》^[12] 定义儿童低体重、正常、超重和肥胖: BMI< P_3 为低体重, $P_3\leq$ BMI< P_{85} 为正常, $P_{85}\leq$ BMI< P_{95} 为超重, BMI $\geq P_{95}$ 为肥胖。

1.2.2 骨龄的测定 骨龄通过 X 线左手腕关节拍片并采用标准 TW3-C RUS 骨龄评分法测量^[13],骨龄评估由固定的 2 名经验丰富的医师进行等级评价。骨龄年龄差(bone age difference, BAD)为骨龄与年龄的差值,其中 BAD<-1 为骨龄落后,-1 $\leq$ BAD $\leq$ +1 为骨龄正常, BAD $>$ +1 为骨龄提前。

1.3 质量控制 在对参加现场测量的研究人员进

行统一培训;测量仪器及工具定期进行校正,各样本点所有测量及采血人员均由统一培训并经过同质化检验的专业医护人员完成。每天室内质控测定结果均在 $\pm 2SD$ 水平内方检测样本。

1.4 统计学方法 数据采用 SPSS 23.0 统计软件进行分析。连续变量以 $\bar{x} \pm s$ 进行描述,分类变量以例数(%)进行描述。当连续变量服从正态分布,两组间比较采用独立样本 t 检验,三组及以上的组间比较采用单因素方差分析;当连续变量不服从正态分布,采用非参数检验;分类变量的组间比较采用 χ^2 检验。两变量间的相关性分析:若连续变量服从正态分布,采用 Person 相关性分析;若连续变量不服从正态分布,采用 Spearman 相关性分析法;分类变量采用 Kendall's Tau 相关性分析。采用多元 logistic 回归分析 BMI 对骨龄进展的影响。绘制 ROC(receiver operating characteristic) 曲线评价 BMI 对骨龄提前的预测价值,利用 ROC 曲线确定最佳的 cut-off 值。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 一般情况和不同 BMI 情况下人群特征比较 研究共纳入 1 462 名 3~12 岁儿童,男童和女童分

别占 47.74%和 52.26%,平均年龄为 (6.88 ± 2.46) 岁,平均骨龄 (6.26 ± 2.92) 岁,其中骨龄落后和骨龄提前儿童占比分别为 35.16%和 7.87%。入组儿童平均身高为 (118.71 ± 17.28) cm,而 BMI 为 (16.14 ± 2.55) kg/m²,71.14%儿童 BMI 处于正常范围,低体重、超重和肥胖儿童占比分别为 7.11%、8.41%和 13.34%。见表 1。超重和肥胖组儿童的身高、体重、骨龄、BAD、BMI 均高于正常组,差异有统计学意义($P < 0.05$),而超重和肥胖组和正常组比较年龄差异无统计学意义($P < 0.05$)。低体重组体重、BAD、BMI 均低于正常组,差异有统计学意义($P < 0.05$),而身高、年龄和骨龄水平差异均无统计学意义($P > 0.05$)。超重组 (0.03 ± 1.27) 和肥胖组的中位 BAD (0.11 ± 1.20) 显著高于正常组 (-0.78 ± 1.16) ($P < 0.05$),低体重组中位 BAD (-1.12 ± 1.04) 相比正常组 (-0.78 ± 1.16) 差异无统计学意义($P > 0.05$)。见表 1。

2.2 不同性别、年龄和 BMI 水平的骨龄状态分析 本研究所纳入的 1 462 名儿童中,56.98%为骨龄正常,骨龄提前组和骨龄落后组分别占 7.87%和 35.16%。进一步分析了不同性别、年龄和 BMI 水平的骨龄状态。见表 2。

表 1 基于 BMI 状态的受试者基线特征 ($\bar{x} \pm s$)
Tab. 1 Baseline characteristics of subjects based on BMI status ($\bar{x} \pm s$)

类别	总数($n=1462$)	低体重组($n=104$)	正常组($n=1\ 040$)	超重组($n=123$)	肥胖组($n=195$)	F 值	P 值
身高(cm)	118.71 $\pm$ 17.28	114.32 $\pm$ 16.96	117.12 $\pm$ 16.53	124.37 $\pm$ 19.82**	125.98 $\pm$ 16.83**	22.027	0.046
体重(kg)	23.69 $\pm$ 9.63	17.41 $\pm$ 5.41**	21.62 $\pm$ 7.15	29.84 $\pm$ 11.4**	34.21 $\pm$ 12.17**	168.064	0.011
年龄(岁)	6.88 $\pm$ 2.46	6.77 $\pm$ 2.71	6.8 $\pm$ 2.42	7.32 $\pm$ 2.61	7.12 $\pm$ 2.40	2.402	0.066
骨龄(岁)	6.26 $\pm$ 2.92	5.65 $\pm$ 2.90	6.02 $\pm$ 2.78	7.35 $\pm$ 3.35**	7.23 $\pm$ 3.00**	17.405	0.042
BAD	-0.62 $\pm$ 1.22	-1.12 $\pm$ 1.04	-0.78 $\pm$ 1.16	0.03 $\pm$ 1.27**	0.11 $\pm$ 1.20**	51.290	0.039

注:与正常组相比,* $P < 0.05$; ** $P < 0.001$ 。

2.2.1 不同性别的骨龄状态比较 女童 BAD 均值 (-0.34 ± 1.24) 显著高于男童 (-0.92 ± 1.14) ($P < 0.001$)。女童中骨龄正常(61.39%)、骨龄提前(11.91%)的人群比例均高于同一骨龄状态下男童比例(骨龄正常为 52.15%,骨龄提前为 3.44%),差异有统计学意义($P < 0.05$)。见表 2。

2.2.2 不同年龄段的骨龄状态比较 在正常骨龄比较下,9~12 岁组 BAD 均值高于 6~8 岁组和 3~5 岁组,差异有统计学意义($P < 0.001$),6~8 岁组与 3~5 岁组相比,两者 BAD 均值无统计学意义($P > 0.005$)。6~8 岁组中骨龄提前的人群 BAD 均值高于 9~12 岁组和 3~5 岁组,差异有统计学意义($P < 0.05$)。9~12 岁组中骨龄落后的人群比例显著低于 3~5 岁组和 6~8 岁组,差异有统计学意义

($P < 0.05$)。见表 2。

2.2.3 不同 BMI 水平的骨龄状态比较 在正常骨龄情况下,超重组和肥胖组的 BAD 均值相比正常组,差异有显著统计学意义($P < 0.001$)。超重组和肥胖组中的骨龄提前比例显著高于正常组,差异有统计学意义($\chi^2 = 99.176, P < 0.05$)。在骨龄落后的情况下,不同体重组中 BAD 均值与正常组相比,差异无统计学意义($P > 0.05$)。

2.3 不同营养状况下骨龄发育超前或落后的发生风险 在总体人群中,超重和肥胖均为骨龄提前的危险因素,OR 值分别 2.488(95%CI: 1.435~4.314, $P < 0.05$)和 2.330(95%CI: 1.463~3.710, $P < 0.001$),也均为骨龄落后的保护因素,OR 值分别 0.356(95%CI: 0.216~0.584, $P < 0.001$)和

0.298(95%CI:0.195~0.454, $P<0.001$)。见表 3。 当分别对男童和女童进行分析时,趋势与总体相似。

表 2 基于性别、年龄和 BMI 水平的骨龄差异分析
Tab. 2 Analysis of bone age differences based on gender, age and BMI levels

变量	分组	例数	骨龄正常($n=833$)		骨龄提前($n=115$)		骨龄落后($n=514$)	
			例(%)	BAD	例(%)	BAD	例(%)	BAD
性别	男	698	364(52.15)	-0.29 ± 0.51	24(3.44)	2.07 ± 0.67	310(44.41)	-1.89 ± 0.69
	女	764	469(61.39) ^a	-0.18 ± 0.53^a	91(11.91) ^a	1.97 ± 0.69	204(26.70) ^a	-1.75 ± 0.64^a
	统计量值		71.296	-2.975	71.296	0.626	71.296	-2.200
	P 值		<0.001	0.003	<0.001	0.533	<0.001	0.028
年龄(岁)	3~5	597	381(63.82)	-0.35 ± 0.46	6(1.01)	1.44 ± 0.77	210(35.18)	-1.57 ± 0.41
	6~8	499	254(50.90) ^b	-0.21 ± 0.53^b	38(7.62) ^b	2.17 ± 0.80^b	207(41.48) ^b	-1.94 ± 0.71^b
	9~12	366	198(54.10) ^b	$-0.02\pm0.56^{b,c}$	71(19.40) ^{b,c}	1.95 ± 0.58	97(26.50) ^{b,c}	-2.17 ± 0.83^b
	统计量值		119.802	27.829	119.802	3.538	119.802	34.990
	P 值		<0.001	<0.001	<0.001	0.032	<0.001	<0.001
BMI	低体重	104	53(50.96)	-0.41 ± 0.51	1(0.96) ^d	2.50	50(48.08)	-1.95 ± 0.68
	正常	1 040	566(54.42)	-0.78 ± 1.16	60(5.77)	1.85 ± 0.62	414(39.81)	-1.84 ± 0.68
	超重	123	81(65.85) ^d	0.03 ± 1.27^d	21(17.07) ^d	2.23 ± 0.80	21(17.07) ^d	-1.55 ± 0.46
	肥胖	195	133(68.21) ^d	0.01 ± 0.49^d	33(16.92) ^d	2.08 ± 0.69	29(14.87) ^d	-1.70 ± 0.57
	统计量值		99.176	15.064	99.176	2.090	99.176	2.138
	P 值		<0.001	<0.001	<0.001	0.106	<0.001	0.095

注:同一骨龄状态下:^a与男童组相比, $P<0.05$;^b与 3~5 岁组相比, $P<0.05$;^c与 6~8 岁组相比, $P<0.05$;^d与 BMI 正常组相比, $P<0.05$ 。

表 3 不同 BMI 对骨龄提前或落后的风险分析(例,%)
Tab. 3 Risk analysis of advanced or delayed bone age in relation to BMI levels(n , %)

BMI 分组	例数	骨龄落后	骨龄正常	骨龄提前	骨龄提前风险	骨龄落后风险
					OR 值(95%CI)	OR 值(95%CI)
总体	1 462	514	833	115		
低体重	104	50(48.08)	53(50.96)	1(0.96)	0.176(0.024~1.293)	1.288(0.857~1.935)
正常	1 040	414(39.81)	566(54.42)	60(5.77)	ref.	ref.
超重	123	21(17.07)	81(65.85)	21(17.07)	2.488(1.435~4.314)*	0.356(0.216~0.584)**
肥胖	195	29(14.87)	133(68.21)	33(16.92)	2.330(1.463~3.710)**	0.298(0.195~0.454)**
男性	698	310	364	24		
低体重	53	30(56.60)	23(43.40)	0(0.00)	NA	1.198(0.675~2.126)
正常	481	246(51.14)	228(47.40)	7(1.46)	ref.	ref.
超重	65	11(16.92)	47(72.31)	7(10.77)	5.372(1.767~16.335)*	0.218(0.11~0.431)**
肥胖	99	23(23.23)	66(66.67)	10(10.10)	4.861(1.761~13.416)*	0.323(0.195~0.537)**
女性	764	204	469	91		
低体重	51	20(39.22)	30(58.82)	1(1.96)	0.213(0.028~1.593)	1.347(0.742~2.445)
正常	559	168(30.05)	338(60.47)	53(9.48)	ref.	ref.
超重	58	10(17.24)	34(58.62)	14(24.14)	2.601(1.308~5.174)*	0.595(0.287~1.235)
肥胖	96	6(6.25)	67(69.79)	23(23.96)	2.193(1.258~3.823)*	0.181(0.077~0.426)**

注:NA 代表骨龄提前组低体重儿童为 0 例,无法比较。*与正常组相比, $P<0.05$; **与正常组相比, $P<0.001$ 。

2.4 BMI 与 BAD 及骨龄提前的相关性分析 BMI 与 BAD 呈正相关($r=0.361$, $P<0.001$);不同 BMI 类别(包括低体重、正常、超重、肥胖)与 BAD 分组(包括骨龄正常、提前、落后)之间也呈正相关(Kendall's Tau 相关系数 $=0.228$, $P<0.001$)。在骨龄提前组中,同样发现 BMI 与 BAD 正相关($r=0.217$, $P=0.02$),BMI 与骨龄正相关($r=0.361$, $P<0.001$)。

2.5 BMI 水平预测骨龄提前价值 BMI 水平预测骨龄提前的 ROC 曲线中,AUC 为 0.735,标准误

为 0.026,95%CI 为 0.684~0.786, $P<0.001$,结果提示 BMI 可预测骨龄提前。BMI 最优截断值为 16.699kg/m²(敏感度 0.696,特异性 0.739,约登指数 0.435)。见图 1。

3 讨论

3.1 BMI 与骨龄进展总体特征分析 本研究报道了甘肃地区儿童 BMI 与骨龄进展之间关系的横断面研究结果。总体分析人群中,超重和肥胖儿童占 21.75%(超重为 8.41%,肥胖为 13.34%),低于

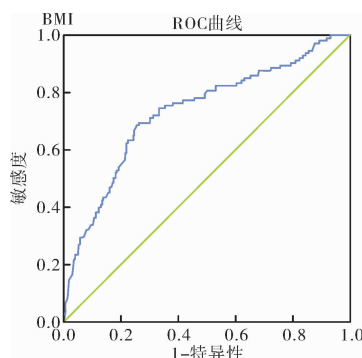


图 1 BMI 预测骨龄提前的 ROC 曲线

Fig. 1 ROC curves of BMI for predicting advanced bone age

2019 年中国 31 个省份(不包括中国香港、澳门和台湾地区)7~18 岁儿童青少年超重和肥胖检出率 23.5%(超重为 13.9%,肥胖为 9.6%)[14],可能与本地区的人口学特征和经济发展水平有关。在本研究所纳入的 1 462 名儿童中,骨龄提前和骨龄落后的比例为 7.87% 和 35.16%。从性别来看,女童 BAD 均值(-0.34 ± 1.24)显著高于男童(-0.92 ± 1.14),女童骨龄提前(11.91%)的比例也显著高于男童(3.44%),差异有统计学意义($P < 0.05$),与龙也等[15]发现的女童骨龄提前比例(24.52%)高于男童(13.35%)的趋势相似,但与 Shu 等[16]研究结果不同,女童和男童骨龄提前的比例分别为 21.2% 和 40.9%。从年龄来看,9~12 岁组 BAD 均值(-0.21 ± 1.54)和骨龄提前的比例(19.4%)均显著高于 6~8 岁组和 3~5 岁组,差异具有统计学意义($P < 0.05$),与高海涛等[17]发现随年龄增长骨龄提前平均幅度逐渐增加的趋势一致。从 BMI 来看,超重(17.07%)和肥胖(16.92%)儿童中骨龄提前的比例相比正常儿童(5.77%)更高($P < 0.05$),与 Oh 等[8]调查发现超重或肥胖儿童中 21.1% 存在骨龄提前相近,但与 Zhou 等[18-19]研究相比较低。Zhou 等[18]对 23 305 名 7.7~11.5 岁儿童分析发现 29% 超重男童、33% 肥胖男童、39% 超重女童和 37% 肥胖女童中存在骨龄提前,Klein 等[19]研究显示 3~18 岁肥胖儿童中骨龄提前的患病率为 25%。导致这些研究结果的差异,可能是各研究对骨龄提前的定义不同,本研究将骨龄提前定义为 $BAD > 1$,而 Klein[19]等将骨龄提前定义为 $BAD > 2SD$,此外也可能是各地饮食习惯、遗传背景、社会经济等因素存在差异,导致儿童和青少年骨龄发展模式不同[16]。

3.2 BMI 对骨龄进展的发生机制及早期预测作用

尽管既往研究已关注儿童和青少年骨骼发育与肥胖之间的关系,但结果并不一致。本研究作为横断面研究,采用了更大样本量,证实 BMI 与骨龄呈正

相关($r = 0.361, P < 0.001$),超重和肥胖均为骨龄提前的危险因素,OR 值分别 2.488($P < 0.05$)和 2.33($P < 0.001$),这与既往研究报道一致[9,18,20]。一方面,肥胖患者的脂肪组织分泌大量脂肪细胞因子,导致性激素(如雌激素和睾酮)水平升高。这些激素会加速骨骼的成熟和闭合,加速骨龄提前[5,21];另一方面肥胖者常伴有胰岛素抵抗,可导致体内胰岛素水平升高,促进骨骼成熟和骨骺生长板过早闭合,加速骨龄进展[5,22]。此外,肥胖引发的低水平慢性炎症状态也可能通过促进骨骼成熟相关的细胞信号通路,加速骨骼提前[23]。在这些机制的共同作用下,使得肥胖儿童骨骼发育进程加速,骨龄较同龄非肥胖儿童提前。同时,本研究拟合了 BMI 水平预测骨龄提前的 ROC 曲线($AUC = 0.735, 95\% CI: 0.684 \sim 0.786, P < 0.001$),结果提示 BMI 可预测骨龄提前。这在既往研究中未见报道,本项分析为后续深入研究 BMI 与骨龄提前的相关性提供了新的思路和方法。

3.3 研究不足之处 首先,由于采用横断面设计,可能限制了对个体 BMI 与骨龄进展之间因果关系的深入理解,无法明确二者的时间序列关系;其次,本研究仅收集了体格发育和骨龄的数据,性征数据较少,未能分析不同营养状况和体格发育水平下的儿童青少年性发育情况。

综上所述,不同营养状况下儿童的骨龄发育表现出显著差异。超重和肥胖被识别为骨龄提前的危险因素,且 BMI 与骨龄提前之间呈正相关。这一发现强调了对超重和肥胖儿童进行骨龄监测的重要性,以便及时识别和应对潜在的健康风险。

参考文献

- [1] Hadi H, Fatimatasari F, Irwanti W, et al. Exclusive breastfeeding protects young children from stunting in a low-income population: A study from eastern Indonesia[J]. *Nutrients*, 2021, 13(12):4264-4264.
- [2] Uday S, Manaseki-Holland S, Bowie J, et al. The effect of vitamin D supplementation and nutritional intake on skeletal maturity and bone health in socio-economically deprived children[J]. *Eur J Nutr*, 2021, 60(6):3343-3353.
- [3] 刘冰雪, 龙也, 姜新萍. 4~16 岁儿童体质量指数对骨龄的影响[J]. *中国临床研究*, 2023, 36(6):904-907.
Liu BX, Long Y, Jiang XP, et al. Body mass index on bone age in children aged 4-16[J]. *Chin J Clin Res*, 2023, 36(6):904-907. (in Chinese)
- [4] Leung AKC, Wong AHC, Hon KL. Childhood obesity: An updated review[J]. *Curr Pediatr Rev*, 2024, 20(1):2-26.
- [5] Ke D, Lu D, Cai G, et al. Accelerated skeletal maturation is associated with overweight and obesity as early as preschool

- age: A cross-sectional study[J]. BMC Pediatr, 2020, 20(1): 452.
- [6] Liu LJ, Kang YR, Xiao YF. Increased asprosin is associated with non-alcoholic fatty liver disease in children with obesity[J]. World J Pediatr, 2021, 17(4):394-399.
- [7] Zeljkovic A, Vekic J, Stefanovic A. Obesity and dyslipidemia in early life: Impact on cardiometabolic risk[J]. Metabolism, 2024, 156:155919.
- [8] Oh MS, Kim S, Lee J, et al. Factors associated with advanced bone age in overweight and obese children[J]. Pediatr Gastroenterol Hepatol Nutr, 2020, 23(1):89-97.
- [9] Artioli TO, Alvares MA, Carvalho Macedo VS, et al. Bone age determination in eutrophic, overweight and obese Brazilian children and adolescents: A comparison between computerized BoneXpert and Greulich-Pyle methods[J]. Pediatr Radiol, 2019, 49(9):1185-1191.
- [10] 国家卫生健康委员会. 7 岁以下儿童生长标准: WS/T 423—2022[S/OL]. (2022-09-19) [2025-04-24]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/fyjk/202211/16d8b049fd547978a910911c19bf389.shtml>.
- [11] 国家卫生健康委员会. 7 岁~18 岁儿童青少年身高发育等级评价: WS/T 612—2018[S/OL]. (2018-06-15) [2025-04-24]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/pqt/201807/a5269d062966455ea55d90a02c690311.shtml>. National Health Commission. Standard for height level classification among children and adolescents aged 7~18 years: WS/T 612—2018[S/OL]. (2018-06-15) [2025-04-24]. <http://www.nhc.gov.cn/wjw/pqt/201807/a5269d062966455ea55d90a02c690311.shtml>. (in Chinese)
- [12] 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.
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. (in Chinese)
- [13] Keylock L, Cameron N. Reproducibility of bone age assessment from DXA hand scans: Expert versus novice[J]. Ann Hum Biol, 2021, 48(4):343-345.
- [14] 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.
Dong YH, Chen L, Liu JY, et al. Epidemiology and prediction of overweight and obesity among children and adolescents aged 7-18 years in China from 1985 to 2019[J]. Chin J Prev Med, 2023, 57(4):461-469. (in Chinese)
- [15] 龙也, 刘冰雪, 周慧明, 等. 2387 例儿童青少年骨龄调查分析[J]. 中国实用医药, 2022, 17(18):169-172.
Long Y, Liu BX, Zhou HM, et al. Investigation and analysis of bone age of 2387 children and adolescents[J]. China Pract Med, 2022, 17(18):169-172. (in Chinese)
- [16] Shu W, Li M, Vermund SH, et al. Body composition trajectories during childhood predict skeletal maturation at puberty: A longitudinal study[J]. Heliyon, 2024, 10(16): e36381.
- [17] 高海涛, 李阳, 李辉. 不同营养状况下儿童青少年骨龄发育提前或落后的风险分析[J]. 中国循证儿科杂志, 2020, 15(2):114-117.
Gao HT, Li Y, Li H. Risk analysis of early or late bone age development of children and adolescents with different nutritional status[J]. Chin J Evid Based Pediatr, 2020, 15(2):114-117. (in Chinese)
- [18] Zhou B, Qu X, Li M, et al. Correlation of bone age development with overweight and obesity in 23,305 children from Beijing[J]. Endocrine, 2024, 87(1):304-313.
- [19] Klein KO, Newfield RS, Hassink SG. Bone maturation along the spectrum from normal weight to obesity: A complex interplay of sex, growth factors and weight gain[J]. J Pediatr Endocrinol Metab, 2016, 29(3):311-318.
- [20] 夏雅, 丁玲, 张宇. 超重或肥胖对儿童骨龄发育和 25(OH)D、IGF-1 的影响[J]. 中国现代医生, 2023, 61(18):48-51.
Xia Y, Ding L, Zhang Y. Effects of overweight or obesity on bone age development and 25(OH)D and IGF-1 in children[J]. China Modern Doctor, 2023, 61(18):48-51. (in Chinese)
- [21] Manzetti M, Ruffilli A, Barile F, et al. Is there a skeletal age index that can predict accurate curve progression in adolescent idiopathic scoliosis? A systematic review[J]. Pediatr Radiol, 2024, 54(2):299-315.
- [22] Chávez-Vázquez AG, Klünder-Klünder M, Lopez-Gonzalez D, et al. Association between bone age maturity and childhood adiposity[J]. Pediatr Obes, 2024, 19(12):e13166.
- [23] Pinar-Gutierrez A, García-Fontana C, García-Fontana B, et al. Obesity and bone health: A complex relationship[J]. Int J Mol Sci, 2022, 23(15):8303.

收稿日期:2024-10-21 修回日期:2025-05-07 本文编辑:王悦

欢 迎 关 注 欢 迎 投 稿