

# 闽西地区儿童超声骨密度变化及其影响因素分析

李镇辉 刘甦靡 范可津 林 贞 罗 燕

**摘要** 目的 分析 1~36 月龄生长发育正常儿童在不同发育阶段超声骨密度的变化,建立闽西地区 1~36 月龄儿童超声骨密度参考数据库。**方法** 将 7485 例生长发育正常儿童按月龄分为 1~3 月龄(1741 例)、4~6 月龄(1700 例)、7~9 月龄(943 例)、10~12 月龄(1022 例)、13~24 月龄(1526 例)、25~36 月龄(553 例)等 6 个年龄段,使用超声骨密度仪测量并比较不同月龄和性别儿童骨密度参数[超声信号声速值(SOS)、Z 值]变化,计算骨密度不足检出率,采用多重线性回归分析骨密度相关影响因素。**结果** 儿童 SOS 在 1~3 月龄逐渐下降,3 月龄后逐渐升高。女童 SOS 在 1~3 月龄高于男童,在 25~36 月龄低于男童,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ ),其他年龄段男女童 SOS 比较差异均无统计学意义。在 1~24 月龄,男童 Z 值均大于女童,骨密度不足检出率均低于女童,差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ );在 25~36 月龄,男女童 Z 值和骨密度不足检出率比较差异均无统计学意义。与现有数据库比较,1~3 月龄有高达 51.29% 的儿童骨密度不足,4~6 月龄、7~9 月龄骨密度不足检出率均高于 10%。多重线性回归表明,SOS 与年龄、身长均呈正相关,与体质量、性别均呈负相关(均  $P < 0.05$ );Z 值与身长、性别均呈正相关,与体质量呈负相关(均  $P < 0.05$ )。**结论** 儿童骨密度随年龄和身长的增长而增加,1~9 月龄是骨密度不足高发月龄,加强该年龄段儿童骨密度早期筛查有助于发现本地区骨密度不足高风险儿童,早期识别和治疗骨密度异常儿童,提高闽西地区儿童骨健康水平。

**关键词** 超声检查;骨密度;定量超声;儿童;闽西地区

[中图分类号]R445.1

[文献标识码]A

## Changes of bone mineral density in toddler in western Fujian province and its influencing factors

LI Zhenhui, LIU Sufei, FAN Kejin, LIN Zhen, LUO Yan

Department of Children Health Care, Longyan First Hospital Affiliated to Fujian Medical University, Fujian 364000, China

**ABSTRACT Objective** To analyze the changes of bone mineral density (BMD) in 1~36 months children with normal growth and development at different developmental stages, and to establish a reference database of ultrasound BMD of children aged 1~36 months in western Fujian province. **Methods** Totally 7485 toddlers aged 1~36 months with normal growth and development were divided into 6 groups, including 1~3 months ( $n=1741$ ), 4~6 months ( $n=1700$ ), 7~9 months ( $n=943$ ), 10~12 months ( $n=1022$ ), 13~24 months ( $n=1526$ ), and 25~36 months ( $n=533$ ). The BMD parameters were measured by ultrasound bone sonometers, the changes of BMD parameters [speed of sound (SOS), Z value] and the detection rate of BMD deficiency in children of different ages and genders were compared. Multiple linear regression was used to analyze the related influencing factors of BMD. **Results** The children's SOS gradually decreased from 1 to 3 months, and gradually increased after 3 months. The girls' SOS was higher than that of boys at the age of 1~3 months, and lower than that of boys at the age of 25~36 months, and the differences were statistically significant (both  $P < 0.05$ ). There were no statistically significant difference in SOS between boys and girls in other age groups. At the age of 1~24 months, the boys' Z value was higher than that of girls, and the detection rate of insufficient BMD was lower than that of girls, and the difference were statistically significant (both  $P < 0.05$ ). At the age of 25~36 months, there were no significant difference in the Z value and detection rate of insufficient BMD between boys and girls. Compared with the existing database, as high as 51.29% of children aged 1~3 months had insufficient BMD, and the detection rates of insufficient BMD in children aged 4~6 months and 7~9 months were all higher than 10%. Multiple linear regression showed that SOS was positively correlated with age and length, and negatively correlated with body mass and gender (all  $P < 0.05$ ),

Z value was positively correlated with body length and gender, and negatively correlated with body mass (all  $P < 0.05$ ).

**Conclusion** Children's BMD increases with age and body length increase, and 1~9 months is the age with the highest incidence of BMD deficiency, strengthening early screening of BMD in children of this age group is helpful to detect children with high risk of BMD deficiency in this area, to identify and treat children with abnormal BMD and improve the bone health of children in western Fujian province.

**KEY WORDS** Ultrasonography; Bone mineral density; Quantitative ultrasound; Children; Western Fujian province

儿童期是骨骼发育的关键时期,其骨量减少和骨强度降低可导致青年期峰值骨量降低<sup>[1]</sup>和老年期骨折发生率增加<sup>[2]</sup>。儿童期部分常见疾病如头颅畸形、早产儿代谢性骨病、特发性关节炎等均会出现骨量和骨强度下降,导致一系列并发症,因此在儿童期密切关注骨量和骨强度变化具有重要意义。龙岩市地处福建省西部闽粤赣边区域(以下简称闽西地区),属于经济相对落后的革命老区,经济和环境差异可能导致本地区儿童骨密度与其他城市存在差异<sup>[3]</sup>,且目前缺少中国儿童骨密度正常值范围。定量超声(quantitative ultrasound, QUS)具有操作简便、无放射性、可动态观察骨强度等优点,已广泛用于各类人群骨量和骨强度的早期筛查<sup>[4-6]</sup>。本研究回顾性分析闽西地区生长发育正常儿童在不同月龄胫骨骨密度的变化情况,建立1~36月龄生长发育正常儿童QUS胫骨骨密度超声信号声速值(speed of sound, SOS)参考数据库,旨在筛查骨密度不足的高风险儿童,为早期识别和干预本地区骨代谢异常儿童提供依据。

## 资料与方法

### 一、研究对象

选取2021年3月至2022年4月于我院儿童保健科进行QUS检查的生长发育正常儿童7485例,男4197例,女3288例,月龄1~36个月。生长发育正常定义为:根据2006年WHO发布的《儿童发育标准》<sup>[7]</sup>,即身长别体重(weight for length, WL)在-2SD和2SD之间为生长发育正常,WL<-2SD为消瘦,2SD<WL≤3SD为超重,WL>3SD为肥胖。排除标准:①消瘦、超重或肥胖;②骨代谢异常等;③有骨折史、先天性畸形、骨发育不良等疾病;④粗大运动发育异常;⑤因病住院者。本研究经我院医学伦理委员会批准,入选儿童家属均知情同意。

### 二、分组

根据儿童粗大运动发育里程碑(1~3月龄抬头,4~6月龄翻身,7~9月龄独坐和支撑爬,10~12月龄扶站、13~24月龄走、25~36月龄跑和跳)<sup>[8]</sup>的发育规律、活动

水平(睡眠时间:1~3月龄约14~17 h,4~12月龄约12~16 h,13~24月龄约11~14 h,25月龄以上约10~13 h;运动时间:12月龄内每天有效趴或爬行时间不低于0.5 h,13~24月龄每天运动时间不低于2 h,25月龄以上每天有有氧运动不低于2 h)<sup>[9]</sup>、喂养情况(6月龄前母乳或配方奶喂养,6月龄后母乳或配方奶喂养+泥状食物,9月龄后可咬碎固体食物,12月龄后逐渐独立进食,24月龄后独立进食、极少出现呛咳、选择性进食)<sup>[10]</sup>等儿童发育特点,将纳入儿童分为1~3月龄(1741例)、4~6月龄(1700例)、7~9月龄(943例)、10~12月龄(1022例)、13~24月龄(1526例)、25~36月龄(553例)共6个年龄段进行研究。

### 三、仪器与方法

1. 骨密度测量方法:使用BMD-9超声骨密度仪(北京悦琦创通科技有限公司),仪器校准规范参照2017年国家质量监督检验检疫总局发布的《超声骨密度仪校准规范》<sup>[11]</sup>,按照仪器厂家和国内外超声骨密度仪标准化操作方法<sup>[12]</sup>对儿童胫骨中段内侧面(胫骨内侧面至内踝连线中点)进行测量。首先让儿童坐在家长大腿上,家长一手固定儿童被测侧胫骨,另一手固定躯干;测量者在测量位置均匀涂耦合剂,转动超声探头测量骨骼SOS和Z值。SOS为声波脉冲沿着骨皮质在单位时间内纵向传播的距离,计算公式为:SOS=传播距离/传播时间;Z值计算公式为:(被测者SOS-同性别同年龄段亚洲儿童平均SOS)/同性别同年龄段亚洲儿童SOS标准差。Z值>-1SD提示骨密度正常;Z≤-1SD提示骨密度不足<sup>[13]</sup>。

2. 体质量、身长测量:使用康娃婴幼儿智能体检仪(WS-RTG-1D,武汉计算机软件开发有限公司),首先将体检仪校正归零,保持儿童处于仰卧位,四肢不接触其他物品,待读数稳定后记录体质量,数值精确到0.1 kg。然后将儿童头部靠紧接头板,家长固定儿童身体,测量者一手将儿童双侧膝盖伸直并靠拢,另一只手移动滑板紧贴儿童脚后跟,读取滑板内侧读数,记录身长,数值精确到0.1 cm。

### 四、统计学处理

应用 SPSS 25.0 统计软件, 正态分布的计量资料以  $\bar{x} \pm s$  表示, 采用两独立样本 *t* 检验; 偏态分布的计量资料以中位数  $M(Q_1, Q_3)$  表示, 采用 Mann-Whitney *U* 检验; 计数资料以例或率表示, 采用  $\chi^2$  检验。采用多重线性回归分析 SOS 和 Z 值分别与性别、年龄、身高、体质量等因素的相关性。  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

### 结 果

#### 一、不同年龄段不同性别儿童基本资料和骨密度参数比较

##### 1. 基本资料比较: 男童各年龄段的身长和体质量

均大于女童, 差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。男童与女童各年龄段的月龄比较差异均无统计学意义。见表 1。

2. 骨密度参数比较: 儿童骨密度 SOS 在 1~3 月龄逐渐下降, 3 月龄后逐渐升高。女童 SOS 在 1~3 月龄高于男童, 25~36 月龄低于男童, 差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ ); 其他年龄段男童 SOS 比较差异均无统计学意义。男童 Z 值在 1~3 月龄、4~6 月龄、7~9 月龄、10~12 月龄、13~24 月龄和 1~36 月龄均大于女童, 差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ ); 25~36 月龄男童 Z 值比较差异无统计学意义。见表 1 和图 1。

表 1 不同年龄段男女童基本资料和骨密度参数比较

年龄段	性别	例数	基本资料			骨密度参数	
			月龄(个月)	身高(cm)	体质量(kg)	SOS(m/s)	Z 值
1~3 月龄	男	980	3.00(3.00, 3.00)	62.40(61.00, 64.00) <sup>#</sup>	6.70(6.20, 7.20) <sup>#</sup>	3147.50(3043.00, 3240.75) <sup>#</sup>	-0.80(-1.70, 0.00) <sup>#</sup>
	女	761	3.00(3.00, 3.00)	61.00(59.50, 62.00)	6.00(5.60, 6.50)	3155.00(3084.00, 3250.00)	-1.20(-1.90, -0.35)
4~6 月龄	男	933	6.00(5.00, 6.00)	68.00(66.00, 69.35) <sup>#</sup>	8.00(7.50, 8.70) <sup>#</sup>	3245.00(3151.50, 3328.00)	-0.10(-0.90, 0.70) <sup>#</sup>
	女	767	6.00(5.00, 6.00)	66.00(64.00, 67.50)	7.40(6.80, 8.00)	3244.00(3152.00, 3322.00)	-0.50(-1.40, 0.20)
7~9 月龄	男	507	7.91±0.67	71.06±2.64 <sup>#</sup>	8.82±0.98 <sup>#</sup>	3304.93±125.27	0.35±1.09 <sup>#</sup>
	女	436	7.95±0.66	69.49±2.66	8.21±0.90	3296.85±130.93	-0.09±1.23
10~12 月龄	男	572	12.00(11.00, 12.00)	75.00(73.23, 77.00) <sup>#</sup>	9.60(8.90, 10.38) <sup>#</sup>	3334.50(3269.25, 3399.00)	0.50(-0.10, 1.00) <sup>#</sup>
	女	450	12.00(11.00, 12.00)	74.00(72.00, 75.53)	9.00(8.30, 9.70)	3344.00(3267.00, 3416.25)	0.20(-0.50, 0.90)
13~24 月龄	男	883	18.00(16.00, 22.00)	82.00(79.00, 85.00) <sup>#</sup>	10.90(10.00, 11.80) <sup>#</sup>	3385.00(3325.00, 3442.00)	0.50(0.00, 1.00) <sup>#</sup>
	女	643	18.00(16.00, 21.00)	80.50(78.00, 84.00)	10.20(9.50, 11.00)	3387.00(3326.00, 3456.00)	0.40(-0.20, 1.00)
25~36 月龄	男	322	30.00(27.00, 33.00)	91.75(88.95, 94.00) <sup>#</sup>	13.00(12.00, 14.00) <sup>#</sup>	3473.50(3402.00, 3533.25) <sup>#</sup>	0.70(0.20, 1.20)
	女	231	30.00(28.00, 32.00)	89.50(87.00, 93.00)	12.30(11.40, 13.30)	3450.00(3391.00, 3520.00)	0.50(0.00, 1.20)
1~36 月龄	男	4197	8.00(4.00, 15.00)	71.00(65.00, 79.00) <sup>#</sup>	8.80(7.40, 10.40) <sup>#</sup>	3301.00(3184.00, 3394.00)	0.20(-0.70, 0.80) <sup>#</sup>
	女	3288	8.00(4.00, 13.00)	69.00(63.00, 77.00)	8.10(6.70, 9.70)	3297.50(3185.00, 3390.00)	-0.20(-1.10, 0.60)

与同年龄段女童比较, <sup>#</sup> $P < 0.05$ 。SOS: 超声信号声速值

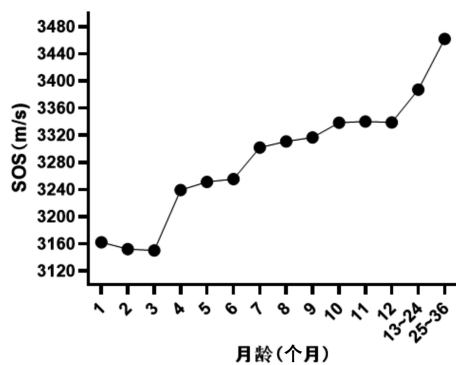


图 1 1~36 月龄儿童骨密度 SOS 变化情况

二、不同年龄段不同性别儿童骨密度不足检出情况  
男童骨密度不足检出率在 1~3 月龄、4~6 月龄、7~9 月龄、10~12 月龄、13~24 月龄和 1~36 月龄均低于女童, 差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ ); 25~36 月龄男童骨密度不足检出率比较差异无统计学意义。见表 2。

表 2 不同年龄段男女童骨密度不足检出情况

年龄段	例数	骨密度不足检出率(%)		骨密度不足总检出率(%)
		男	女	
1~3 月龄	1741	25.56 <sup>#</sup>	25.73	51.29
4~6 月龄	1700	12.41 <sup>#</sup>	16.88	29.29
7~9 月龄	943	5.62 <sup>#</sup>	10.18	15.80
10~12 月龄	1022	3.62 <sup>#</sup>	5.77	9.39
13~24 月龄	1526	2.16 <sup>#</sup>	2.82	4.98
25~36 月龄	553	2.35	1.81	4.16
1~36 月龄	7485	10.58 <sup>#</sup>	12.60	23.18

与同年龄段女童比较, <sup>#</sup> $P < 0.05$

#### 三、相关性分析

分别以 SOS、Z 值为因变量, 年龄、身高、体质量、性别为自变量, 纳入多重线性回归分析, 结果显示 SOS 与体质量、性别均呈负相关, 与年龄、身高均呈正相关(均  $P < 0.05$ ); Z 值与体质量呈负相关, 与身高、性别均呈正相关(均  $P < 0.05$ )。见表 3, 4。

表3 SOS与基本资料的多重线性回归分析结果

变量	$\beta$ 值	标准误	标准化 $\beta$ 值	$t$ 值	$P$ 值
常量	2693.54	36.25	-	74.31	<0.01
年龄	4.12	0.57	0.21	7.27	<0.01
身高	9.23	0.77	0.54	12.05	<0.01
体质量	-12.27	2.32	-0.17	-5.30	<0.01
性别	-10.52	3.16	-0.03	-3.33	<0.01

表4 Z值与基本资料的多重线性回归分析结果

变量	$\beta$ 值	标准误	标准化 $\beta$ 值	$t$ 值	$P$ 值
常量	-5.20	0.33	-	-15.91	<0.01
年龄	-0.01	0.01	-0.04	-1.27	0.20
身高	0.08	0.01	0.61	12.07	<0.01
体质量	-0.11	0.02	-0.18	-5.15	<0.01
性别	0.24	0.03	0.09	8.34	<0.01

## 讨 论

骨密度又称为“骨骼矿物质密度”,是评价骨内矿物质沉积的可测量指标之一,反映骨量和骨强度情况。双能X线法(dual energy X-ray absorptiometry, DXA)是评价骨量和骨强度的金标准<sup>[13]</sup>,但其具有放射性、价格昂贵、专业性强,不适合大规模的儿童骨健康筛查。QUS具有检测仪器便携、操作简便、无放射性、可动态观察等优点,目前已广泛用于各类人群骨量和骨强度的早期筛查。研究<sup>[4-6]</sup>已证实QUS与DXA所测骨密度的一致性较高,表明QUS是一种检测骨密度的可靠方法,可以用于儿童期骨骼发育状态的大规模早期筛查。QUS能提供定性和定量数据(如骨密度、骨弹性、骨微结构等),常以SOS反映骨弹性和骨微结构,其常用测量部位多选择胫骨、跟骨或桡骨<sup>[4-5]</sup>。本研究纳入了1~36月龄生长发育正常儿童,该阶段的儿童骺板生长活跃,骨皮质和骨松质变化迅速,相较于跟骨和桡骨,胫骨较长且表面光滑,容易操作,因此本研究选择胫骨作为QUS测量部位。

环境因素、饮食差异等均会导致骨密度变化,如沿海地区人群骨密度高于内陆地区<sup>[14]</sup>;高盐饮食<sup>[15]</sup>、高脂饮食<sup>[16]</sup>和高糖饮食<sup>[17]</sup>均会导致骨密度下降。闽西地区是经济相对落后的革命老区和客家文化的主要发祥地之一,地理环境山多地少,饮食口味偏咸,喜食鸡、鸭等禽类和腌菜等。本研究纳入的生长发育正常儿童在1~3月龄和4~6月龄的骨密度不足检出率远高于厂家提供的同年龄段同性别亚洲儿童骨密度参考值,表明儿童骨密度可能存在地域性差异,故建立适合本地区儿童骨密度数据库,能够很大程度降低因数据库差异导致的骨密度不足检出率,避免过度医疗。

本研究结果显示,儿童1~3月龄SOS逐渐下降,3~4月龄SOS增长速度较其他年龄段更快。分析1~3月龄SOS逐渐下降的原因为:①刚出生婴儿骨皮质占长骨骨量的92%,出生后骨皮质厚度生理性下降,骨皮质骨量下降30%<sup>[18]</sup>;②刚出生婴儿生长发育迅速,营养物质需求较大,睡眠时间较长<sup>[9]</sup>,大运动较弱,且缺乏阳光照射,不利于钙、磷等物质吸收。而3~4月龄SOS增长速度较其他月龄快的原因可能为:性腺轴和生长激素/胰岛素样生长因子-1是参与骨骼发育的两个内分泌轴,下丘脑-垂体-性腺轴在婴儿出生后暂时活化,且婴儿早期睡眠时间较长,有利于生长激素分泌,内分泌水平的改变有助于增加骨密度。

本研究中6月龄后SOS逐渐增加,且骨密度不足检出率显著降低,逐渐接近于厂家提供的同年龄段同性别亚洲儿童骨密度参考值。分析其原因:①儿童大运动增强<sup>[19]</sup>,出现粗大运动里程碑,大运动能力的提高和下肢负重时间的增加有助于增加骨密度。根据Wolff定律,机械刺激能提高骨强度,且研究<sup>[20]</sup>表明婴儿期行走晚是中老年骨强度低的危险因素,婴儿期行走越早与老年人髌关节形状(股骨头和股骨颈更大,股骨颈干角越小)有关,能降低老年人摔倒骨折风险<sup>[21]</sup>,因此大运动提高有助于增加骨密度。②该阶段儿童认知理解、互动和探索能力明显提高,户外活动时长明显增加,户外活动是影响儿童骨密度的重要环境因素之一,阳光照射是人体维生素D合成的主要来源,维生素D通过间接影响骨骼、生长板、肠道钙转运和血清钙磷酸盐稳态来介导骨骼代谢<sup>[22]</sup>,且户外活动能增强儿童体适能,增加下肢机械负荷,有助于增加骨密度。③该阶段儿童开始添加辅食,饮食多样化有助于提高骨密度,研究<sup>[23]</sup>表明常摄入蔬菜水果、奶制品、豆制品等食物的儿童骨密度较单一饮食儿童高。

本研究中1~24月龄女童骨密度不足检出率均高于男童,Z值均低于男童,男女童在1~36月龄SOS、25~36月龄Z值和骨密度不足检出率比较差异均无统计学意义,且多重线性回归分析显示Z值与性别呈正相关,SOS与年龄、身高均呈正相关(均 $P<0.05$ )。分析其原因:①男童大运动和游戏能力优于女童<sup>[24]</sup>,运动通过激活胰岛素样生长因子-1来增强骨骼肌质量和力量<sup>[25]</sup>,且运动时下肢肌肉反复向心和离心收缩刺激骨骼,增加成骨细胞活性,促进骨密度增加。②25月龄后儿童具备跑、原地跳高等运动能力,且纳入本研究的儿童定期进行儿童保健,儿童家长均具备正确的儿童生长发育知识<sup>[9]</sup>,男女童的养育方式相似,因此男女

童 Z 值及骨密度不足检出率在 25 月龄后比较差异无统计学意义。③男女童 SOS 在 1~36 月龄比较差异无统计学意义,这与 SOS 测量原理为声波脉冲沿着骨皮质在单位时间内纵向传播的距离有关,研究<sup>[26]</sup>表明该年龄段男女童骨皮质发育特点无明显差异,且随着年龄和身长的增加,骨的形成大于骨的吸收,儿童期骨量增长以线性增长为主,骨量稳步累积<sup>[1]</sup>,这也与本研究 SOS 与年龄、身长均呈正相关的结论相符合。

本研究的局限性:①使用 QUS 对儿童骨密度和骨骼状态进行早期筛查,未对儿童进行 DXA、外周血清钙、磷含量和维生素 D 水平等检测,可能影响部分儿童骨密度检测准确性,后期将进一步补充和完善;②未纳入瘦小、超重和肥胖儿童,WL 异常的儿童是否对骨密度产生影响仍未明确,后期将进一步纳入 WL 异常的儿童。

综上所述,儿童骨密度可能存在地域性差异,需要建立适合闽西地区儿童骨密度数据库,有助于筛查出本地区骨密度不足高风险儿童,早期识别和治疗骨密度异常儿童,提高闽西地区儿童骨健康水平。

#### 参考文献

- [1] 赵笛辰,李梅.儿童及青少年骨骼发育特点及其影响因素[J].中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志,2018,11(6):608-612.
- [2] Zhu X, Zheng H. Factors influencing peak bone mass gain [J]. *Front Med*, 2021, 15(1):53-69.
- [3] 张玲,邓健忠.深圳市坪山区 400 例婴幼儿定量超声骨密度分析[J].深圳中西医结合杂志,2020,30(4):6-8.
- [4] Njeh CF, Shaw N, Gardner-Medwin JM, et al. Use of quantitative ultrasound to assess bone status in children with juvenile idiopathic arthritis: a pilot study [J]. *J Clin Densitom*, 2000, 3(3):251-260.
- [5] Xu Y, Guo B, Gong J, et al. The correlation between calcaneus stiffness index calculated by QUS and total body BMD assessed by DXA in Chinese children and adolescents [J]. *J Bone Miner Metab*, 2014, 32(2):159-166.
- [6] Fu Y, Li C, Luo W, et al. Fragility fracture discriminative ability of radius quantitative ultrasound: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Osteoporos Int*, 2021, 32(1):23-38.
- [7] Organization WH. WHO child growth standards: length/height-for-age, weight-for-age, weight-for-length, weight-for-height and body mass index-for-age: methods and development [EB/OL]. [2022-11-30]. <https://www.who.int/publications/i/item/924154693X>.
- [8] 陶芳标,张洪波,倪进发,等.婴儿运动里程碑和神经反射发育的横断面研究[J].中国儿童保健杂志,2002,13(3):153-156.
- [9] World Health Organization. Guidelines on physical activity, sedentary behaviour and sleep for children under 5 years of age [EB/OL]. [2022-10-12]. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789241550536>.
- [10] 卫生健康委办公厅.国家卫生健康委办公厅关于印发 3 岁以下婴幼儿健康养育照护指南(试行)的通知 [EB/OL]. [2022-11-19]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-11/29/content\\_5729421.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-11/29/content_5729421.htm).
- [11] 国家质量监督检验检疫总局.超声骨密度仪校准规范 [EB/OL]. (2017-11-20) [2022-07-10]. <http://jjg.spc.org.cn/resmea/standard/JJF%25201649-2017/?>
- [12] Raimann A, Mehany SN, Feil P, et al. Decreased compressional sound velocity is an indicator for compromised bone stiffness in X-linked hypophosphatemic rickets (XLH) [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2020, 11(1):355.
- [13] Tarantino U, Iolascon G, Cianferotti L, et al. Clinical guidelines for the prevention and treatment of osteoporosis: summary statements and recommendations from the Italian Society for Orthopaedics and Traumatology [J]. *J Orthop Traumatol*, 2017, 18(S1):3-36.
- [14] 赵越.沿海与内陆地区人群正常腰椎骨密度差异的 QCT 初步分析 [D].青岛:青岛大学,2021.
- [15] 崔家睿,刘楠楠,朱天民,等.高盐饮食影响骨骼质量的中医理论基础及现代医学研究 [J].中国骨质疏松杂志,2022,28(8):1213-1218.
- [16] 徐侃,吴楠,高利红,等.高脂饮食对骨密度的影响及其与肠道菌群的关系 [J].中华内分泌代谢杂志,2022,38(8):665-673.
- [17] 凌卓彦,吴蕾,金佳,等.大鼠孕期高糖饮食对子代成年骨密度及血清骨代谢指标的影响 [J].中华内分泌代谢杂志,2019,35(9):777-778.
- [18] Rauch F, Schoenau E. Changes in bone density during childhood and adolescence: an approach based on bone's biological organization [J]. *J Bone Miner Res*, 2001, 16(4):597-604.
- [19] Torró-Ferrero G, Fernández-Rego FJ, Agüera-Arenas JJ, et al. Effect of physiotherapy on the promotion of bone mineralization in preterm infants: a randomized controlled trial [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1):11680.
- [20] Ireland A, Muthuri S, Rittweger J, et al. Later age at onset of independent walking is associated with lower bone strength at fracture-prone sites in older men [J]. *J Bone Miner Res*, 2017, 32(6):1209-1217.
- [21] Ireland A, Saunders FR, Muthuri SG, et al. Age at onset of walking in infancy is associated with hip shape in early old age [J]. *J Bone Miner Res*, 2019, 34(3):455-463.
- [22] Bouillon R, Marcocci C, Carmeliet G, et al. Skeletal and extraskeletal actions of vitamin D: current evidence and outstanding questions [J]. *Endocr Rev*, 2019, 40(4):1109-1151.
- [23] 岳莉,黄蕾,李佳樾,等.兰州地区 0~3 岁婴幼儿骨密度水平与膳食影响因素相关分析 [J].中国妇幼保健,2019,34(17):3966-3969.
- [24] 李川,武一萍,陈辉.北京市西城区社区转介的 541 例婴幼儿神经心理行为发育情况分析 [J].中国妇幼卫生杂志,2022,13(5):44-47.
- [25] Yoshida T, Delafontaine P. Mechanisms of IGF-1-mediated regulation of skeletal muscle hypertrophy and atrophy [J]. *Cells*, 2020, 9(9):1970.
- [26] 宁刚,吴康敏,伍家农,等.不同年龄组小儿骨皮质发育状况观察 [J].中国儿童保健杂志,2000,8(6):380-382.

(收稿日期:2022-11-14)