

综合干预对肥胖青少年糖脂代谢肝肾和心血管功能的影响

姚梦, 白爽, 李旭龙, 张艺帆, 唐东辉

北京师范大学体育与运动学院, 北京 100875

【摘要】 目的 探讨运动结合饮食控制对肥胖青少年基本形态功能、糖脂代谢、肝肾功能和心血管功能的影响, 为学校和家庭青少年肥胖的防治提供依据。**方法** 以 71 名肥胖青少年为研究对象, 对其进行 6 周运动结合饮食控制的综合干预, 测定干预前后的形态功能、糖脂代谢水平、肝肾功能和心血管功能水平。**结果** 综合干预后, 在基本形态功能显著改善的基础上, 肥胖青少年的胰岛素水平 (FINS) [(18.76±11.46) (11.32±6.54) uU/L]、低密度脂蛋白胆固醇 (LDL-C) [(2.96±0.69) (2.22±0.62) mmol/L]、三酰甘油 (TG) [(1.57±0.82) (0.89±0.37) mmol/L] 和总胆固醇 (TC) [(4.52±0.76) (3.53±0.62) mmol/L] 下降, 胰岛素抵抗指数 (3.92±2.54, 2.40±1.63) 改善 (P 值均 <0.01); 谷草转氨酶 (AST) [(36.10±32.28) (22.89±7.27) U/L]、谷丙转氨酶 (ALT) [(57.42±61.25) (27.86±22.12) U/L]、血清尿素 (BUN) [(4.78±0.89) (3.44±0.79) mmol/L] 和血清尿酸 (UA) [(498.83±120.60) (471.07±120.96) mmol/L] 降低 (P 值均 <0.05); 反应性充血指数 (RHI) (1.34±0.28, 1.69±0.45) 和 NO/ET-1 (1.69±0.41, 2.67±0.86) 升高, 动脉粥样硬化指数 (AI) (3.06±0.96, 2.58±0.80) 降低 (P 值均 <0.01)。**结论** 6 周运动结合饮食控制的综合干预方案能够在降低肥胖青少年肥胖程度基础上, 有效改善其糖脂代谢状态、肝肾功能和心血管功能。

【关键词】 肥胖症; 代谢; 心血管系统; 干预性研究; 青少年

【中图分类号】 R 179 R 723.14 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2019)04-0582-04

Effects of comprehensive intervention on glucose and lipid metabolism, liver and kidney function and cardiovascular function in obese adolescents/YAO Meng, BAI Shuang, LI Xulong, ZHANG Yifan, TANG Donghui. School of P.E. and Sports Science, Beijing Normal University, Beijing (100875), China

【Abstract】 Objective To investigate the effects of exercise combined with dietary intervention on glucose and lipid metabolism, liver and kidney function and cardiovascular function in obese adolescents. **Methods** Seventy-one obese adolescents were enrolled in this study. Six weeks of exercise combined with dietary intervention were performed to determine anthropometry, glucose and lipid metabolism, liver and kidney function and cardiovascular function before and after intervention. **Results** After 6 weeks of comprehensive intervention, in addition to significant improvement in anthropometry indicators, fasting insulin [(18.76±11.46 vs 11.32±6.54) uU/L], LDL-C [(2.96±0.69 vs 2.22±0.62) mmol/L], TG [(1.57±0.82 vs 0.89±0.37) mmol/L] and TC [(4.52±0.76 vs 3.53±0.62) mmol/L] decreased significantly and insulin resistance improved significantly. AST [(36.1±32.28 vs 22.89±7.27) U/L], ALT [(57.42±61.25 vs 27.86±22.12) U/L], blood urea nitrogen [(4.78±0.89 vs 3.44±0.79) mmol/L] and uric acid [(498.83±120.6 vs 471.07±120.96) mmol/L] were significantly decreased and the detection rates of fatty liver and kidney were significantly decreased ($P<0.05$), RHI (1.34±0.28 vs 1.69±0.45) and nitric oxide/ endothelin-1 (ET-1) (1.69±0.41 vs 2.67±0.86) significantly increased and atherogenic index (3.06±0.96 vs 2.58±0.80) significantly decreased ($P<0.01$). **Conclusion** The comprehensive intervention of exercise combined with diet can effectively improve anthropometry indicators, glycolipid metabolism, liver and kidney function as well as cardiovascular function of obese adolescents.

【Key words】 Obesity; Metabolism; Cardiovascular system; Intervention studies; Adolescent

肥胖是身体脂肪过量积聚产生的疾病, 也是引发多种代谢性疾病的独立危险因素^[1], 已成为全球性公共健康问题。有研究发现, 肥胖相关疾病的病理改变从儿童青少年时期已经开始显现, 能够通过非药物方式改善甚至产生逆转, 运动和饮食干预被证实是改善

青少年肥胖的有效方式^[2-3]。

糖脂代谢在人体正常生活中起重要作用, 但肥胖会导致身体一定程度的糖脂代谢异常, 往往是代谢性疾病发生发展的重要原因^[4]。肝脏是三大营养物质代谢的重要器官, 肾脏是人体内清除代谢产物的重要器官。有研究显示, 肥胖青少年已经开始显现不同程度的肝肾功能异常^[5]。肥胖青少年还存在不同程度的血管内皮功能障碍, 其内皮细胞依赖性血管舒张功能较正常青少年下降^[6-9], 在动脉粥样硬化的早期发展中起关键作用^[10]。

本研究通过对 71 名肥胖青少年有针对性的运动

【基金项目】 国家自然科学基金 (81472992, 71874017)。

【作者简介】 姚梦 (1993-), 女, 河北保定人, 在读硕士, 主要研究方向为体质与健康、青少年体重控制。

【通讯作者】 唐东辉, E-mail: tdh1964@bnu.edu.cn。

DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2019.04.028

结合饮食控制的综合干预,分析干预方案对肥胖青少年糖脂代谢、肝肾功能和心血管功能的影响,为学校和家庭青少年肥胖的防治提供依据。

1 对象与方法

1.1 对象 选取 2018 年暑期减肥夏令营中满足纳入标准的 71 名肥胖青少年作为研究对象。纳入标准:(1)符合“中国学龄儿童青少年超重、肥胖筛查体重指数(BMI)分类标准”的肥胖标准^[11],且为单纯性肥胖;(2)6 个月内没有服用生长激素、雌激素类药物;(3)无运动习惯。此外,从减肥营地所在地的 1 所中学选取 10 名健康青少年作为对照组,满足 3 个条件:(1)年龄、身高与肥胖青少年相近;(2)身体健康且体重正常($18.5 \text{ kg/m}^2 < \text{BMI} < 25 \text{ kg/m}^2$);(3)无运动习惯。本研究经北京师范大学体育与运动学院伦理委员会批准,且经研究对象的监护人知情同意。

1.2 综合干预方案 71 名肥胖青少年接受为期 6 周的运动结合饮食控制的综合干预方案,10 名健康青少年不接受任何干预。在综合干预前调查肥胖青少年的饮食、运动情况及疾病史,根据其身体健康情况、肥胖程度和运动能力制定运动和营养处方。综合干预过程配备 4 名运动教练和 6 名生活辅导员,负责干预期间肥胖青少年的运动方案执行和生活起居,并充分调动其积极性。

1.2.1 运动干预方案 运动干预方案以有氧和抗阻训练为主。运动内容的选取考虑学生承受能力、兴趣等因素,且尽量选择强度和时间易于控制的运动方式。运动内容主要包括慢跑、爬山、游泳、篮球、踏板操、动感单车、器械力量练习、躯干肌群的屈伸练习、瑜伽、羽毛球等。

具体实施情况:每周进行 6 d 运动干预,周日休息调整或组织其他文娱活动。每天运动 2~3 次,每次 1.5~2.0 h。提前 1 天根据学生身体情况、天气等因素最终确定 2~3 个运动干预内容。根据循序渐进的原则,运动强度逐渐增加,运动时间也逐渐延长。运动强度控制在最大心率的 60%~70%(最大心率=220-年龄),在运动过程中采用心率表结合自测脉搏监控心率^[3]。每次的运动包括准备、运动和整理放松 3 个阶段,每次运动干预后进行身体肌肉放松。

1.2.2 饮食控制方案 由营养师统一配餐,配备每周食谱,并严格计算摄食的热量。根据肥胖青少年性别、年龄、身高、体重计算基础代谢,以满足其生长发育的基本生理需要为标准安排食谱。个体一日总能量摄入根据“个体体重×极轻体力劳动单位体重热能供应量($20 \sim 25 \text{ kcal/kg}$)”计算;早、中及晚餐提供的能量比例约为 30%,40%,30%,其中糖、脂肪及蛋白质的供能量约占总能量的 60%,25%及 15%^[3]。方案实施期间,严格统一作息制度并严禁受试者额外的能量

摄入。

1.3 测试指标及方法

1.3.1 基本形态功能 在综合干预前后测定肥胖青少年的身高、体重、腰围、臀围等形态学指标,计算 BMI、腰臀比和腰高比。同时,在干预前后测量肥胖青少年的肺活量、收缩压和舒张压。为保证测量准确并减少误差,由 1 名测试人员严格按照正确的方法测量所有指标。

1.3.2 糖脂代谢和肾功能指标 受试者保持 8 h 空腹状态,由专业医护人员于次日清晨采集其肘静脉血。采用全自动生化检测仪检测糖脂代谢、肾功能等血液指标。酶比色法测定脂代谢指标,包括三酰甘油(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C);氧化酶法测定血糖(FPG);酶联免疫吸附法测定血管舒张因子(NO)、血管收缩因子(ET-1)和胰岛素水平(FINS);计算胰岛素抵抗指数($\text{HOMA-IR} = \text{FBG} \times \text{FINS} / 22.5$)。

根据我国 2 岁以上儿童青少年血脂异常诊断标准^[12],血脂异常的临界值为 $1.30 \leq \text{TG} \leq 1.69 \text{ mmol/L}$, $4.4 \leq \text{TC} \leq 5.15 \text{ mmol/L}$, $2.85 \leq \text{LDL-C} \leq 3.34 \text{ mmol/L}$, $1.05 \leq \text{HDL-C} \leq 1.14 \text{ mmol/L}$;血脂异常值为 $\text{TG} \geq 1.70 \text{ mmol/L}$, $\text{TC} \geq 5.18 \text{ mmol/L}$, $\text{LDL-C} \geq 3.37 \text{ mmol/L}$, $\text{HDL-C} \leq 1.04 \text{ mmol/L}$ 。

肝功能指标包括谷草转氨酶(AST)和谷丙转氨酶(ALT),并采用彩色超声诊断仪评估其肝脏情况。肾功能指标为肾功能三项,包括血清尿素氮(BUN)、血清肌酐(Cr)、血清尿酸(UA)。AST 和 ALT 是反映肝损害的敏感指标,在临床医学方面的正常范围值分别为 $0 \sim 35 \text{ U/L}$, $0 \sim 40 \text{ U/L}$ ^[13];BUN 是临床上用来判断肾小球滤过功能的指标;Cr 与体内肌肉总量密切相关,是了解肾功能重要指标,它的升高意味着肾功能的损害;UA 检测主要用于了解肾功能是否有损伤和痛风^[14]。BUN, Cr, UA 在临床医学方面的正常范围值分别为 $1.7 \sim 8.3 \text{ mmol/L}$, $35 \sim 115 \text{ } \mu\text{mol/L}$, $150 \sim 360 \text{ } \mu\text{mol/L}$ ^[15]。

1.3.3 心血管功能 鉴于既往研究对 EndoPAT-2000 系统评估血管内皮功能有效性的验证^[3,16-17],本研究采用 EndoPAT-2000 系统测定反应性充血指数(Reactive Hyperemia Index, RHI),以反映血管内皮功能。以 NO/ET-1 反映血管的收缩舒张功能。同时,根据血液指标计算动脉粥样硬化指数($\text{AI} = [\text{TC} - (\text{HDL-C})] / \text{HDL-C}$)。

1.4 统计方法 采用 SPSS 18.0 软件进行统计学分析,计量资料以均数±标准差表示。两组间样本比较用独立样本 *t* 检验;实验组前后数据比较采用配对样本 *t* 检验;相关性用 Pearson 相关分析,以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 综合干预对肥胖青少年基本形态功能指标的干预效果 干预前肥胖青少年的体重、BMI、腰围、臀围、腰高比、腰臀比、收缩压、舒张压均高于对照组(*t* 值分别为 10.77, 17.68, 16.85, 17.68, 15.85, 14.35, 2.75, 2.29, *P* 值均<0.05)。综合干预后,肥胖青少年的体重、BMI、腰围、臀围、腰臀比、腰高比、收缩压、舒张压均下降。见表 1。

表 1 综合干预前后肥胖青少年基本形态功能指标

组别	干预前后	人数	身高/m	体重/kg	BMI/ (kg·m ⁻²)	腰围/cm	臀围/cm	腰臀比	腰高比	肺活量/mL	收缩压/mmHg	舒张压/mmHg
对照组	干预前	10	167.80±8.65	61.15±6.99	22.20±1.38	73.20±7.78	91.66±1.34	0.79±0.04	0.44±0.02	3 107.32±425.13	109.90±7.82	63.90±5.15
	干预后	71	166.41±9.11	94.62±18.42	33.82±4.15	106.58±10.24	112.75±9.96	0.95±0.06	0.63±0.05	3 054.65±790.72	121.27±12.70	67.69±7.99
实验组	干预后	71	166.80±9.00	83.80±16.28	29.83±3.82	96.26±10.77	105.81±9.37	0.91±0.06	0.57±0.06	2 981.86±682.04	115.52±12.80	61.04±8.63

注:1 mmHg=0.133 kPa。

表 2 综合干预前后肥胖青少年糖脂代谢指标

组别	干预前后	人数	TG/ (mmol·L ⁻¹)	TC/ (mmol·L ⁻¹)	LDL-C/ (mmol·L ⁻¹)	HDL-C/ (mmol·L ⁻¹)	FPG/ (mmol·L ⁻¹)	FINS/ (uU·L ⁻¹)	HOMA-IR
实验组	干预前	71	1.57±0.82	4.52±0.76	2.96±0.69	1.14±0.24	4.70±0.45	18.76±11.46	3.92±2.54
	干预后	71	0.89±0.37	3.53±0.62	2.22±0.62	1.12±0.21	4.61±0.41	11.32±6.54	2.40±1.63
对照组		10	0.72±0.21	3.52±0.34	2.28±0.23	1.59±0.07	4.22±0.58	8.15±3.34	1.54±0.69

2.3 综合干预对肥胖青少年肝肾功能的干预效果 综合干预前,肥胖青少年的 AST、ALT、BUN、Cr、UA 均高于对照组(*t* 值分别为 2.43, 3.80, 17.65, 4.50, 14.93, *P* 值均<0.01)。综合干预后,肥胖青少年的 AST、ALT、BUN、UA 下降(*P* 值均<0.05),Cr 无明显变化。

见表 3。彩色超声结果显示,71 名肥胖青少年中检出存在脂肪肝趋势 6 人,轻度脂肪肝 14 人,中度脂肪肝 20 人,重度脂肪肝 18 人,左肾结晶 14 人,右肾结晶 6 人。

表 3 综合干预前后肥胖青少年肝肾功能指标

组别	干预前后	人数	AST/ (U·L ⁻¹)	ALT/ (U·L ⁻¹)	BUN/ (mmol·L ⁻¹)	Cr/ (mmol·L ⁻¹)	UA/ (mmol·L ⁻¹)
实验组	干预前	71	36.10±32.28	57.42±61.25	4.78±0.89	62.98±14.79	498.83±120.60
	干预后	71	22.89±7.27	27.86±22.12	3.44±0.79	61.83±13.00	471.07±120.96
对照组		10	21.65±4.56	29.32±10.54	2.33±0.42	52.38±8.71	254.67±78.54

2.4 综合干预对肥胖青少年心血管功能的干预效果 综合干预前,肥胖青少年的 RHI 和 NO/ET-1 低于对照组,AI 高于对照组(*t* 值分别为-8.25, -10.20, 7.06, *P* 值均<0.01)。综合干预后,肥胖青少年的 RHI 和 NO/ET-1 升高,AI 降低(*P* 值均<0.01)。见表 4。

抗指数也显著高于正常值。肥胖青少年血糖水平普遍处于正常值范围内,但与对照组相比也处于较高水平。可能是由于胰岛素代偿性升高来维持血糖的稳定,当糖代谢异常继续加剧,会引发胰岛素生物效应下降,进而加剧胰岛素抵抗,引发糖尿病。

本研究结果显示,综合干预能够有效改善肥胖青少年的血糖和血脂水平,改善其糖脂代谢异常。但综合干预前后空腹血糖和 HDL-C 的水平变化不明显。空腹血糖变化不明显的原因可能是肥胖青少年的糖代谢异常程度较低,身体能够通过血糖的储存和利用来稳定血糖水平。同时,综合干预有效改善胰岛素水平,但血糖水平改善程度不明显,可能是因为综合干预对胰岛素的生物效应影响更大^[18]。HDL-C 水平变化不显著的原因可能是 HDL-C 在较长的综合干预时间后才能有差异性变化或综合干预前后青少年身

表 4 综合干预前后肥胖青少年心血管功能指标

组别	干预前后	人数	RHI	NO/ET-1	AI
实验组	干预前	71	1.34±0.28	1.69±0.41	3.06±0.96
	干预后	71	1.69±0.45	2.67±0.86	2.58±0.80
对照组		10	1.88±0.14	3.12±0.89	2.19±0.18

3 讨论

3.1 综合干预对肥胖青少年糖脂代谢的影响 本研究结果显示,肥胖青少年的血脂水平普遍处于异常状态的临界值或异常值范围^[12],血清胰岛素、胰岛素抵

体的血脂水平普遍降低。

3.2 综合干预对肥胖青少年肝肾功能及脂肪肝程度的影响 本研究结果显示,肥胖青少年的 AST、ALT 和 UA 明显高于正常值,BUN 和 Cr 普遍处于正常范围内但也高于对照组。彩色超声诊断结果显示,71 名肥胖青少年中脂肪肝的检出率达 73.24%,肾脏结晶的检出率达 28.17%。说明肥胖青少年已经出现了一定程度的肝肾功能损伤。

干预后结果显示,肥胖青少年中检出脂肪肝趋势 5 名,轻度脂肪肝 20 名,中度脂肪肝 10 名,重度脂肪肝 3 名,左肾结晶 2 名,右肾结晶 5 名。脂肪肝检出率降为 46.47%,肾脏结晶检出率降为 9.86%,总体效果明显。同时,肥胖青少年的 AST、ALT 和肾功能三项都有显著改善。说明综合干预能够有效改善肥胖青少年的肝肾功能。

3.3 综合干预对肥胖青少年心血管功能的影响 肥胖常伴有血管内皮功能异常状态,进一步发展会形成血管内皮功能障碍^[19],进而引发心血管疾病^[20-21]。本研究从血管内皮功能、血管收缩舒张功能和动脉粥样硬化程度 3 个方面评估心血管功能。RHI 是通过测量内皮介导的血管张力变化测定的反应性充血指数,能够反映血管内皮功能^[16]。有研究显示,运动可调节肥胖青少年血管舒张因子与收缩因子的水平,特别是能够降低 NO/ET-1 的比值^[22-23]。AI 是衡量动脉粥样硬化程度的指标,临界值为 4,数值越小动脉粥样硬化程度越轻,引发心脑血管疾病的风险越低。

本研究结果显示,肥胖青少年的 RHI 和 NO/ET-1 低于对照组,AI 虽然处于正常值范围但高于对照组。说明虽然肥胖青少年还没有出现心血管疾病的临床表现,但已出现血管内皮功能的损伤和较大的心血管疾病风险。综合干预后,RHI 和 NO/ET-1 升高,AI 降低。说明运动结合饮食控制能够有效改善肥胖青少年的心血管功能。

4 参考文献

- [1] CABALLERO A E. Endothelial dysfunction in obesity and insulin resistance: a road to diabetes and heart disease [J]. *Obes Res*, 2003, 11 (11): 1278-1289.
- [2] 李娟,唐东辉,陈巍.有氧运动结合抗阻训练对男性肥胖青少年心血管功能的改善及可能机制[J]. *体育科学*, 2013, 33(8): 37-42.
- [3] 唐东辉,侯玉洁,白爽,等.运动结合饮食控制通过降低 RAAS 系统活性改善男性肥胖青少年血管内皮功能[J]. *体育科学*, 2017, 37(9): 48-54.
- [4] CASTAO C, KALKO S, NOVIAS A, et al. Obesity-associated exosomal miRNAs modulate glucose and lipid metabolism in mice [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2018, 115(48): 12158-12163.
- [5] 许汪宇,陈文鹤,沈勋章.中低强度有氧运动结合饮食控制对肥胖青少年血脂和肝脏功能的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2011, 30 (8): 706-711.

- [6] FARPOURLAMBERT N J, AGGOUN Y, MARCHAND L M, et al. Physical activity reduces systemic blood pressure and improves early markers of atherosclerosis in pre-pubertal obese children [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2009, 54(25): 2396-2397.
- [7] TOUNIAN P, AGGOUN Y, DUBERN B, et al. Presence of increased stiffness of the common carotid artery and endothelial dysfunction in severely obese children: a prospective study [J]. *Lancet*, 2001, 358 (9291): 1400-1404.
- [8] WATTS K, BEYE P, SIAFARIKAS A, et al. Exercise training normalizes vascular dysfunction and improves central adiposity in obese adolescents [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2004, 43(10): 1823-1827.
- [9] ZHANG L, MIYAKI K, ARAKI J, et al. Interaction of angiotensin I-converting enzyme insertion-deletion polymorphism and daily salt intake influences hypertension in Japanese men [J]. *Hypertens Res*, 2006, 29(10): 751-758.
- [10] CELERMAJER D S, SORENSEN K E, GOOCH V M, et al. Non-invasive detection of endothelial dysfunction in children and adults at risk of atherosclerosis [J]. *Lancet*, 1992, 340(8828): 1111-1115.
- [11] 中国肥胖问题工作组. 中国学龄儿童青少年超重、肥胖筛查体重指数数值分类标准 [J]. *中国流行病学杂志*, 2004, 25(2): 97-102.
- [12] 中华儿科杂志编辑委员会, 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心血管学组, 等. 儿童青少年血脂异常防治专家共识 [J]. *中华儿科杂志*, 2009, 47(6): 426-428.
- [13] 王贵强, 王福生, 成军, 等. 慢性乙型肝炎防治指南 (2015 年更新版) [J]. *临床肝胆病杂志*, 2015, 31(12): 1941-1960.
- [14] 杨倩春, 李思宁, 黎创, 等. 高尿酸血症与肾脏疾病关系的研究进展 [J]. *现代生物医学进展*, 2018, 18(13): 2593-2596.
- [15] 张栋武, 唐爱民. 肾脏功能试验及其临床评价 (上) [J]. *中国医刊*, 2007(5): 68-69.
- [16] WINDERMAN R, RABINOWITZ S S, VAIDY K, et al. Measurement of microvascular function in pediatric inflammatory bowel disease [J]. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 2018. DOI: 10. 1097/mpg. 0000000000002252.
- [17] DONGHUI T, SHUANG B, XULONG L, et al. Improvement of microvascular endothelial dysfunction induced by exercise and diet is associated with microRNA-126 in obese adolescents [J]. *Microvasc Res*, 2019, 123: 86-91. DOI: 10.1016/j.mvr.2018.10.009.
- [18] 郭吟, 肖焱禹, 王业玲, 等. 运动干预对肥胖老年女性身体形态和血脂的影响 [J]. *上海体育学院学报*, 2011, 35(5): 42-45.
- [19] ANDERSON T. Assessment and treatment of endothelial dysfunction in humans [J]. *J Am College Cardiol*, 1999, 34(3): 631-638.
- [20] GOKCE N, KEANEY J F J R, HUNTER L M, et al. Risk stratification for postoperative cardiovascular events via noninvasive assessment of endothelial function: a prospective study [J]. *Circulation*, 2002, 105 (13): 1567-1572.
- [21] GOKCE N, KEANEY J F J R, HUNTER L M, et al. Predictive value of noninvasively determined endothelial dysfunction for long-term cardiovascular events in patients with peripheral vascular disease [J]. *J Am Coll Cardiol*, 2003, 41(10): 1769-1775.
- [22] FLEGAL K M, OGDEN C L, YANOVSKI J A, et al. High adiposity and high body mass index-for-age in US children and adolescents overall and by race-ethnic group [J]. *Am J Clin Nutr*, 2010, 91(4): 1020-1026.
- [23] EMER M, GROSSER T, WANG M, et al. Prostanoids in health and disease [J]. *J Lipid Res*, 2009, 50(Suppl): S423-428.

收稿日期: 2019-01-28; 修回日期: 2019-03-11