

北京市怀柔区儿童维生素D营养状况及其与体成分的关系

赵静 张倩 张环美 郭宏霞 Rickard Öste 郝利楠 Gunilla Önning
Lena Hulthén 胡小琪

【摘要】 目的 分析儿童维生素D的营养状况及其与体成分的关系。方法 选取北京市怀柔区(北纬40.3°)7~11岁学龄儿童381名,于2008年3月采集静脉血并采用酶联免疫吸附试验(ELISA,英国IDS公司)测定血清中25-羟维生素D[25(OH)D]的浓度,双能X线吸收仪(DEXA,美国Norland公司)测定前臂及全身的体成分,分析维生素D与体成分的相关性。结果 研究对象血清25(OH)D的平均浓度为(44.4±12.5)nmol/L,维生素D缺乏和不足率[血清25(OH)D≤50 nmol/L]达68.5%。男生血清25(OH)D浓度(46.3±13.3)nmol/L高于女生(42.0±11.1)nmol/L,差异有统计学意义($t=3.38, P<0.01$)。血清25(OH)D浓度与前臂近端、远端、全身及分部位中四肢的瘦体重呈正相关($r=0.13\sim 0.19, P<0.05$),与前臂近端、远端的体脂百分比呈负相关($r=-0.14, P<0.05; r=-0.11, P<0.05$),均有统计学意义。调整年龄、性别、身高、体重等混杂因素后,与前臂近端、全身分部位中双下肢的瘦体重相关性仍有统计学意义($r=0.12\sim 0.14, P<0.05$)。血清25(OH)D浓度与各部位体脂的相关性均无统计学意义。结论 维生素D缺乏在北京市郊区儿童中较为普遍,而维生素D营养状况对体成分,尤其对瘦体重有促进作用。

【关键词】 维生素D缺乏; 儿童; 体成分; 25-羟维生素D

Body vitamin D content and its relationship with body composition of children in Huairou district of Beijing ZHAO Jing¹, ZHANG Qian¹, ZHANG Huan-mei², GUO Hong-xia³, Rickard Öste⁴, HAO Li-nan¹, Gunilla Önning², Lena Hulthén⁵, HU Xiao-qi¹. 1 National Institute for Nutrition and Food Safety, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China; 2 Centre for Chemistry and Chemical Engineering, Lund University, Sweden; 3 West China School of Public Health, Sichuan University, China; 4 Department of Applied Nutrition and Food, Lund University, Sweden; 5 University of Gothenburg, The Sahlgrenska Academy, Department of Clinical Nutrition, Sweden

Corresponding author: HU Xiao-qi, Email: huxiaoqi@163.com

【Abstract】 **Objective** To analyze vitamin D concentration and its association with body composition of children in Huairou district of Beijing, to provide evidence for evaluation and improvement of nutritional status of vitamin D in children. **Methods** Totally, 381 children aged 7–11 years were recruited in Huairou district of Beijing(40.3°N). Samples of overnight fasting venous blood (drawn between 0630 and 0900) were obtained in late March. Serum 25-hydroxyvitamin D [25(OH)D] concentration was determined by ELISA kits (IDS Ltd, UK). Body composition indices of the whole body, the distal and proximal forearm were measured using dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA, Norland, USA). **Results** The average serum 25(OH)D concentration of all subjects was (44.4±12.5) nmol/L. The percentage of vitamin D insufficient [serum 25(OH)D≤50 nmol/L] reached as high as 68.5%(261 people). The 25(OH)D concentration of boys (46.3 nmol/L±13.3 nmol/L) was significantly higher than that of girls (42.0 nmol/L±11.1 nmol/L), ($t=3.38, P<0.01$). Between the serum 25(OH)D concentration and lean body mass of proximal forearm, distal forearm, whole body, and four limbs, significant positive correlations ($r=0.13\sim 0.19, P<0.05$) were observed. After age, gender, height and weight were under controlled for, correlations between the

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2010.01.009

作者单位: 100050 北京, 中国疾病预防控制中心营养与食品安全所(赵静、张倩、郝利楠、胡小琪); 瑞典隆德大学化学与化学工程系(张环美、Gunilla Önning); 四川大学华西公共卫生学院(郭宏霞); 瑞典隆德大学食品化学与应用营养系(Rickard Öste); 瑞典哥德堡大学健康科学研究院临床营养系(Lena Hulthén)

通信作者: 胡小琪, Email: huxiaoqi@163.com

serum 25(OH)D concentration and lean body mass at proximal forearm, and the two lower limbs still existed ($r=0.12-0.14, P<0.05$). The serum 25(OH)D concentration, the percentage of body fat at proximal forearm, and distal forearm were negatively correlated ($r=-0.14, P<0.05; r=-0.11, P<0.05$). However, after adjusting for confounding effects, this correlation disappeared. No significant correlation between the serum 25(OH)D concentration and body fat was observed at any position. **Conclusion** Vitamin D deficiency was common in children of suburb area of Beijing. Vitamin D status was positively associated with the lean body mass.

【Key words】 Vitamin D deficiency; Child; Body composition; 25-hydroxyvitamin D

维生素 D 主要的生理功能是维持血钙和磷的正常浓度,以及神经肌肉功能正常和骨骼的健全^[1];同时在预防糖尿病、高血压、多发性硬化病和癌症等方面也起到一定的作用^[2,3]。因此,近年关于人群的维生素 D 营养状况逐渐受到人们关注。对于儿童青少年,维生素 D 是其生长发育的重要微量元素,研究表明儿童维生素 D 缺乏的现象在各国广泛存在^[4-6],但目前我国关于儿童维生素 D 营养状况研究较少。

体成分是形态、机能变化的物质基础,反映了人体的健康水平和营养状况。目前,常用的人体成分测量方法有:皮脂厚度、生物电阻抗法(BIA)、水下称重法、同位素稀释法、双能 X 线吸收法(DEXA)等。其中,双能 X 线吸收法可测定全身的脂肪、去骨量瘦体重和骨矿含量^[1],也可测定上述成分的局部含量,操作简便,且精确度和准确度较高。

儿童处于生长发育期,体成分的变化可以反映其生长发育状况。国外研究表明成年人的维生素 D 水平与体成分有密切关系:一方面,由于过多的脂肪使大量的维生素 D 贮存其中而不能释放,使得血中维生素 D 水平与体脂百分比(percentage of body fat, PBF)呈负相关^[7,8];另一方面,维生素 D 可以增加肌肉力量、改善肌肉功能^[9]。目前,国内外关于儿童青少年时期维生素 D 营养状况与体成分关系的报道很少。因此,本文对北京市怀柔区儿童维生素 D 的营养状况进行分析,并探讨其与体成分的关系。

对象与方法

1. 对象:采用两阶段随机整群抽样的方法。2008 年 3 月选取北京市怀柔区(北纬 40.3°)2 个乡镇,每个乡镇各选取 1 所小学,以二至四年级的儿童(7~11 岁)作为研究对象,所有研究对象均经过详细询问病史和体格检查,排除既往有心脏、肝脏、肾脏等重要器官以及内分泌系统疾病者,排除身体发育异常或畸形者。本研究经中国疾病预防控制中心营养与食品安全所伦理评审委员会同意,并由家长签署知情同意书。

2. 测量方法:

(1)体格测量:①身高:采用国产金属立式身高坐高计进行测定。使用前将身高计放置平稳。要求调查对象穿单衣裤、脱去鞋帽,赤足立于底台,立正站立,足跟并拢,足尖分开 60 度,足跟、骶骨部及肩胛区与立柱接触,双眼平时前方。由经过培训的调查员立于右侧测量读数,记录时以厘米(cm)为单位,精确到小数后一位。每天测量前对仪器进行校准。②体重:采用数字电子体重计(Secca 882,德国)测定。测量时调查对象均空腹只穿贴身衣裤,脱鞋,立于体重计中央,不接触其他物体,平稳后由经过培训的调查员测量读数,记录时以公斤(kg)为单位,精确到小数后一位。每天测量前对仪器进行校准。 $BMI(kg/m^2)=\text{体重}(kg)/\text{身高}^2(m^2)$ 。

(2)生生化分析:取晨起空腹静脉血离心(3000 r/min, 10 min)后留血清。采用酶联免疫吸附法(ELISA,英国 IDS 公司)测定血清中 25-羟维生素 D[25(OH)D]浓度。测量范围为 7~400 nmol/L,采用双份样本重复测量,内标准进行质量控制,批间的变异系数(CV)为 8%,批内的 CV 为 7%。按血清 25(OH)D 的水平将研究对象分为维生素 D 缺乏组[血清 25(OH)D \leq 25 nmol/L]、维生素 D 不足组[25 nmol/L<血清 25(OH)D \leq 50 nmol/L]、维生素 D 正常组[50 nmol/L<血清 25(OH)D \leq 75 nmol/L]和维生素 D 营养状况良好组[血清 25(OH)D>75 nmol/L]^[9-11]。

(3)体成分:采用美国 Norland XR-46 型双能 X 线吸收仪(DEXA)测定研究对象前臂和全身的体成分,包括脂肪组织、瘦体重及骨矿物含量(本文瘦体重均指去骨量瘦体重),并通过测得的体重和脂肪含量计算出体脂百分比。测量时要求研究对象只穿贴身衣裤,取下任何含金属的物品。整个测定过程由 2 名专职技师负责操作,每次测定前进行仪器性能检测,连续测量 5 d 的变异系数都在 0.56%~0.65%之间。全身扫描部位包括头、胸部、中腹、骨盆、左上肢、右上肢、左下肢和右下肢等。左前臂扫描测出前臂远端 1/3 处(前臂近端)、前臂远端 1/10 处

(前臂远端)的体成分,在本文“结果”与“讨论”中,部分无统计学意义的结果未列出。体重(kg)=体脂(kg)+瘦体重(kg)+骨矿物含量(kg);体脂百分比(%)=体脂(kg)/体重(kg)×100%。

3. 统计学分析:采用EpiData 3.02和Excel数据库进行数据录入,SAS 8.2软件进行数据分析。采用均数、标准差、构成比和率描述研究对象的一般情况;不同维生素D水平间体格指标、体成分比较及男女生间维生素D营养状况比较采用t检验和χ²检验;不同年龄组间维生素D营养状况比较采用单因素方差分析,维生素D营养状况与体格指标、体成分的相关性用pearson相关及偏相关进行分析;在分析不同维生素D水平下,儿童体格发育指标及不同部位体成分状况各指标时,采用多重回归分析,调整年龄、性别、身高、体重等混杂因素。P<0.05表示差异有统计学意义。

结 果

1. 一般状况:共调查381名学生(男生213名,女生168名),平均年龄(8.9±0.9)岁。男生体重和BMI均高于女生,差异有统计学意义(t=2.27, P<0.05; t=2.40, P<0.05)。男女生间年龄、身高比较差异无统计学意义(P>0.05),见表1。

表1 北京市怀柔区381名7~11岁儿童一般状况(̄x±s)

项目	男生(n=213)	女生(n=168)	合计(n=381)
年龄(岁)	8.9±0.9	9.0±0.9	8.9±0.9
身高(cm)	132.2±6.4	131.2±7.2	131.7±6.7
体重(kg) ^a	28.3±5.7	27.0±5.3	27.6±5.6
BMI(kg/m ²) ^a	16.0±2.5	15.6±1.9	15.8±2.1

注:男女生间各参数的比较采用t检验,^aP<0.05

2. 维生素D营养状况:研究对象血清25(OH)D的平均浓度为(44.4±12.5)nmol/L。男生的血清25(OH)D浓度为(46.3±13.3)nmol/L,女生为(42.0±11.1)nmol/L,总体上男生高于女生,差异有统计学意义(t=3.38, P<0.01)。不同年龄组间的血清25(OH)

表2 不同性别、年龄段儿童的血清25(OH)D浓度

年龄(岁)	男生		女生		合计		P值 ^a
	人数	浓度(nmol/L)	人数	浓度(nmol/L)	人数	浓度(nmol/L)	
7~	49	46.5±14.8	32	40.4±10.3	81	44.1±13.6	0.033
8~	57	44.4±11.9	56	41.5±11.2	113	43.0±11.6	0.188
9~	80	47.5±13.0	56	43.4±11.7	136	45.8±12.6	0.060
10~11	27	46.2±14.2	24	42.2±10.9	51	44.3±12.8	0.264
合计	213	46.3±13.3	168	42.0±11.1	381	44.4±12.5	0.001
P值 ^b		0.612		0.768		0.516	

注:^a同一年龄、不同性别组间采用t检验;^b同一性别、不同年龄组间采用方差分析

D浓度差异无统计学意义(P>0.05),见表2。

研究对象中维生素D缺乏率为4.7%(18人),维生素D不足率高达63.8%(243人),而维生素D营养状况良好率仅占1.8%(7人)。男女生间维生素D营养状况分布的差异有统计学意义,女生维生素D缺乏和不足率高于男生(表3)。由于维生素D缺乏和良好的人数较少,故在以下的分析中分别将维生素D缺乏组与不足组、维生素D正常组与良好组合并,分为维生素D缺乏和不足组、维生素D正常和良好组。

表3 北京市怀柔区381名7~11岁儿童维生素D营养状况分布

分组	男生	女生	合计
缺失组	3(3.3)	11(6.5)	18(4.7)
不足组	128(60.1)	115(68.5)	243(63.8)
正常组	71(33.3)	42(25.0)	113(29.7)
良好组	7(3.3)	0(0)	7(1.8)
合计	213(100.0)	168(100.0)	381(100.0)

注:括号外数据为人数,括号内数据为构成比(%);不同性别间分布采用χ²检验,P=0.013

3. 维生素D营养状况与体格发育指标的关系:血清25(OH)D的浓度与身高(r=0.12, P=0.024)、体重(r=0.10, P=0.049)呈正相关,具有统计学意义。而与BMI的相关性无统计学意义(P>0.05)。调整年龄前,无论男生还是女生,维生素D正常和良好组的体格发育指标均有好于维生素D缺乏和不足组的趋势,但两组间差异无统计学意义。调整年龄后,维生素D正常和良好的男生身高、体重高于维生素D缺乏和不足者,两组间比较差异有统计学意义;维生素D正常和良好组女生的体格发育指标有好于维生素D缺乏和不足组的趋势,但两组间差异无统计学意义(表4)。

4. 维生素D营养状况与体成分的相关性:

(1)与瘦体重的关系:未调整混杂因素时,血清25(OH)D浓度与前臂近端、远端、全身以及全身分部位中四肢的瘦体重呈正相关,具有统计学意义(r=0.13~0.19, P<0.05)。调整年龄、性别、身高、体重等混杂因素后,与前臂近端、分部位中双下肢瘦体重的相关性仍有统计学意义(r=0.12~0.14, P<0.05),而与其他部位瘦体重的相关性消失(表5)。

维生素D正常和良好组的前臂近端、远端、全身以及分部位中左上肢和双下肢的瘦体重含量高于维生素D缺乏和不足组,差异有统计学意义(t=2.00~2.85, P<0.05),维生素D正常和良好组各部位的瘦体重比维生素D缺乏和不足组分别高出3.4%~6.9%。调整年龄、性别、身高、体重等混杂因素后,虽然维生素D正常和良好组各部位的瘦体重有高于维

表 4 北京市怀柔区不同维生素 D 水平组儿童身高、体重、BMI 状况($\bar{x} \pm s$)

调整年龄	男生			女生		
	缺乏和不足组(n=135)	正常和良好组(n=78)	P 值	缺乏和不足组(n=126)	正常和良好组(n=42)	P 值
前						
身高(cm)	131.6±6.1	133.2±6.8	0.075	130.9±7.2	131.9±7.0	0.410
体重(kg)	27.7±4.8	29.3±7.0	0.074	26.8±5.3	27.5±5.4	0.466
BMI(kg/m ²)	15.9±1.9	16.3±2.7	0.206	15.5±1.9	15.7±2.0	0.689
后						
身高(cm)	131.6±6.8	133.2±9.0	0.037	130.9±6.8	132.0±11.8	0.275
体重(kg)	27.7±6.8	29.3±8.9	0.038	26.8±5.6	27.5±9.7	0.384
BMI(kg/m ²)	15.9±2.8	16.3±3.7	0.165	15.5±2.2	15.7±3.8	0.666

表 5 北京市怀柔区儿童血清 25(OH)D 浓度与各部位瘦体重的相关性^a

部位	瘦体重(未调整)		瘦体重(调整后) ^b	
	r	P 值	r	P 值
前臂近端	0.19	<0.001	0.12	0.018
前臂远端	0.13	0.010	0.05	0.346
全身	0.16	0.002	0.06	0.256
左上肢	0.15	0.004	0.08	0.123
右上肢	0.15	0.005	0.06	0.223
左下肢	0.17	0.001	0.14	0.008
右下肢	0.17	0.001	0.12	0.023

注:^a头、胸、中腹部、骨盆等处的瘦体重与血清 25(OH)D 浓度无相关性,故结果未列出;^b调整年龄、性别、身高、体重等混杂因素

生素 D 缺乏和不足组的趋势,但两组间的差异无统计学意义(表 6)。

(2)与体脂的关系:调整混杂因素前后,血清 25(OH)D 浓度与各部位体脂的相关性均无统计学意义(结果未列出)。维生素 D 正常和良好组的左上肢体脂(0.496 kg±0.307 kg)高于维生素 D 缺乏和不足组(0.432 kg±0.224 kg),两组间的差异具有统计学意义($t=2.04, P=0.043$)。调整年龄、性别、身高、体重后,维生素 D 正常和良好组与维生素 D 缺乏和不足组的左上肢体脂分别为(0.473±0.226)kg 和(0.443±0.152)kg,两组间差异仍有统计学意义($F=4.43, P=0.036$)。

(3)与体脂百分比的关系:虽然未调整混杂因素时,血清 25(OH)D 浓度与前臂近端和远端的体脂百分比呈负相关,有统计学意义($r=-0.14, P<0.05$; $r=-0.11, P<0.05$)。但调整年龄、性别、身高、体重后,其相关性消失(结果未列出)。调整混杂因素前后,维生素 D 正常和良好组与维生素 D 缺乏和不足

组间比较各部位体脂百分比的差异均无统计学意义(结果未列出)。

讨 论

血清 25(OH)D 浓度是反映维生素 D 营养状况的良好指标^[12],能较好地反映来自膳食吸收和皮肤合成的维生素 D 状况^[13]。但关于维生素 D 营养状况的划分尚未有统一标准, Foo 等^[9]认为血清 25(OH)D ≤ 25 nmol/L 为维生素 D 缺乏,血清 25(OH)D 浓度在 25 nmol/L 与 50 nmol/L 之间为维生素 D 不足;而近来许多专家认为血清 25(OH)D ≥ 75 nmol/L 是维生素 D 较为理想的水平,能够保持骨骼健康成长以及预防结肠癌等一些疾病^[10,11]。因此,本研究以 25、50、75 nmol/L 为界点将研究对象分为维生素 D 缺乏组、不足组、正常组和良好组。

本研究中,研究对象血清 25(OH)D 的平均浓度为(44.4±12.5)nmol/L,维生素 D 缺乏和不足者达 68.5%。表明该人群的维生素 D 营养状况较差。国内外也有类似关于儿童青少年维生素 D 营养状况的报道。Du 等^[14]关于北京地区青春期女生维生素 D 状况的调查结果为:在冬季维生素 D 亚临床缺乏者[血清 25(OH)D ≤ 12.5 nmol/L]占 45.2%。Gordon 等^[2]对美国波士顿地区 307 名 11~18 岁青少年进行维生素 D 营养状况的调查,发现其中有 42% 的青少年维生素 D 不足[血清 25(OH)D ≤ 50 nmol/L]。在亚洲以及世界其他地区儿童的维生素 D 营养状况也不容乐观^[6,15],可见儿童及青少年维生素 D 缺乏是全球性问题,在许多国家广泛存在^[4]。

表 6 北京市怀柔区不同维生素 D 水平组儿童全身瘦体重状况($\bar{x} \pm s, kg$)^a

部位	瘦体重(未调整)			瘦体重(调整后) ^a		
	缺乏和不足组	正常和良好组	P 值	缺乏和不足组	正常和良好组	P 值 ^a
前臂近端	0.012±0.002	0.012±0.002	0.008	0.012±0.001	0.012±0.002	0.490
前臂远端	0.010±0.001	0.010±0.002	0.046	0.010±0.001	0.010±0.002	0.856
全身	19.563±3.244	20.472±3.448	0.014	19.838±1.866	19.872±2.775	0.847
左上肢	0.895±0.219	0.957±0.252	0.014	0.911±0.167	0.922±0.248	0.465
右上肢	0.871±0.231	0.910±0.254	0.149	0.888±0.196	0.873±0.292	0.428
左下肢	3.538±0.673	3.750±0.740	0.006	3.595±0.339	3.627±0.505	0.304
右下肢	3.479±0.657	3.695±0.743	0.005	3.534±0.343	3.575±0.510	0.196

注:^a同表 5

维生素D可通过两种途径获得,其中主要是经过皮肤合成,纬度、季节等影响光照的因素都将影响维生素D的合成^[16]。北京地区纬度较高,且本研究采血时间为3月底,都会使血清25(OH)D浓度较低。其次,维生素D也可以从食物中摄取,但多数天然食物中维生素D含量较低,且中国人群很少食用鱼肝油、奶油和奶酪等含量相对较高的食物^[12],很难达到中国营养学会推荐的维生素D摄入量[儿童为10 μg/d (400 IU)]^[17]。此外,儿童青少年时期是骨骼快速生长期,这一时期对维生素D的需求量增加^[18],使得这一时期维生素D缺乏的问题更为突出。

本研究发现血清25(OH)D浓度与身高、体重呈正相关,且与瘦体重呈正相关。本研究结果中的血清25(OH)D浓度与瘦体重的关系与Fuleihan等及Foo等的研究结果一致。Fuleihan等在黎巴嫩(北纬33.5°)对179名10~17岁女生进行为期1年的随机对照试验补充维生素D(低剂量组:200 IU/d,高剂量组:2000 IU/d),结果显示与对照组相比两个实验组的瘦体重均显著增加^[19]。同时有研究表明维生素D的营养状况与年龄也相关^[6,20],因此在分析维生素D与体成分的相关性时,又对年龄、性别、身高、体重等混杂因素进行调整。调整混杂因素后,维生素D与前臂近端、双下肢瘦体重的相关性仍有统计学意义。未发现维生素D营养状况与体脂、体脂百分比有明确的相关性。Foo等对我国青春期中女生的研究也有类似发现,维生素D营养状况与瘦体重呈正相关,而与体脂无相关性,因此认为儿童的瘦体重可能比体脂更能反映维生素D的状况^[21]。

可见维生素D能促进儿童的体格发育,使瘦体重的含量增加。其机制在于一方面,可能主要是由于维生素D的活性形式1,25(OH)₂D能够影响肌肉组织的mRNA的转录及随后的蛋白质合成过程^[22],从而促进肌肉细胞生长,增加肌肉组织和肌肉功能;另一方面,在动物实验中,在新生小鼠的肌肉组织中观察到有25(OH)D贮存,表明肌肉组织对维生素D的平衡起到特殊作用^[23]。

总之,本研究显示北京郊区儿童的维生素D营养状况较差,且其维生素D营养状况与瘦体重呈正相关。因此建议增加维生素D的膳食摄入量,并进行合理光照。

参 考 文 献

[1] Ge KY. An Overview of Nutrition Science. People's Health Publishing House, Beijing, 2004;185, 738-745. (in Chinese)
葛可佑. 中国营养科学全书. 北京: 人民卫生出版社, 2004; 185, 738-745.

[2] Gordon CM, DePeter KC, Feldman HA, et al. Prevalence of vitamin D deficiency among healthy adolescents. Arch Pediatr Adolesc Med, 2004, 158: 531-537.
[3] Grant WB, Holick MF. Benefits and requirements of vitamin D for optimal health: a review. Altern Med Rev, 2005, 10(2): 94-111.
[4] Weaver CM. Vitamin D, calcium homeostasis, and skeleton accretion in children. J Bone Miner Res, 2007, 22 Suppl 2: V45-49.
[5] Cheng S, Tylavsky F, Kroger H, et al. Association of low 25-hydroxyvitamin D concentrations with elevated parathyroid hormone concentrations and low cortical bone density in early pubertal and prepubertal Finnish girls. Am J Clin Nutr, 2003, 78: 485-492.
[6] Marwaha RK, Tandon N, Reddy DR, et al. Vitamin D and bone mineral density status of healthy schoolchildren in northern India. Am J Clin Nutr, 2005, 82: 477-482.
[7] Arunabh S, Pollack S, Yeh J, et al. Body fat content and 25-hydroxyvitamin D levels in healthy women. J Clin Endocrinol Metab, 2003, 88(1): 157-161.
[8] Wortsman J, Matsuoka LY, Chen TC, et al. Decreased bioavailability of vitamin D in obesity. Am J Clin Nutr, 2000, 72: 690-693.
[9] Foo LH, Zhang Q, Zhu K, et al. Low vitamin D status has an adverse influence on bone mass, bone turnover, and muscle strength in Chinese adolescent girls. J Nutr, 2009. Epub ahead of print.
[10] Dawson-Hughes B, Heaney RP, Holick MF, et al. Estimates of optimal vitamin D status. Osteoporos Int, 2005, 16(7): 713-716.
[11] Vieth R, Bischoff-Ferrari H, Boucher BJ, et al. The urgent need to recommend an intake of vitamin D that is effective. Am J Clin Nutr, 2007, 85: 649-650.
[12] Holick MF, Chen TC. Vitamin D deficiency: a worldwide problem with health consequences. Am J Clin Nutr, 2008, 87 Suppl: S1080-1086.
[13] Weaver CM, Fleet JC. Vitamin D requirements: current and future. Am J Clin Nutr, 2004, 80 Suppl: S1735-1739.
[14] Du XQ, Greenfield H, Fraser DR, et al. Vitamin D deficiency and associated factors in adolescent girls in Beijing. Am J Clin Nutr, 2001, 74: 494-500.
[15] Fraser DR. Vitamin D-deficiency in Asia. J Steroid B, 2004, 89-90: 491-495.
[16] Stein EM, Laing EM, Hall DB, et al. Serum 25-hydroxyvitamin D concentrations in girls aged 4-8 y living in the southeastern United States. Am J Clin Nutr, 2006, 83: 75-81.
[17] Chinese Nutrition Society. Chinese DRIs. China Light Industry Press, Beijing, 2000: 285. (in Chinese)
中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量. 北京: 中国轻工业出版社, 2000: 285.
[18] World Health Organization. Vitamin and mineral requirements in human nutrition. Geneva, 2004: 48.
[19] Fuleihan GE-H, Nabulsi M, Tamim H, et al. Effect of vitamin D replacement on musculoskeletal parameters in school children: a randomized controlled trial. J Clin Endocrinol Metab, 2006, 91: 405-412.
[20] Willis CM, Laing EM, Hall DB, et al. A prospective analysis of plasma 25-hydroxyvitamin D concentrations in white and black prepubertal females in the southeastern United States. Am J Clin Nutr, 2007, 85: 124-130.
[21] Foo LH, Zhang Q, Zhu K, et al. Relationship between vitamin D status, body composition and physical exercise of adolescent girls in Beijing. Osteoporos Int, 2009, 20: 417-425.
[22] Pfeifer M, Begerow B, Minne HW. Vitamin D and muscle function. Osteoporos Int, 2002, 13(3): 187-194.
[23] Clements MR, Fraser DR. Vitamin D supply to the rat fetus and neonate. J Clin Invest, 1988, 81: 1768-1773.

(收稿日期: 2009-05-13)
(本文编辑: 张林东)